RAPPORT

Aanvraag Omgevingsvergunning schacht en tunnel

Aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel

Klant: Aramis

Referentie: NL-ARM-040-ARM1-000001

Status: Definitief/01

Datum: 20 december 2024

ARAMIS

CCS-ARAMIS Project

Vergunningaanvraag bouwactiviteit Schacht en tunnel – Baseline report

Document No.	NL-ARM-040-ARM1-000001
Document title	Permit application shaft and tunnel permit
Revision	Definitief/01

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Industry & Buildings

Telefoon: +31 88 348 70 00
Email: info@rhdhv.com
Website: royalhaskoningdhv.com

Titel document:	Aanvraag Omgevingsvergunning schacht en tunnel
Ondertitel:	Aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel
Referentie:	NL-ARM-040-ARM1-000001
Click or tap here to enter text.	
Status:	Definitief/01
Datum:	20 december 2024
Projectnaam:	Aramis CCS
Projectnummer:	BH8744
Auteur(s):	RHDHV

Classificatie
Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Royal HaskoningDHV

Inhoud

1	**Inleiding**	**1**
1.1	Korte introductie van het Aramisinitiatief	1
1.2	Leeswijzer	5
2	**Algemene gegevens**	**6**
2.1	Gegevens aanvrager	6
2.2	Activiteit	6
2.3	Planning/tijdvak van de vergunning	7
2.4	Gebied van de aanvraag	7
2.5	Wettelijk kader en bevoegd gezag	9
2.6	Vooroverleg	9
2.7	Betrokken belanghebbenden	10
3	**Details vergunningsaanvraag**	**11**
3.1	Naleven van wettelijke eisen en normen	11
3.2	Karakteristieken van de schacht en tunnel	12
3.2.1	Aanleg schacht en tunnel	12
3.3	Beschrijving tracé en aanleg kruising zeewering en Maasgeul	12
3.3.1	Boorlocatie voor de tunnel	13
3.3.2	Aanleg van de tunnel	16
3.3.3	Tunneldoorsnede	20
3.3.4	Bouwterrein	21
3.3.5	Ontvangstput	21
3.3.6	Terugwinnen tunnelboormachine	21
3.3.7	Afmetingen	22
3.3.8	Blijvende objecten in ondergrond	23
3.4	Beschrijving tracé en aanleg zeedeel	25
3.4.1	Tracéonderzoek	25
3.5	Buitengebruikstelling van de zeeleiding	30
3.6	Risico matrix	31
3.7	Bibob	31
3.8	Bouwkosten	31
3.9	Na te leveren documenten	31
3.10	Uitgestelde indieningsvereisten	31

Bijlagen

1. Participatieplan
2. Situatie en plattegrond tekeningen
3. Uitgangspunten constructie
4. Doorsnede eindsituatie
5. Flora en Fauna
6. Geotechnisch tracéonderzoek
7. BoD
8. Archeologisch onderzoek
9. Geluid studie
10. Risk Assesment
11. Tunnel and shaft sinking

1 Inleiding

Een consortium onder de naam Aramis wil een CO_2-transportinfrastructuur ontwikkelen om koolstofdioxide (CO_2) op te slaan in lege offshore gasvelden. Een belangrijk onderdeel van deze infrastructuur is de pijpleiding in de schacht en tunnel waarmee de CO_2 vanaf de Maasvlakte naar de gasvelden wordt getransporteerd. Naast andere vergunningen is voor deze schacht en tunnel een vergunning in het kader van de Omgevingswet (Ow) vereist. Met de voorliggende aanvraag voor een bouwvergunning vraagt de initiatiefnemer aan de gemeente Rotterdam toestemming voor de aanleg van deze schacht en tunnel voor het transport van CO_2 vanaf de Maasvlakte naar een nieuw te realiseren distributieplatform op de Noordzee.

1.1 Korte introductie van het Aramisinitiatief

Integrale Aramis CCS-keten

Om de klimaatdoelstellingen te behalen, is er behoefte aan additionele CO_2-transportinfrastructuur, waarmee meerdere opslaglocaties op zee worden ontsloten voor opslag van CO2 van verschillende industriële emissiebronnen. Het Aramis initiatief speelt in op die behoefte door een nieuwe integrale en open CCS-keten mogelijk te maken. Het Aramis initiatief vormt een onderdeel van deze CCS-keten en bestaat uit de aanleg en exploitatie van een open CO_2-transportinfrastructuur. Samen met de afvanginfrastructuur en opslaginfrastructuur vormt dit de integrale CCS keten met onderstaande samenhangende onderdelen (zie Figuur 1-1).

CO_2-afvanginfrastructuur

1 CO_2-afvang bij industrie, en geschikt maken voor transport;

2 CO_2-transport naar het verzamelpunt op de Maasvlakte, middels de CO_2 Next infrastructure en Porthos landleiding of per schip;

CO_2-transportinfrastructuur (Aramis initiatief)

3 CO_2-verzamelpunt op de Maasvlakte met een compressorstation en een terminal.

   a) Het compressorstation ontvangt gasvormig CO_2 dat wordt per landleiding aangevoerd (via de Porthos-landleiding) en brengt het op druk voor het transport per zeeleiding;

   b) De terminal ontvangt per schip aangevoerd vloeibaar CO_2. De terminallocatie bevat steigers, opslagtanks voor tijdelijke opslag van CO_2 en hogedrukpompen voor levering aan de zeeleiding.

   c) CO_2 uit het compressorstation en vanaf de terminal komen samen in de CO_2-zeeleiding;

   De CO2 wordt in de zeeleiding vervoerd in de ‘dense phase’. De dense phase is een verdichtte toestand van een gas die eigenschappen van zowel vloeistof als gas vertoont. Onder dense phase wordt zowel ‘dense liquid’ (druk boven het kritische punt en temperatuur beneden het kritische punt) als ‘superkritische’ (zowel druk als temperatuur boven het kritische punt) condities verstaan.

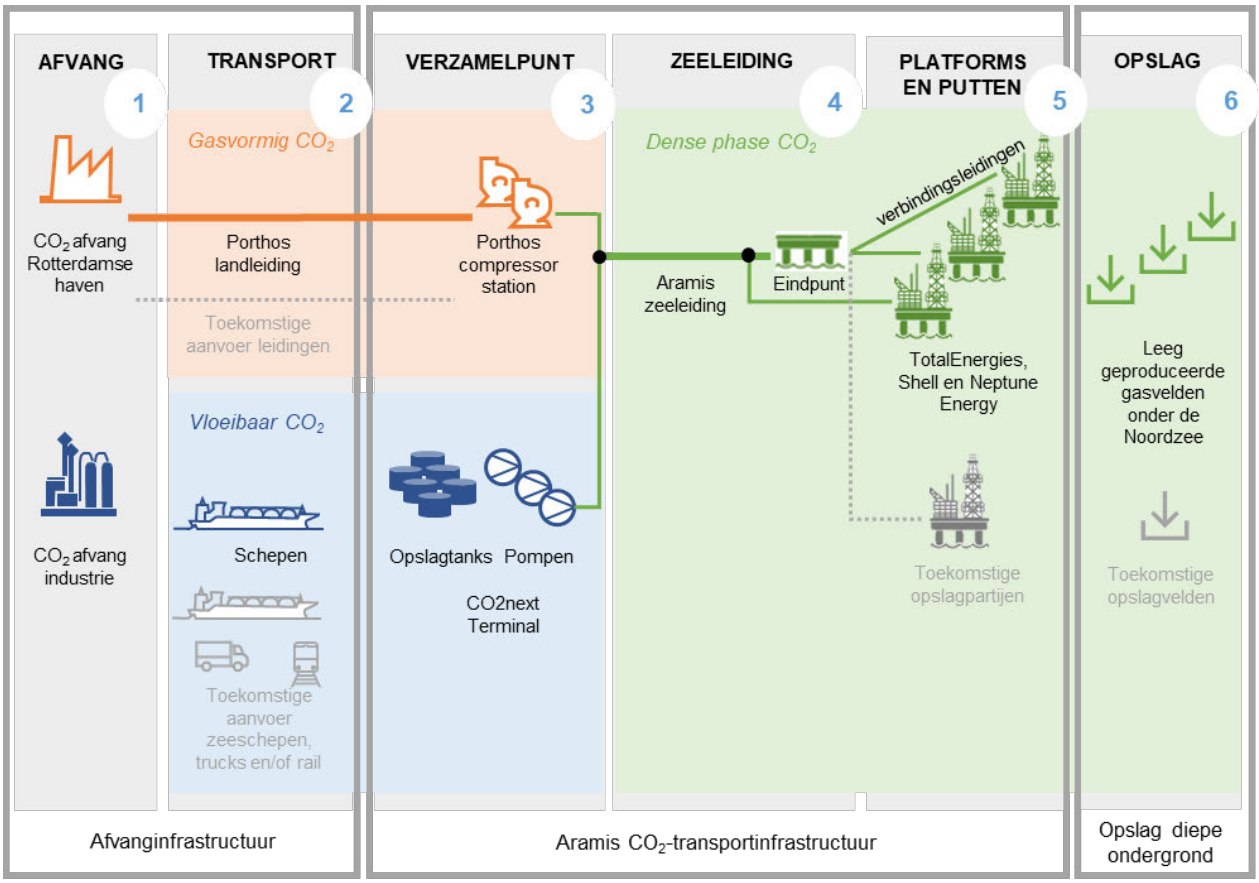
4 CO_2-transport door de centrale CO_2-zeeleiding van naar het distributieplatform op de Noordzee. Er zijn tevens connectiepunten in de zeeleiding waarvandaan CO_2 aan andere platforms kan worden geleverd. De zeeleiding krijgt een lengte van ongeveer 230 km en start vanaf het mengpunt nabij het compressorstation en loopt dan eerst over land, dan onder de zeewering en Maasgeul door en vervolgens over de zeebodem naar het distributieplatform (gelegen op ongeveer 80 km ten noordwesten van Den Helder).

5 Het distributieplatform waarvandaan de CO_2 verder wordt gedistribueerd naar leeg geproduceerde gasvelden onder de Noordzee. Dit platform is uitgerust met een verdeelstation voor CO_2-toevoer naar de verschillende platforms. Het distributieplatform ligt nabij de zogenaamde K- en L-mijnbouwblokken waarin leeggeproduceerde gasvelden liggen waarin kan CO_2 worden opgeslagen. Vanaf het

distributieplatform en vanaf connectiepunten op de zeeleiding kunnen opslagpartijen een verbindingsleiding leggen om hun platforms aan te sluiten. Via verbindingsleidingen komt de CO_2 vanaf het distributieplatform of vanaf de zeeleiding bij de injectieplatforms. Via putten op deze platforms wordt de CO_2 geïnjecteerd in leeggeproduceerde gasvelden in de diepe ondergrond van de Noordzee.

CO_2-opslag diepe ondergrond

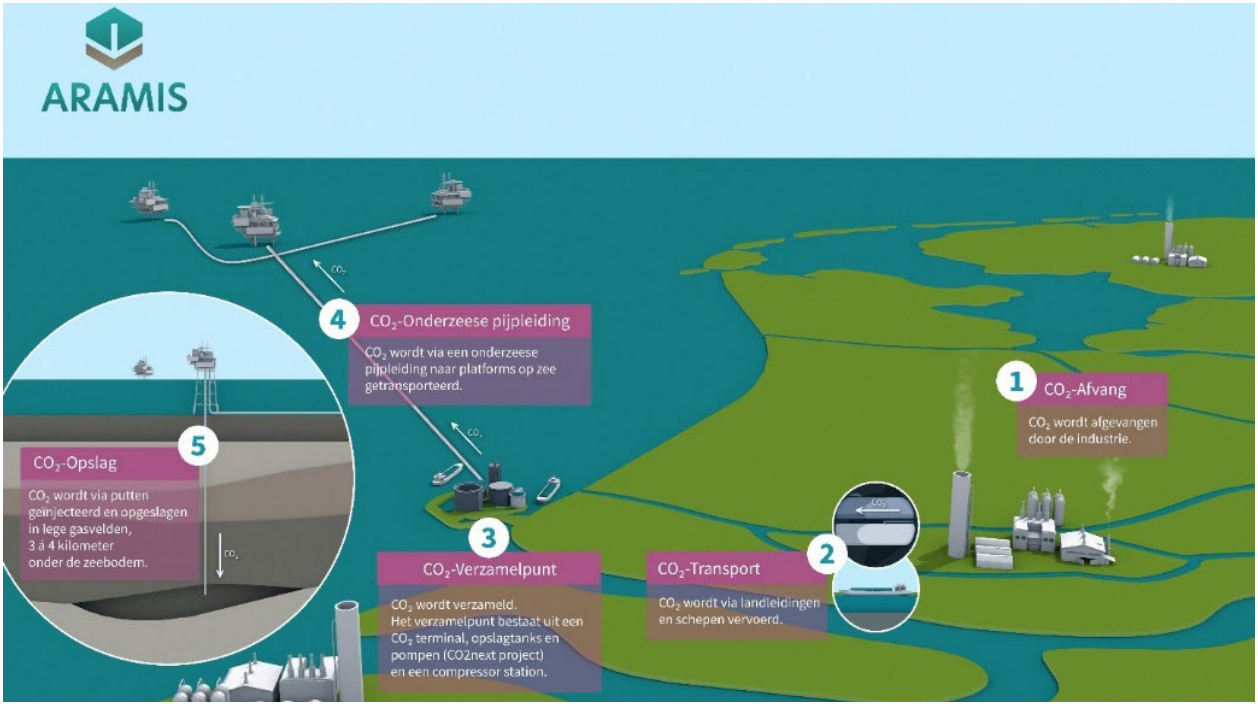
6 CO_2-opslag: permanente CO_2-opslag in de diepe ondergrond.



Figuur 1-1. Overzicht van de integrale CCS-keten met daarin de componenten die onderdeel zijn van de voorgenomen activiteit, namelijk: transport per schip, CO2next-terminal, uitbreiding compressorstation Porthos, zeeleiding met eindpunt en connectiepunten, aansluitleidingen en platforms. Daar waar in bovenstaande figuur Neptune Energy staat, moet Eni worden gelezen.

Het Aramis initiatief

Het Aramis initiatief heeft als doel het verzamelpunt (onderdeel 3), de zeeleiding (onderdeel 4) en de injectie (onderdeel 5) te realiseren. Hiervoor wordt door het Aramis-consortium (bestaande uit Shell, TotalEnergies, Gasunie en EBN) samengewerkt met CO2next (voor de terminal) en Porthos (voor het compressorstation). De opslag vindt plaats vanaf platforms van Shell, TotalEnergies en Eni (voorheen Neptune Energy).
Voor het Aramis initiatief wordt een projectprocedure doorlopen en de procedures voor het projectbesluit en de benodigde vergunningen worden gecoördineerd door KGG. In dit kader is ook een MER opgesteld.



Figuur 1-2. Verbeelding van het Aramis CO_2-transport- en opslaginfrastructuur.

Gegevens aanvrager

Statutaire naam aanvrager	N.V. Nederlandse Gasunie
Ligging project	Maasvlakte 1 en Territoriale zee
Handelsnaam	N.V. Nederlandse Gasunie
Vestigingsadres bedrijf	Concourslaan 17 9727 KC Groningen
Correspondentieadres	Postbus 19 9700 MA Groningen
Contactpersoon	C.B.E. van Munster Permitting and Stakeholdermanagement Lead Aramis
Telefoonnummer contactpersoon	+ 31 615417951
E-mailadres	c.b.e.van.munster@gasunie.nl

Vergunningen

De artikelen 2.25 en 2.26 van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) beschrijven de gevallen waarin een vergunningaanvraag voor een bouwactiviteit verplicht is. Met de voorliggende aanvraag vraagt Aramis een vergunning bouwactiviteit aan voor de aanleg van de tunnel en schacht.
Omdat het gehele Aramisproject inclusief leidingen op land en op zee m.e.r.-plichtig[1] is, is separaat een aanvraag ingediend, vergezeld van een gecombineerd plan- en projectmilieueffectrapport (MER) voor het gehele Aramisproject inclusief de leidingen op land en op zee.

Planning

Vanaf mei 2026 kan met de leidingaanleg worden begonnen en de aanleg neemt ongeveer twee jaar in beslag. Vanaf ca. 2028 kan begonnen worden met testen en het opstarten van de CO_2-transport en -opslag. Er wordt uitgegaan van een gebruiksduur van 20 tot 30 jaar. De tunnel en de schacht hebben hierna geen functie meer maar hebben een levensduur van meer dan 50 jaar.

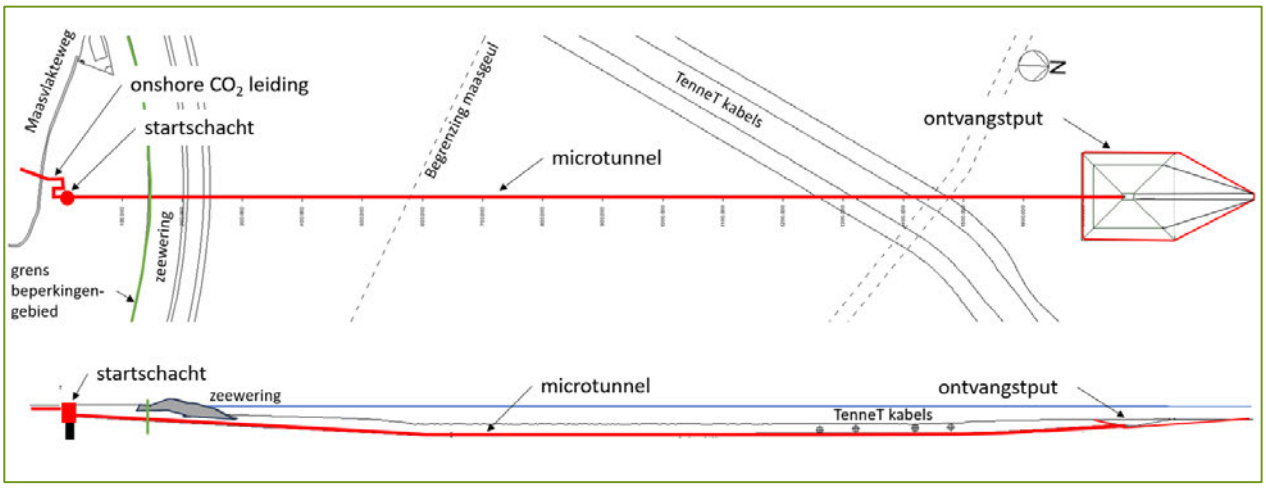
[1] *M.e.r. staat voor milieueffectrapportage (procedure) en MER is het milieueffectrapport.*

Omvang van de aanvraag

Deze aanvraag is opgesteld in het kader van de Technische Bouwactiviteit voor de aanleg van de schacht en tunnel. Deze zijn uiteindelijk bedoeld voor het transport van CO_2 tussen de Maasvlakte en het nieuw te realiseren distributieplatform op de Noordzee nabij de K- en L-blokken. De omvang van de aanvraag voor de schacht en tunnel is als volgt:

- Het beginpunt is de schacht op de Maasvlakte;
- Het eindpunt is de tunnel in de ontvangstput ten noorden van de zeegeul van monding van de nieuwe waterweg;

De omvang van de aanvraag is schematisch getoond in figuur 1-3



Figuur 1-3: Het zijaanzicht en bovenaanzicht van schacht en de tunnel. (figuur gebaseerd op NL-ARM-040-ARU1-110323_01_IFD_20240919_01 en NL-ARM-040-PTC1-113855_01_IFD_20240820_01).

Deze aanvraag ziet uitsluitend toe op de vergunning in het kader van de technische bouwactiviteit voor de schacht en de tunnel. Voor andere installaties, leidingen en milieubelastende activiteiten wordt apart toestemming gevraagd.

- Voor de schacht en de tunnel wordt een vergunning voor een technische bouwactiviteit aangevraagd bij gemeente Rotterdam. De ontvangsput is een gegraven verdieping in de zeebodem en daarom geen bouwwerk. Om die reden is voor het eindpunt alleen de beperkingengebiedactiviteit van toepassing is.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft de algemene gegevens van de aanvrager, de schacht en tunnel, tijdvak en locatie van de aanvraag. Hoofdstuk 3 gaat in op de details van de vergunningaanvraag, waaronder de aard en sterkte van de schacht en tunnel, het tracé, de wijze van aanleg, de getransporteerde stoffen, de wijze van kruisen met andere leidingen en kabels.

2 Algemene gegevens

2.1 Gegevens aanvrager

Tabel 1 bevat een overzicht van de relevante gegevens van de aanvrager.

Tabel 1: Gegevens aanvrager

Gegevens aanvrager	
Statutaire naam aanvrager	N.V. Nederlandse Gasunie
Ligging project	Maasvlakte 1 en Territoriale zee
Handelsnaam	N.V. Nederlandse Gasunie
Vestigingsadres bedrijf	Concourslaan 17 9727 KC Groningen
Correspondentieadres	Postbus 19 9700 MA Groningen
Contactpersoon	C.B.E. van Munster Permitting and Stakeholdermanagement Lead Aramis
Telefoonnummer contactpersoon	+ 31 615417951
E-mailadres	c.b.e.van.munster@gasunie.nl

Tabel 2: Gegevens aanvrager

2.2 Activiteit

De Aramis CO_2-transportinfrastructuur wordt flexibel ontwikkeld zodat toekomstige uitbreidingen mogelijk zijn. Flexibele uitbreiding is echter niet mogelijk voor de zeeleiding. Deze wordt éénmalig aangelegd, waarbij direct rekening wordt gehouden mogelijk toekomstige ontwikkelingen. Met de gekozen leidingdiameter van 32” (ruim 80 cm) kan tot 22 Mton CO_2 per jaar worden getransporteerd: dit is de bovengrens van het Aramis initiatief. Figuur 1-2 geeft een overzicht van het project.

Schacht en tunnel

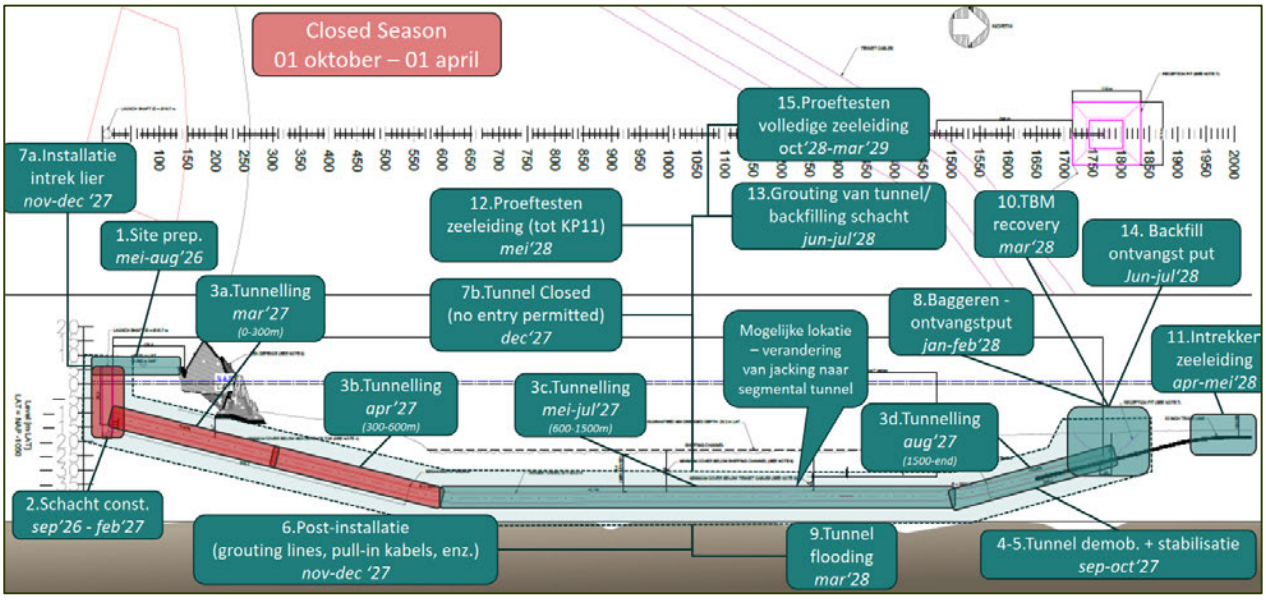
Aramis vraagt een vergunning aan voor de aanleg van een schacht en tunnel het uiteindelijke transport van CO_2.

De zeeleiding is een centrale leiding waar verschillende operators vanaf hun platform op aansluiten met verbindingsleidingen. De zeeleiding loopt vanaf het mengpunt nabij het compressorstation over land naar een aan te leggen tunnel onder de zeewering en Maasgeul. Vanaf het ontvangsput van de tunnel loopt de leiding eerst door de territoriale zee en vervolgens door de Exclusieve Economische Zone (EEZ) naar het op te richten distributieplatform.

Nabij de kruising zeewering een afsluiterstation. Tevens wordt op deze locatie een aansluitpunt gemaakt voor verbinding van mogelijk toekomstige dense phase CO_2-toevoerleidingen. De zeeleiding wordt aan weerszijden voorzien van pig stations waarmee ‘smart pigs’ (pipeline inspection gear) door de leiding kunnen worden gestuurd om de staat van de pijpleiding te monitoren.

2.3 Planning/tijdvak van de vergunning

De start van de werkzaamheden die vallen binnen het beperkingengebied Noordzee is afhankelijk van het tijdstip van in werking treden van de hiervoor benodigde (overige) vergunningen. Gepland is dat de start van de voorbereidende werkzaamheden, zoals het bouwrijp maken van het terrein, het 2e kwartaal van 2026 aanvangen. Hierna volgen respectievelijk de inrichting van het werkterrein in het 3e kwartaal van 2026, de aanleg van de schacht omstreeks het 3e kwartaal van 2026 en de start van de bouw van de microtunnel 1e kwartaal 2027. De ingebruikname verwachten de Aramis initiatiefnemers in 2029.



Figuur 2.1 werkzaamheden schema

2.4 Gebied van de aanvraag

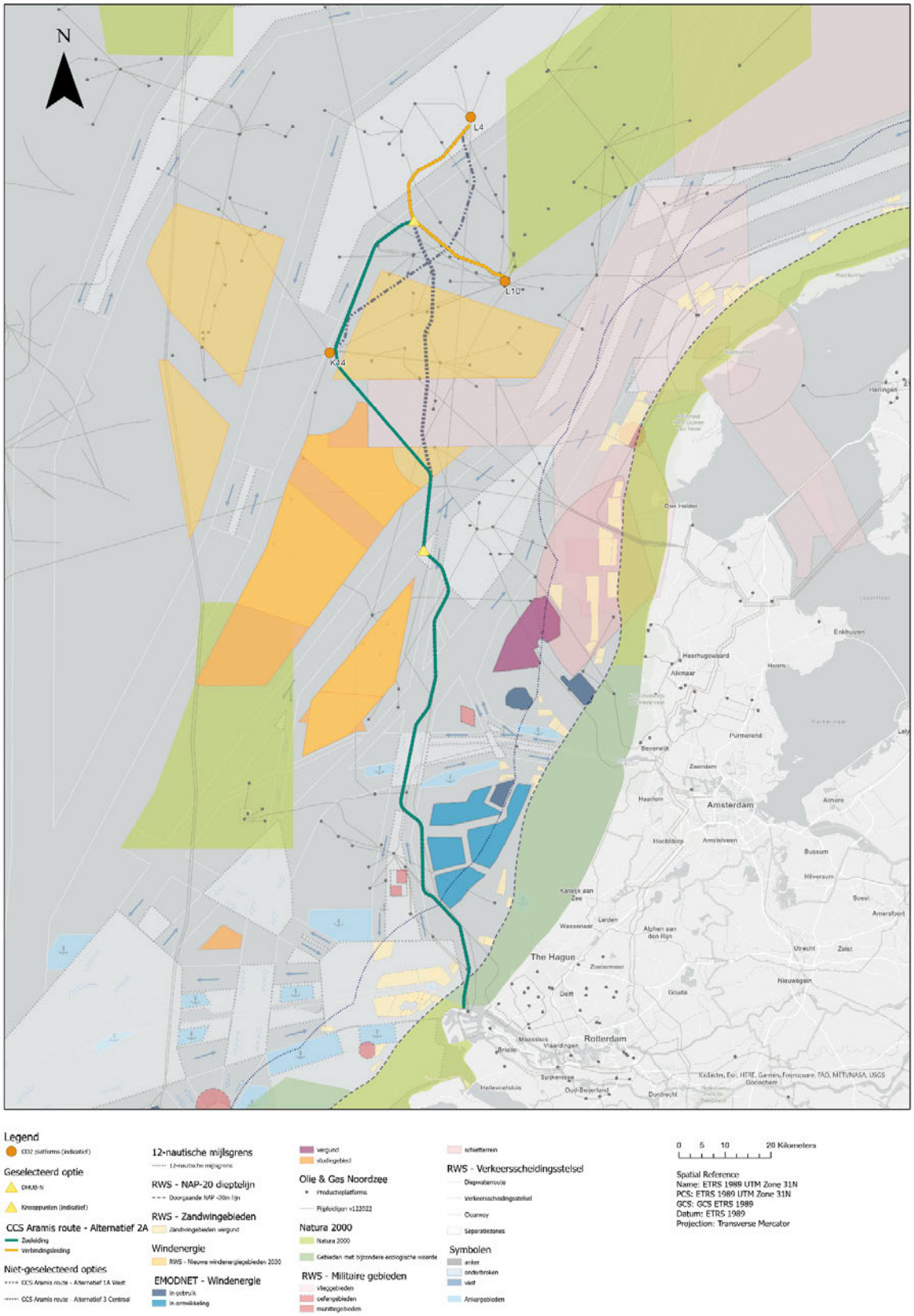
Deze aanvraag betreft de aanleg van de schacht en de tunnel, deels op land en onder de zeewering door, onder de Maasgeul door (uitmonding van de Nieuwe Waterweg), tot de ontvangstput.

In de ze aanvraag is uitgegaan van één leiding voor het transport van CO2 door de schacht en tunnel. Op dit ogenblik zijn gesprekken gaande (en enkele studies op hoog niveau uitgevoerd) om te kijken of er een 2e lijn of leiding in de tunnel kan worden geïnstalleerd om een 2e productlijn in de tunnel mogelijk te maken. Dit maakt nu nog geen onderdeel uit van deze aanvraag.

De Nederlandse territoriale zee strekt zich uit vanaf de laagwaterlijn tot 12 zeemijl[2] uit de kust: in dit gebied geldt de Nederlandse wetgeving (volledige rechtsmacht). De EEZ strekt zich uit voorbij de Nederlandse territoriale zee tot aan de EEZ van onze buurlanden en hier heeft Nederland soevereine economische rechten. Het land deel van de leiding ligt op de Maasvlakte en het deel in de territoriale zee bevindt zich nabij de Maasvlakte. Het gehele tracé is getoond in Figuur 2-1.

.

[2] *1 zeemijl is 1852 meter*



Figuur 2-1. Kaart met het tracé van de zeeleiding inclusief overige functies op de Noordzee. De onderhavige aanvraag betreft alleen de schacht en microtunnel.

2.5 Wettelijk kader en bevoegd gezag

Voor de realisatie van de schacht en tunnel is een vergunningaanvraag technische bouwactiviteit benodigd. De vergunningplichtige bouwactiviteiten worden aangewezen in de artikelen 2.25 en 2.26 van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl)

Hoofdstuk 3 van deze aanvraag gaat in op de gevraagde gegevens met betrekking tot de vergunningsaanvraag. De gemeente Rotterdam is het bevoegd gezag voor de schacht en de tunnel.

Milieueffectrapportage

Onderdelen van het Aramisproject zijn m.e.r.-plichtig of -beoordelingsplichtig. Deze vergunningaanvraag heeft alleen betrekking op de technische bouwactiviteit. De m.e.r.-verplichtingen doorlopen een separate procedure.

Overige toestemmingen

Naast deze aanvraag worden voor de zeeleiding toestemmingen gevraagd in het kader van de Omgevingswet. Dit betreft onder meer toestemmingen voor aanleg zeeleiding en voor flora- en fauna-activiteiten en Natura 2000-activiteiten voor verstoring van beschermde gebieden en de daarin voorkomende soorten.

2.6 Vooroverleg

Aramis heeft met verschillende instanties vooroverleg(gen) gevoerd met betrekking tot het voornemen:

- Ministerie van Klimaat en Groene Groei: afstemming met betrekking tot het project als geheel inclusief tracé offshore pijpleiding en vergunningen;
- Rijkswaterstaat WNZ: afstemming met betrekking tot boren onder de zeewering en pijpleidingtracé op zee;
- Staatstoezicht op de Mijnen: afstemming met betrekking tot technische aspecten en vergunningen;
- Port of Rotterdam: afstemming met betrekking tot het tracé op land en het aanloopgebied naar de haven, inclusief de kruising van de zeewering en de Maasgeul;
- Gemeente Rotterdam: afstemming met Leidingenbureau voor het landdeel van de zeeleiding, afstemming met DCMR en afdeling Vergunningverlening, Q -team;
- Ministerie van Defensie: Ligging leiding ten opzichte van defensiegebieden;
- Rijksdienst Cultureel Erfgoed: afstemming in het kader van mogelijke verstoring van archeologische waarden;
- Leidingeigenaren op land en op zee: afstemming leidingtracé inclusief kruisingen van leidingen en kabels;
- Offshore olie- en gasoperators: afstemming leidingtracé inclusief kruisingen van leidingen;
- Operators offshore windparken: afstemming leidingtracé met bestaande en geplande windparken;
- Rijkswaterstaat Zee en Delta, Kustwacht en Loodswezen: Afstemming over nautische veiligheid, ligging ten opzichte van tracé bij kruisingen en parallelloop met scheepvaartroutes;
- Natuur- en milieuorganisaties: Afstemming over effect infrastructuur op natuur en biodiversiteit & natuurversterkend bouwen;
- Vissersbonden: Gevolgen Aramis infrastructuur op visserij.

Voor het gehele Aramisproject wordt een uitgebreid participatieproces doorlopen. De in dit kader uitgevoerde participatie is beschreven in het participatieplan voor het Aramisproject (zie bijlage 1).
De geactualiseerde versie kan te zijner tijd worden toegevoegd bij ter inzage leggen definitieve besluiten.

2.7 Betrokken belanghebbenden

Participatie is een belangrijke pijler onder de Omgevingswet. Als iemand een vergunning aanvraagt, moet de aanvrager aangeven of burgers, bedrijven, maatschappelijke organisaties en bestuursorganen bij de plannen betrokken zijn geweest, hoe dat is gedaan en wat de uitkomst is. In het kader van de projectprocedure voor Aramis is een participatieplan opgesteld waarin wordt aangegeven hoe aan de participatie vorm wordt geven. Dit houdt in dat naast de formele procedures de belanghebbenden ook rechtstreeks zijn/worden benaderd, naast de verplichte participatiemomenten. In bijlage 1, het Participatieplan, wordt toelichting gegeven over participatie binnen Aramis

3 Details vergunningsaanvraag

Dit hoofdstuk bevat informatie van de voorgenomen technische bouwactiviteit ten behoeve van de aanvraag voor de schacht en de tunnel. Uit art. 1.5 Ow en art. 4.11 Omgevingsbesluit blijkt dat voor de schacht, de tunnel en voor de ontvangstput het bevoegd gezag de gemeente Rotterdam is. De aanvragen voor de technische bouwactiviteiten bevatten technische details en aanvullende berekeningen en tekeningen.

3.1 Naleven van wettelijke eisen en normen

Voor de vergunningaanvraag technische bouwactiviteiten voor de schacht en de tunnel staan in paragraaf 7.2.2 van de Omgevingsregeling de specifieke vereisten genoemd. Dit omvat onder andere de bouwkundige tekeningen, sterkte berekeningen en andere technische documenten.

Voor de omgevingsvergunning voor technische bouwactiviteit voor de schacht en tunnel zijn de beoordelingsregels van toepassing, in afdeling 8.3 van Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl). Hierbij wordt gekeken naar de technische aspecten van het bouwen, zoals veiligheid, gezondheid, duurzaamheid en bruikbaarheid.

De schacht en tunnel voldoen aan de relevante eisen gesteld in het Bbl of gelijkwaardig.
De technische bouwactiviteit voldoet aan de regels van nieuwbouw (hoofdstuk 4 van het Bbl), bouw- en sloopwerkzaamheden (afdeling 7.1 van het Bbl)

Uit het Bod (basis of design) blijkt dat wordt voldaan aan de eisen bovenvermelde eisen (zie bijlage 7):

1. De schacht en tunnel(onderdelen) worden op doelmatige wijze met elkaar verbonden. De schacht en tunnel zijn tegen corrosie en uitwendige krachten beschermd.
2. De ligging van de schacht en tunnel is zodanig dat geen schade wordt veroorzaakt of zoveel mogelijk voorkomen.
   - Het tracé is afgestemd met de Kustwacht, Havenbedrijf Rotterdam, Rijkswaterstaat, SodM, Leidingenbureau gemeente Rotterdam, en de ministeries van KGG en Infrastructuur & Waterstaat;
   - De beheerders van bestaande leidingen en kabels zijn of worden geïnformeerd en details met betrekking tot de ligging nabij bestaande kabels en leidingen (K&L) worden met hen afgestemd. Aan land wordt de Verordening Beheer Ondergrond Rotterdam gevolgd en wordt gewerkt met graafmeldingen (KLIC-meldingen). De eigenschappen, de aanleg, de ligging en het onderhoud van de pijpleiding voldoen aan de in de ministeriële regeling gestelde eisen. Dit geldt voornamelijk voor de zeeleiding. De zeeleiding maakt geen deel uit van deze aanvraag.

3.2 Karakteristieken van de schacht en tunnel

De karakteristieken van de schacht en tunnel zijn afkomstig uit het Bod (zie bijlage 7).

Thermische expansie
De inlaattemperatuur waarmee de CO_2 in de pijpleiding wordt ingevoerd, kan afhankelijk van de operatietoestand variëren van 0 tot 65 °C, waardoor de leiding kan krimpen of expanderen (uitzetten). Om deze expansie op te vangen zijn in het landdeel van de zeeleiding meerdere expansielussen gepland. Deze worden verdiept aangelegd en maken het mogelijk dat de leiding kan uitzetten of krimpen afhankelijk van temperatuurveranderingen van de getransporteerde CO_2. De expansie van de leiding in de tunnel wordt opgevangen doordat het passtuk in de startschacht, waarmee het landdeel van de leiding aansluit op de leiding in de tunnel, dat dusdanig wordt ontworpen dat hiermee voldoende ruimte voor expansie verkregen wordt. Het aantal expansielussen en het ontwerp daarvan wordt in de detailengineering bepaald evenals het passtuk in de startschacht.

Ook in het eerste deel van het zeedeel van de zeeleiding kan mogelijk thermische expansie optreden. Dit wordt nog nader onderzocht en als er expansievoorzieningen nodig zijn, dan wordt in dat gedeelte een aantal geleidelijke bochten (snake lay) aangelegd. Als dit gebeurt, wordt ervoor zorggedragen dat de leiding binnen de onderzochte corridor blijft.

Ligging op of in de bodem
De kruising van de zeeleiding met de zeewering en Maasgeul met de tunnel wordt volledig ondergronds aangelegd.

3.2.1 Aanleg schacht en tunnel

Voorbereiden

- Afbakenen werkterrein: Alle werkzaamheden voor de aanleg van de schacht op land vinden plaats in het bouwterrein, zie bouwkundige situatie tekeningen.

3.3 Beschrijving tracé en aanleg kruising zeewering en Maasgeul

Vanaf de Maasvlakte loopt de Aramis-zeeleiding verder op zee naar de uiteindelijke bestemming. Hierbij worden eerst de zeewering[3] en de Maasgeul gekruist. De zeewering moet veilig gekruist worden om de waterveiligheid niet in gevaar te brengen. De Maasgeul is de aanlooproute die zeer grote containerschepen op de Noordzee toegang geeft tot de Rotterdamse haven. De kruising van de Maasgeul moet daarom zodanig worden uitgevoerd dat dit de diepte van de vaargeul niet beperkt en de scheepvaart minimaal gehinderd wordt. Omdat de Maasgeul ter hoogte van de Maasvlakte dicht langs de zeewering loopt, worden beiden met één tunnel gekruist. De tunnel kruist hierbij kabels van TenneT.

- De kruising van de zeewering wordt zodanig uitgevoerd dat de integriteit van de zeewering niet wordt aangetast Momenteel is een minimale kruisingsdiepte van 6,5 meter onder het maaiveld voorzien.
- De kruising van de Maasgeul wordt op een dusdanige diepte uitgevoerd dat de tunnel geen obstakel is voor de diepte van de Maasgeul en het baggeren daarvan. Tevens is de diepteligging van de bovenkant

[3] *Het maaiveldniveau van de Maasvlakte bevindt zich op ongeveer 5 meter boven NAP. De Maasvlakte is aangelegd met van zee aangevoerd ophoogzand. Aan de westkust van de Maasvlakte bevindt zich een waterkering. Dit is geen primaire waterkering (ook wel zeewering genoemd), maar gezien de bescherming van de havenactiviteiten heeft Rijkswaterstaat aangegeven dat voor deze zeewering wel dezelfde regels gelden als voor een primaire waterkering.*

van de tunnel dusdanig dat de tunnel niet beschadigd kan worden door ankerende schepen bij noodsituaties.

- Kabels van derden worden zodanig gekruist dat deze geen schade oplopen.

De tunnel is een geboorde tunnelbuis met een diameter van ruim drie meter[4] onder de zeewering en de Maasgeul door. De tunnel heeft een lengte van ongeveer 1,8 kilometer en komt aan de overzijde van de Maasgeul weer op de zeebodem uit. In de tunnel is naast de zeeleiding ook ruimte voor andere, toekomstige kabels en leidingen, maar de eventuele aanleg daarvan valt buiten de scope van deze aanvraag. Hiervoor wordt, indien nodig, een aparte omgevingsvergunning aangevraagd. De boormachine voor de tunnel wordt in een startschacht van enkele tientallen meters diepte opgesteld, omdat de tunnel slechts onder een beperkte hoek kan worden geboord. Als de boormachine op het maaiveld zou worden opgesteld, zou een veel langere tunnel nodig zijn. Rondom de schacht is een werklocatie vereist voor machines, opslag, accommodaties, opslag van grond, etc. Hiervoor wordt (indien nodig) apart een omgevingsvergunning aangevraagd.

Het werkterrein met de startschacht is gepland op een locatie ten noorden van de Maasvlakteweg ter hoogte van de zogeheten Haaienvin tussen de kazerne van de gezamenlijke brandweer en de vuurwerkompaklocatie. Figuur 3-1 toont de globale ligging van het werkterrein voor de tunnelboring. De wijze van aanleg van de startschacht en de tunnelboring worden verderop in deze paragraaf beschreven.



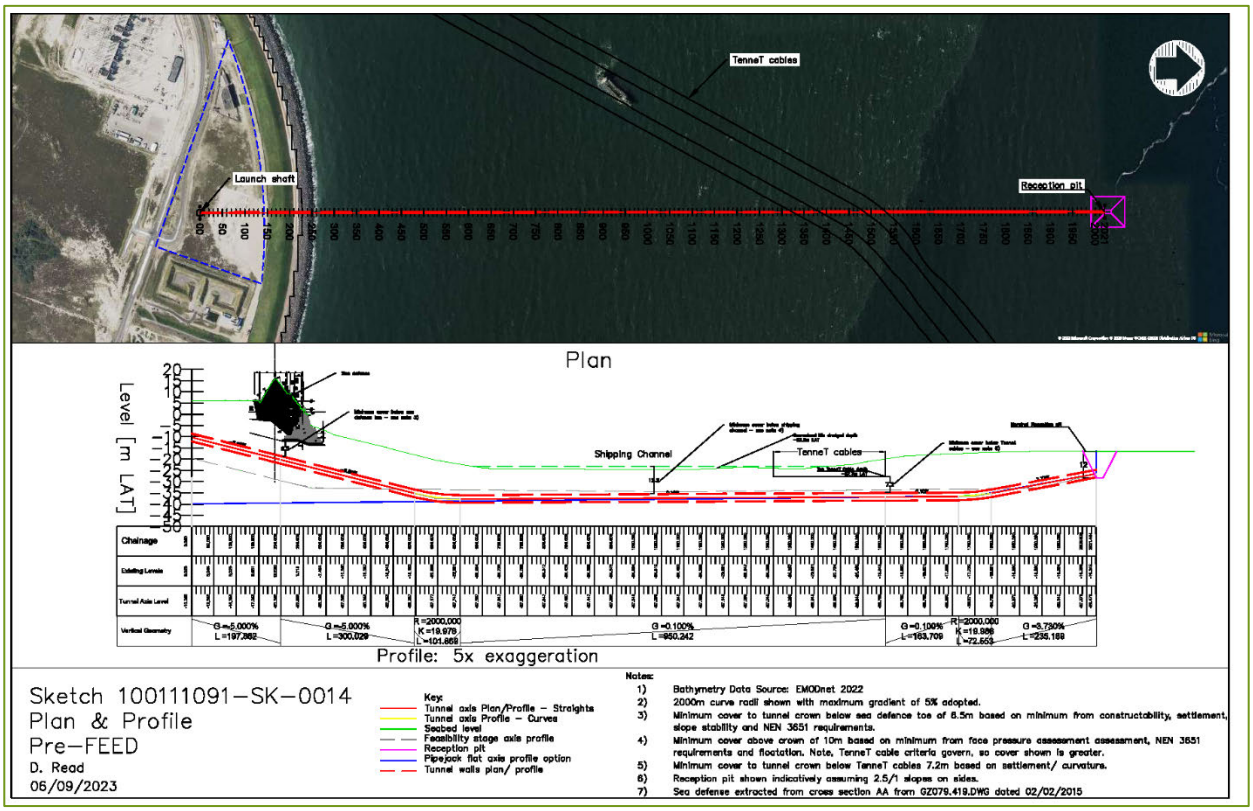
Figuur 3-1: globale ligging van de werkterreinen voor de tunnelboring (kaart Street Smart / Cyclomedia)

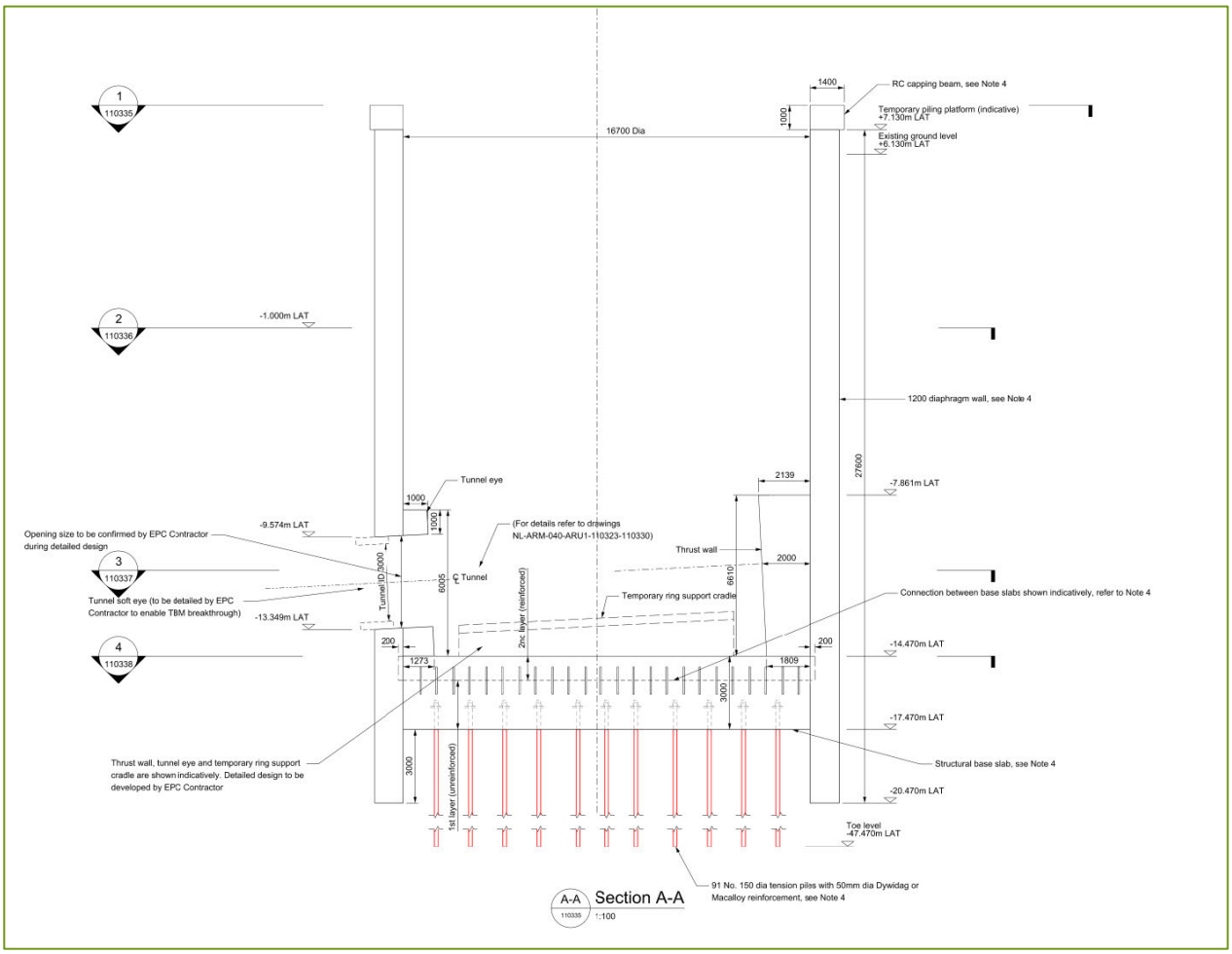
3.3.1 Boorlocatie voor de tunnel

Op de geplande locatie aan de noordzijde van de Maasvlakteweg is een voldoende groot terrein beschikbaar met ruimte voor de schacht en voor de opslag van hulpapparatuur zoals installaties voor de scheiding van boorgruis en boorspoeling (bentoniet). Ook is ruimte beschikbaar voor de opslag van tijdelijke bouwmaterieel, portocabins, etc. In figuur 1.3 is de ligging van de startschacht en het tracé van de boring getoond. De boring eindigt in een onder het zeebed aangelegde ontvangstput aan de andere zijde van de Maasgeul. Vanuit de ontvangstput volgt de route op of in het zeebed tot aan het ruim 200 kilometer noordelijker gelegen

[4] *Vooralsnog wordt uitgegaan van een tunnel met een buitendiameter van 3,6 meter en een binnendiameter van 3 meter.*

distributieplatform. Onder de foto in is de boorlijn getoond, dit is het zijaanzicht van de boring waaruit de diepte kan worden afgelezen. De totale boorlengte is ongeveer 1,8 kilometer.





Figuur 3-2: Voorlopig ontwerp van de startschacht

De voorgestelde schachtstructuur (figuur 3-2) heeft een ronde vorm en een inwendige diameter van 16,7m. Deze diameter:

- is voldoende gebleken voor de werkzaamheden in de schacht (bouw van de tunnel en installatie van de pijpleiding);
- maakt een kant-en-klare segmentkeuze mogelijk voor het geval een segmentschacht de in de toekomst de voorkeur krijgt van de opdrachtgever en de gekozen aannemer.

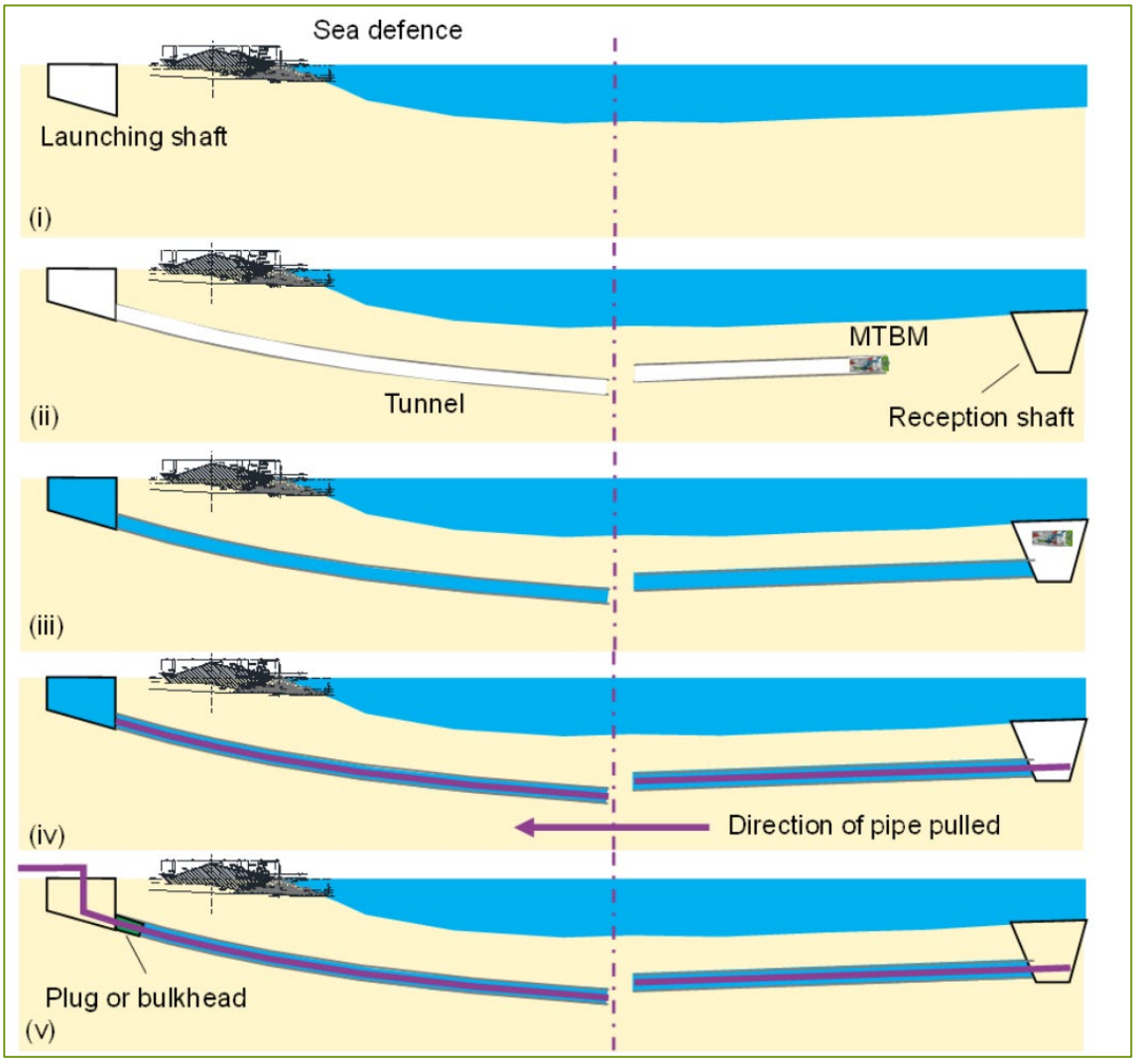
Ten behoeve van FEED bestaat de schachtstructuur voor de diepwandoptie uit:

- Een 1,2 m dikke diepwand (waarvan wordt aangenomen dat hij wordt gebouwd met drie-beukige panelen volgens de Nederlandse bouwpraktijk), die 1 m boven de bestaande grond uitsteekt. en in totaal 27,6 m diep is. Afhankelijk van de grootte van het D-wandpaneel, gekozen door de EPC-aannemer, kan de resulterende schacht er veelhoekiger uitzien dan het geïdealiseerde ronde concept.
- Een constructieve plaat van 3 m dik, bestaande uit een eerste onversterkte laag van 2 m dik en een tweede volledig versterkte laag van 1 m dik.
- 150 mm diameter trekpalen (91x), worden verankerd in de 1e onversterkte laag van de constructieve basisplaat. De trekpalen zijn ontworpen om de opwaartse drukkrachten op de bodem van de schacht-constructie te weerstaan en worden versterkt met Dywidag of Macalloy wapeningssystemen;

- Een dekbalk van 1,4 m breed en 1 m hoog: De afdekkingsbalk wordt 1m verhoogd boven het tijdelijke heiplatform om te dienen als bescherming tegen vallen tijdens de constructiefase;
- Een drukwand met een gemiddelde dikte van 2m;
- Een tunneloog met een gemiddelde dikte van 1m.
- De binnendiameter van 16,7 m wordt voldoende geacht voor de tunnelbouwapparatuur voor beide bouwopties van pipe-jacking en TBM-methoden, zoals weergegeven op spaceproofing tekening NL-ARM-040-ARU1-110319. De adviseur voor het ontwerp van de pijpleiding, Offshore Independents, heeft ook bevestigd dat de ruimte reservering voor de schacht voldoende is voor de voorgestelde lierapparatuur. Tijdens het doorpersen wordt smeermiddel in de spleet geïnjecteerd en deze druk wordt gehandhaafd tijdens het doorpersen. Na het doorpersen wordt dit smeermiddel vervangen door een cementgebonden specie door het in de spleet te injecteren vanuit dezelfde poorten die gebruikt werden voor de smeerinjectie, met een iets hogere druk.

3.3.2 Aanleg van de tunnel

Figuur 3-3 is de aanleg van de tunnel stapsgewijs uitgebeeld, de stappen zijn in de volgende paragrafen toegelicht.



Figuur 3-3. Schematisch voorbeeld van de constructie van de tunnel (i: bouw van de schacht voor de boormachine, ii) constructie van de tunnel met tunnelboormachine (TBM) tot de ontvangstput, iii) tunnel en toegangsschacht onder water[5], iv) intrekken van de pijpleiding vanaf de ontvangstput naar de schacht, v) in de tunnel wordt een schot geïnstalleerd, de startschacht wordt leeggepompt en er wordt verbinding gemaakt met de pijpleiding aan land.

Inrichten bouwterrein

Het bouwterrein wordt geëgaliseerd met behulp van graafmachines, zandwagens, en bulldozers. Alle noodzakelijke toegangswegen, nutsvoorzieningen, rioolleidingen, en overige leidingen en kabels voor de bouwwerkzaamheden zijn aangelegd voordat de locatie is voorbereid. Daarna worden de volgende voorzieningen met vrachtwagens naar de bouwplaats gebracht:

- Een portaalkraan wordt naast de startschacht met behulp van mobiele kranen opgetuigd en dient met name om materialen en betonelementen voor de tunnel in de schacht te hijsen, maar ook voor andere hijswerkzaamheden.
- Benodigde accommodaties voor het bouwmanagement, kleedkamers, en dergelijke worden met de mobiele kraan op de juiste plek gezet.
- Terrein en logistieke inrichting, naast de weg die wordt gebruikt voor de industrie, publiek en brandweer.
- Tanks, menginstallaties, en scheidingsapparatuur voor bentoniet, water, en slurry. Bentonietspoeling wordt als hulpstof bij de tunnelboring gebruikt. Bentoniet is een soort klei en een suspensie van bentoniet en water (boorspoeling) en wordt gedurende de boring rondgepompt voor onder andere de afvoer van weggeboord sediment, het leveren van tegendruk, en de smering van de boor en de smering van de doorpersbuissegmenten Geretourneerde boorspoeling met boorgruis wordt door middel van schudzeven gezuiverd van het weggeboorde sediment (boorgruis). De gereinigde boorspoeling wordt hergebruikt en het uitgezeefde boorgruis met nog aanhangende boorspoeling wordt afgevoerd ter verwerking.
- Ondersteunende apparatuur voor de bouw van diepwanden en betonvloeren.
- Wapeningstaal voor de diepwanden en de betonvloer.

Startpunt boring

De startschacht wordt ‘in den natte’ aangelegd, wat wil zeggen dat de wanden en bodem van de schacht zonder of met minimale bronbemaling worden gebouwd met onderwaterbeton. Hiervoor zijn trekpalen aangebracht. Als het beton is uitgehard, wordt de schacht pas drooggemalen. De wanden van de schacht worden in principe van diepwanden van gewapend beton gemaakt. Voor de diepwanden worden de omtreksleuven voor de diepwanden uitgegraven met graafmachines. De grond wordt met inachtneming van de regels bij of krachtens de Omgevingswet nuttig gebruikt of afgevoerd. Indien de bodemkwaliteit ter plaatse niet bekend is, wordt voorafgaand aan de werkzaamheden een nulsituatieonderzoek uitgevoerd. Ook wordt de grond onderzocht naar NGE.In de sleuven wordt betonite gepompt. Het wapeningsstaal wordt ter plekke tot korven gevlochten. De wapeningskorven worden door de portaalkraan in de met bentoniet gevulde diepwanden neergelaten en vervolgens worden de diepwanden volgestort met beton, waarbij het gestorte beton de bentoniet verdringt. Als de diepwanden zijn uitgehard, wordt de grond tussen de diepwanden uitgegraven. De grond wordt afgevoerd naar een stortplaats of nuttig gebruikt. Tot slot wordt de bodem van de schacht gemaakt van wapeningskorven en onderwaterbeton. Hiermee is de schacht waterdicht en sterk genoeg om de druk van de omliggende grond te weerstaan en kan de schacht tot slot worden drooggemalen.

Tunnelboormachine installeren

De tunnelboormachine en alle uitrusting van de tunnelboormachine (zoals duwframe, geleidingssystemen, besturingscabine) worden met vrachtwagens aangevoerd en met een mobiele kraan gelost en geïnstalleerd.

[5] *Plaatje iii suggereert dat er in die fase een open verbinding is tussen het oppervlaktewater en het land. Voor de Maasvlakte is dit niet het geval omdat het maaiveld van de Maasvlakte vijf meter boven NAP ligt.*

Het duwframe, de geleidingssystemen en de tunnelboormachine worden in de startschacht geplaatst. In Figuur 3-4 is het dwarsprofiel van de bodemopbouw onder de zeewering gegeven. Het grootste deel van de grond die we tijdens het boren tegenkomen bestaat uit zand. De klei zal alleen aan het begin van de tunnel aanwezig zijn en slechts voor een beperkte lengte. De bodem bestaat daardoor uit een opeenstapeling van zand- en kleilagen. Deze complexe afzettingsgeschiedenis betekent dat het materiaal dat bij het boren van de tunnel worden aangetroffen, zowel verticaal als horizontaal zeer variabel zijn.

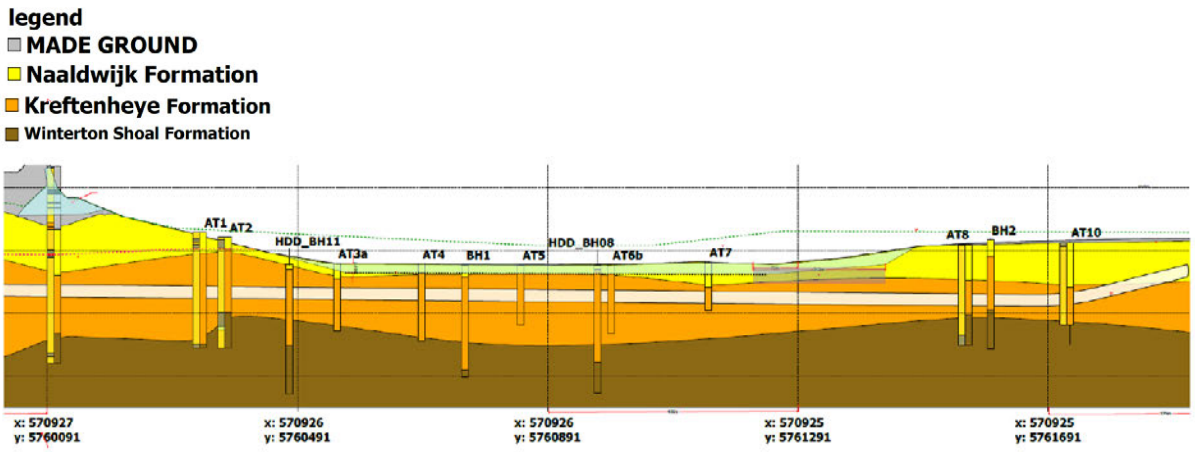


Figure 8: Geological Long Section of the tunnel drive and geology key. Source - Aramis long section, ref 2.

Figuur 3-4. Dwarsprofiel van zuid naar noord van de bodemopbouw langs de geplande tunnel, bestaande uit zandlagen afgewisseld met kleilagen. Op de figuur is links het landdeel met de zeewering te zien en rechts de zeebodem met de Maasgeul.

Uitvoering van de boring

De boring wordt geboord door het weggegraven van grond met de boorkop van de boormachine. De uitgegraven grond wordt met de bentonietspoeling afgevoerd. Achter de boorkop bevindt zich het boorschild dat zorgt voor de afsluiting van de gegraven tunnel van de omringende grond- en waterlagen en het weerstaan van de druk van die aardlagen en het grondwater. De bentonietspoeling zorgt voor voldoende tegendruk voor het boorschild tegen de druk van de grondlagen. De tunnel wordt opgebouwd uit betonnen tunnelelementen die achter elkaar worden geplaatst en zo de tunnel vormen. De boormachine boort steeds een sectie van de tunnel waarna een betonnen tunnelelement met een uitwendige diameter van ongeveer 3,6 meter (inwendig 3 meter) en wordt geplaatst. Per dag wordt gemiddeld enkele meters geboord. De aanlegduur van de schacht en tunnel neemt ca. één jaar in beslag.

Het ontwerp van de tunnel is gebaseerd op drie 'omschakel' scenario's:

1. Hybride 'Vliegende start': een start van de tunnelbouw in pipejacking-modus en overschakelen naar segmental tunnelen na ongeveer 100-150 m.
2. Hybride oplossing voor maximale snelheid van de bouw met een geplande overschakeling van pipejacking naar segmental tunnelen tussen 1000 m en 1500 m, afhankelijk van de boven- en ondergrondse omstandigheden.
3. Overschakeling van pipejacking naar segmentele tunnelbouw op basis van de observatiemethode tijdens de bouw. Dit scenario biedt de EPC-contractor flexibiliteit om de locatie van de overschakeling te kiezen, rekening houdend met de werkelijke grondomstandigheden, de logistiek op de bouwplaats en potentiële risico's tijdens de bouw. In dit scenario is er ook de mogelijkheid om pipejacking toe te passen over de volledige lengte van de tunnel, met behoud van mogelijkheid om als noodmaatregel naar segmental tunnelen over te schakelen.

Kader uitleg pipe-jacking en segmental tunneling

Pipejacking
Bij de meeste microtunnelingoperaties wordt de tunnelbekleding in de vorm van buiselementen achter de machine geduwd. Dit pipe jacking (buisvijzel) proces wordt herhaald totdat de TBM het eindpunt bereikt. De wrijving van de grond aan de buitenzijde van de buizen neemt toe in verhouding tot de tunnelengte en diameter. Om deze te minimaliseren wordt geboord met oversnijding om speling te creëren tussen de verwijderde grond en de buitenrand van de tunnelbuis. De geboorde diameter is daarbij net iets groter dan de buitendiameter van de tunnelbuis. Een smeermiddel, vaak bentoniet suspensie, wordt in deze speling geïnjecteerd. De druk van het smeermiddel voorkomt dat de grond in elkaar valt en de speling zo tenietdoet.
Bij lange tunnels zijn er alsnog enorme krachten nodig om de machine en de tunnelbuizen vooruit te duwen. Het hydraulische jacking frame in de startschacht moet deze kracht leveren. De ingangsschacht moet sterk genoeg zijn om de krachten die het genereert te ondersteunen. Als de tunnellengte te groot wordt voor het jackingframe in de startschacht, kunnen ook kleinere vijzels (interjacks) tussen secties van de tunnelbekleding worden gestoken.
https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/avn-machine/

Segmental tunneling
Bij segmental tunneling wordt de betonnen bekleding niet aan de achterzijde (in de startschacht) maar aan de voorzijde aangevuld. De consequentie hiervan is dat de bekleding in segmenten moet worden opgebouwd tot een ring. De segmenten worden via de startschacht middels een supply train door de tunnel naar de voorzijde getransporteerd. De TBM wordt afgevijzeld op de laatst aangebracht ring. Als de TBM voldoende grond heeft weggegraven worden de vijzels ingetrokken en kunnen er nieuwe segmenten worden geplaatst.
https://www.youtube.com/watch?v=2ERyP6JTPyo

3.3.3 Tunneldoorsnede

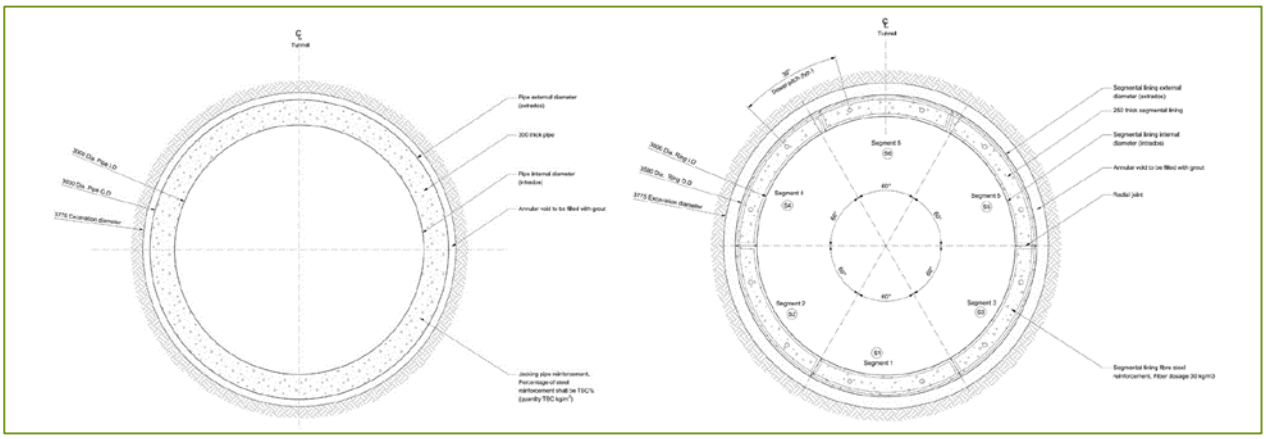
Er is in het FEED ontwerp aanbevolen een binnendiameter toe te passen van 3 m.

Bij grotere diameters neemt de benodigde hoeveelheid af te voeren en aan te voeren grond substantieel-toe. Daarnaast is er bij een standaardmaat van 3 m diameter een grotere kans op de beschikbaarheid van TBM's op de markt, zonder deze nieuw te hoeven bouwen. Het nieuw bouwen van een hybride TBM (voor pipejacking- en segmentele bekledingsgraafmethoden) zou een geschatte doorlooptijd van ongeveer 12 maanden vergen, wat een potentiële beperking zou vormen voor het projectprogramma.

Er is een uitgebreide analyse uitgevoerd om te waarborgen dat alle noodzakelijke functies tijdens de uitvoering binnen het geplande tunnelvolume kunnen worden ondergebracht. Voor de CO2-transportleiding is uitgegaan van een enkele circa 32 inch (812,8 mm) stalen buis (en bijbehorende ondersteuningen). De ruimte die hiervoor nodig is, is niet maatgevend voor de keuze van de inwendige tunneldiameter.

Op basis van de hybride graafmethode zoals beschreven in paragraaf 4.2.2, zijn er binnen het project twee typen tunnel-lining te onderscheiden: buizen (voor pipe-jacking), en segmenten (voor segmental tunneling), zie ook Figuur 4-3.

- Buizen: Dit betreft een voorgevormde betonnen buis met een binnendiameter van 3,0 m en een bekledingsdikte van 300 mm.
- Segmenten. Dit betreft voorgevormde betonnen segmenten met een binnendiameter van 3,0 m en een segmentdikte van 250 mm. Elke ring bestaat uit zes segmenten met een rechthoekige configuratie (6+0 opstelling).



Figuur 4 3: Doorsnede voor methode pipejacking (links) en methode Segmental tunneling (rechts) (uit NL-ARM-040-ARU1-110306_02_IFD_2024-10-21_01, bijlage 6).

3.3.4 Bouwterrein

De bouw van een microtunnel met de voorgenomen technieken is een complex proces. Alle werkstromen gaan via de startschacht. Het bouwterrein dat zich concentreert rondom de startschacht heeft onder meer de volgende functies:

- toegangswegen;
- gronddepots;
- opslagtanks;
- stroomvoorziening;
- scheidingsinstallatie voor afgegraven grond;
- opslag materialen zoals tunnelringen en lining;
- kranen;
- ketenpark.

Op tekening NL-ARM-040-PTC1-110261_03_IFD_20240816_01 (bijlage 4) is een inrichtingsvoorstel gegeven van het werkterrein. Alle functies liggen daarbij buiten het beperkingengebied.

3.3.5 Ontvangstput

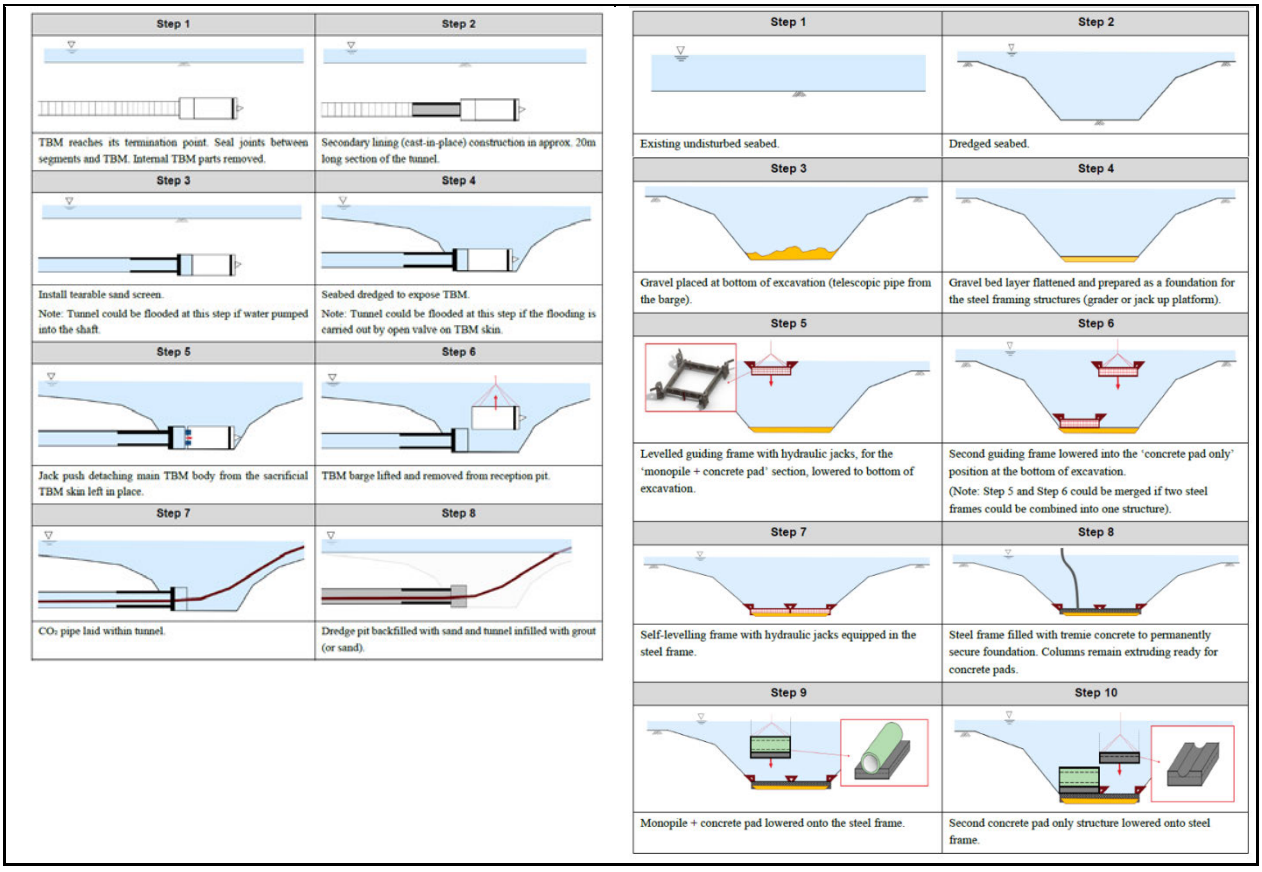
De ontvangstput van de tunnelboormachime (TBM) is een tijdelijke open ontgraving op de bodem van de Noordzee. De tunnel eindigt hier. De TBM wordt teruggewonnen en de CO_2-transportleiding zal vanaf hier op de bodem van de zee worden aangebracht. Vervolgens wordt de ontvangstput gevuld met zand tot het niveau van de oorspronkelijke zeebodem. De diepte van de ontvangstput wordt voornamelijk bepaald door de minimaal benodigde gronddekking boven de TBM voor een stabiel boorproces, en daarnaast de wijze waarop de TBM vanuit de ontvangstput wordt teruggewonnen. De afmetingen van de ontvangstput zijn weergegeven op tekening NL-ARM-040-PTC1-113855_01_IFD_20240820_01 (zie bijlage 3).

3.3.6 Terugwinnen tunnelboormachine

Voor het terugwinnen en boven water halen van de TBM zijn er twee hoofdoplossingen beschreven in het FEED ontwerprapport (NL-ARM-040-ARU1-110306_02_IFD_2024-10-21_01, bijlage 6) te weten; inwendig

versterken van de tunnel (Secondary Lining optie) en uitwendig versterken van de tunnel (Monopile optie). De eerstgenoemde oplossing is de voorkeursoplossing. Beide opties omvatten maatregelen die ervoor zorgen dat de het einde van de tunnelbuis niet omhoogkomt (opdrijven), en constructief in staat is om belastingen op te nemen die optreden bij het proces van het terugwinnen van de TBM en het opengraven van de tunnelmond.

Bij de Secondary Lining optie wordt de tunnel hiertoe inwendig versterkt met een betonnen schil (dikte 225mm), over een lengte van circa 20m achter de TBM. Deze schil maakt de constructie sterker en zwaarder. Het proces is weergegeven in Figuur 4-4. Bij de Monopile optie wordt de noodzakelijke versterking van de tunnel uitwendig gerealiseerd door de tunnel te boren door een vooraf horizontaal afgezonken betonnen buis (Monopile). De uitwendige diameter van de Monopile bedraagt 4,5 m. Om de Monopile te verzwaren zodat hij niet tordeert bij het boren wordt deze bevestigd aan een circa 0,75 m dikke betonnen fundatieplaat aan de onderzijde. De Monopile constructie (buis en plaat) wordt afgezonken op een grondverbetering (gravel bed). De grondverbetering, de fundatieplaat en de dikte van de Monopile maken dat de ontgravingsdiepte van de ontvangstput circa 4m groter is dan bij de Secondary Lining optie, zie Figuur 4-5.



Figuur 3-5: (links) Uitvoeringsmethode Secondary Lining optie (uit NL-ARM-040-ARU1-110306_02_IFD_2024-10-21_01, bijlage 6).
Figuur 3-6: (rechts) Uitvoeringsmethode Monopile optie (uit NL-ARM-040-ARU1-110306_02_IFD_2024-10-21_01, bijlage 6).

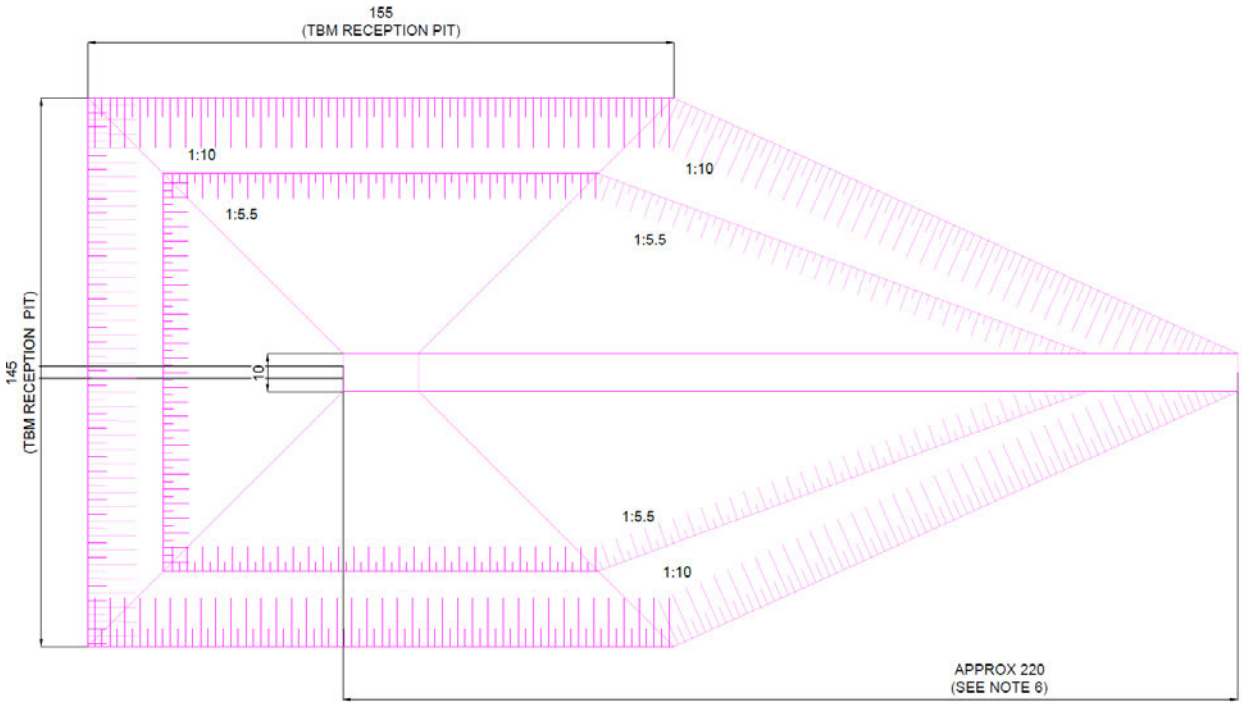
3.3.7 Afmetingen

Dwangpunten voor de geometrie van de tijdelijke open ontgraving zijn de volgende:

- het alignement van de tunnel met een helling van 5% en een minimale gronddekking van 7,55 m boven de tunnelmond om instabiliteit van het boorfront te voorkomen;

- voor de Secondary Lining optie een ontgravingsdiepte van ongeveer 10,6 m onder niveau zeebodem;
- voor de Monopile een ontgravingsdiepte van ongeveer 14,5 m onder niveau zeebodem;
- een horizontaal plateau in het diepste punt van de ontgraving van 10 x 20 m om de verschillende werkzaamheden (onder andere TBM terugwinnen, aanbrengen CO_2-transportleiding, en het vullen van de tunnel) uit te kunnen voeren;
- aan drie zijden een 1:5,5 onderwatertalud in de zandlagen en 1:10 onderwatertalud in de siltlaag onder de zeebodem. De vierde zijde heeft een 1:20 talud. Dit is de zijde waar de CO_2-transportleiding uit de tunnelmond onder helling naar de zeebodem loopt.
- Omdat het niveau van de zeebodem in tijd varieert als gevolg van getijdewerking en sedimenttransport, en ook de stratigrafie over de plot van de ontvangstput horizontaal varieert, kan het uiteindelijke baggerprofiel afwijken van de geleverde tekeningen in het FEED design.

In onderstaande figuur zijn de afmetingen van de Secondary Lining optie (voorkeur) aangegeven. Zie ook tekening NL-ARM-040-PTC1-113855_01_IFD_20240820_01 (bijlage 3).



Figuur 3-7: .Bovenaanzicht ontvangstput secondary lining optie. (NL-ARM-040-PTC1-113855_01_IFD_20240820_01, bijlage 3)

3.3.8 Blijvende objecten in ondergrond

Wat er na de operatie ter plaatse van de ontvangstput in de ondergrond achterblijft is afhankelijk van de gekozen optie voor het terugwinnen van de TBM. Bij de Secondary Lining optie zijn naast de tunnel(mond) met inwendige verdikking geen andere objecten die in de ontvangstput achterblijven. Bij de Monopile optie zijn dit:

- de Monopile om de tunnelmond, met daaronder de funderingsplaat;
- het gravelbed onder de funderingsplaat

een frame met vijzels waarmee de monopile/funderingsplaat exact in positie kan worden gebracht.

Leiding intrekken

Als de tunnel gereed is, wordt voor de ontvangstschacht een pijpenlegschip in positie gebracht. In principe wordt hiervoor hetzelfde pijpenlegschip gebruikt waarmee ook de rest van de zeeleiding wordt gelegd, maar gezien de beperkte waterdiepte bij de ontvangstput (ongeveer 15 meter), kan het ook mogelijk zijn voor het eerste deel van de leiding een speciaal ondiepwaterschip in te zetten. In het algemeen wordt het legschip met dynamic positioning op de juiste locatie gehouden, maar mogelijk kan ook gekozen worden – met name bij ondiepwaterschepen) om het legschip met ankers te positioneren.

Op het pijpenlegschip wordt de pijpleiding die in de tunnel moet worden ingetrokken, opgebouwd uit pijpleidingsegmenten van ongeveer twaalf meter. Aan het voorste segment wordt een trekoog voor de trekkabel aangebracht. De op het pijpenlegschip opgebouwde leiding wordt met de trekdraad vanaf zee door de tunnel naar land getrokken, waarbij op het pijpenlegschip steeds nieuwe segmenten worden toegevoerd. Vooraf in de tunnel geïnstalleerde verticale schijven zorgen voor de juiste spreiding tijdens het intrekken. Alle lassen worden uitwendig gecontroleerd. Na de controle worden de lassen uitwendig behandeld tegen uitwendige corrosie. Opofferingsanoden voor de kathodisch bescherming worden alleen aangebracht op het leidingdeel dat zich buiten de tunnel bevindt. Het leidingdeel in de tunnel krijgt geen anodes, maar de kathodische bescherming van dit deel wordt gerealiseerd door de anodes buiten de tunnel. Om de bescherming van de leiding in de tunnel te verbeteren, wordt de tunnel geheel gevuld met zand of ‘grout’ (cement) waardoor er geen of weinig laterale beweging van de leiding is.

De diameter van de tunnel die nodig is voor de bouw, is vanwege constructieve redenen veel groter dan de benodigde diameter voor de zeeleiding. Een mogelijke ontwikkeling is dat deze reserveruimte de mogelijkheid biedt om in een mantelbuis gelijktijdig of op een later tijdstip extra infrastructuur aan te leggen. Dit dient plaats te vinden voordat de tunnel wordt gevuld met grout. Het leggen van hoogspanningsleidingen in de tunnel is niet gewenst vanwege de onderlinge beïnvloeding. Het heeft de voorkeur om eventueel extra mantelbuizen (waardoorheen extra leidingen doorheen getrokken kunnen worden) tegelijkertijd met de Aramisleiding in een bundel te installeren omdat het later intrekken van een extra pijpleiding nadat de de CO_2-zeeleiding is geïnstalleerd, kan leiden tot schade aan de al liggende pijpleiding.
Tevens zorgt een grotere diameter van de buis voor een betere persoonlijke veiligheid, ergonomie tijdens de aanleg en is gebaseerd op BAT industrial standards and guidance.

Mogelijk wordt een extra mantelbuis geinstalleerd door middel van een tussenschot in de tunnel tijdens de uitvoeringsfase. Dit maakt geen onderdeel uit van deze aanvraag.

Opruimen en herinrichting van de bouwplaats

Het bouwterrein wordt opgeruimd..De torenkraan wordt afgebroken en afgevoerd. De bouwplaats zal niet alleen gebruikt worden voor de tunnelbouwactiviteiten, maar ook voor andere activiteiten die verband houden met de hoofdverbinding, d.w.z. pull-in, pre-commissioning, enz. Na ontruiming wordt het terrein ingericht volgens de overeenkomst met het Havenbedrijf Rotterdam.

Aansluiten op de leiding op de zeebodem

Als de leiding in de tunnel is aangebracht, wordt de rest van het zeedeel van de zeeleiding met het pijpenlegschip opgebouwd en gelegd (altijd eerste deel tot KP11). Dit kan direct na het intrekken van de zeeleiding in de tunnel of later. Als het direct gebeurt, wordt het zeedeel van de zeeleiding direct verder opgebouwd met het pijpenlegschip. Als het later gebeurt, wordt een afsluitstuk op de leiding aangebracht en wordt de leiding tijdelijk in de ontvangstschacht en verder op de zeebodem achtergelaten. Dit leidingdeel kan dan later door een pijpenlegschip worden opgepakt waarna de rest van de zeeleiding met een pijpenlegschip verder uit leidingsegmenten wordt opgebouwd en uiteindelijk eindigt bij het distributieplatform-platform. De aanleg van de zeeleiding is beschreven in paragraaf 3.4.
De ontvangstput wordt na voltooiing van de aanlegwerkzaamheden gevuld met zand om het oorspronkelijke zeebodemprofiel te herstellen.

3.4 Beschrijving tracé en aanleg zeedeel

3.4.1 Tracéonderzoek

Geotechnisch onderzoek
Fugro heeft in opdracht van Aramis een geotechnisch onderzoek uitgevoerd naar het leidingtracé. Dit onderzoek dient om informatie te verzamelen over onder meer het zeebed, daar aanwezige objecten en de bodemopbouw van het zeebed. In het rapport is beschreven:

1 Het profiel van de zeebodem;
2 De aanwezige obstakels;
3 De ligging van bestaande pijpleidingen en kabels;
4 De grondmechanische eigenschappen;
5 De stratigrafie van de zeebodem, en
6 De analyse en kwaliteit van de bodemmonsters en sonderingen.

Het rapport van het geotechnisch onderzoek is als bijlage 6 bij deze aanvraag opgenomen.

In het kader van het project is de zeebodem ter plaatse van het leidingtracé onderzocht om de leiding veilig en duurzaam aan te kunnen leggen.

Onontplofte munitie (UXO)
Voor onontplofte munitie (unexploded ordnance - UXO) is een apart onderzoek opgestart (zie bijlage), bestaande in eerste instantie uit een bureauonderzoek. Als vanuit het bureauonderzoek locaties als verdacht worden aangemerkt, wordt mogelijk een aanvullend onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek vindt plaats in het kader van de arbowetgeving. Het bureauonderzoek bevat een risicoanalyse op welke explosieven in dit deel van de Noordzee verwacht kan worden (een zogenaamd PRA, projectrisicoanalyse). Vervolgens wordt, wanneer er verdachte locaties worden aangemerkt, een gerichte UXO-survey op uitgevoerd. De verzamelde data worden geanalyseerd om mogelijke anomalieën die op UXO lijken, te identificeren. Deze anomalieën worden in een volgende fase benaderd vanaf een schip. Wanneer alle anomalieën zijn benaderd en waar UXO daadwerkelijk wordt aangetroffen en verleggen van de leiding niet mogelijk is, deze UXO onschadelijk zijn gemaakt, wordt het gehele gebied met een PVO (procesverbaal van oplevering) vrijgegeven. Op dit ogenblik is het CFT-proces (aanbestedingsproces) gaande om de uitgebreide UXO-onderzoekswerkzaamheden te vergemakkelijken

Milieueffecten leefomgeving, bodem, waterkwaliteit- en kwantiteit
Het landdeel bestaat uit het tracé vanaf het compressorstation naar kruising van de zeewering, de boring onder de zeewering en de Maasgeul. Er zijn neutrale, licht negatieve en negatieve effecten voorzien. De negatieve effecten van de microtunnel hebben betrekking op archeologische waarden en op omgevingsveiligheid in de gebruiksfase en gebiedsbescherming in de aanlegfase vanwege stikstofdepositie door baggerwerk.

Aanlegfase
Voor de kruising met de zeewering en Maasgeul vindt verstoring van de bodem plaats door vergraving bij de startschacht, vindt er afvoer van materiaal uit de boring plaats en verplaatsing van bagger voor aanleg van de sleuf van de leiding. Bij de microtunnel boring, wordt de baggerlaag op de waterbodem ongemoeid gelaten waardoor de hydrologische weerstand daar niet wijzigt en daarmee de hydrologische omstandigheden niet zullen veranderen. Er zijn luchtemissies, geluidhinder en onderwatergeluid als gevolg van de

inzet van bouwmaterieel. Indirect heeft dit ook licht negatieve gevolgen op de natuur. Als gevolg van de werkzaamheden voor het aanleggen van de kruising van de leiding met de Maasgeul zijn nautische risico's en lichthinder te verwachten.

In de aanlegfase wordt geen oppervlaktewater onttrokken en vindt eveneens geen lozing plaats waardoor geen invloed op de waterkwantiteit wordt voorzien. Er wordt zoveel mogelijk voorkomen dat stoffen, die gebruikt worden tijdens de aanlegfase bij het bouwen van de tunnel en andere werkzaamheden benodigd zijn, het water in de Noordzee aantasten. Daarmee wordt verwacht dat dit geen (negatieve) effecten voor de waterkwaliteit oplevert.

Ten aanzien van archeologie heeft de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed het in opdracht van Aramis uitgevoerde archeologisch onderzoek goedgekeurd.

Voor de mogelijke milieueffecten in de Noordzee kan op basis van de passende beoordeling zeegebieden als onderdeel van de omgevingsvergunningaanvraag Natura 2000-activiteit (ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2004 van mei 2024) het volgende geconcludeerd worden:

- Wezenlijke effecten op platte oester, mossel en zandkokerworm door oppervlakteverlies kunnen worden uitgesloten;
- Wezenlijke effecten op zandkokerwormen door oppervlakteverlies kunnen niet worden uitgesloten;
- Wezenlijke effecten op relevante soorten door vertroebeling kunnen worden uitgesloten;
- Wezenlijke effecten op relevante soorten door verandering dynamiek kunnen worden uitgesloten;
- Significante effecten door onderwatergeluid op bruinvissen kunnen niet worden uitgesloten.

Mitigerende maatregelen
Ondanks het feit dat de zandkokerworm als soort niet wettelijk beschermd is, zal Aramis zijn best doen om de volgende mitigerende maatregelen uit te voeren om wezenlijke effecten te voorkomen:

- Bruinvissen komen in de Noordzee en specifiek in meerdere Natura 2000-gebieden voor. Hierbij geldt dat er in de Natura 2000-gebieden geen significante directe effecten optreden, maar indirecte effecten door onderwatergeluid op bruinvissen kunnen niet worden uitgesloten (indirecte effecten op de gehele Noordzee populatie). Daarom dienen de volgende maatregelen te worden genomen:
  - Er dient zoveel mogelijk gebruik gemaakt te worden van stille schepen om continu onderwatergeluid te minimaliseren.

Het archeologisch rapport is toegevoegd in bijlage 8, het geluidrapport in bijlage 9.

Overige aspecten

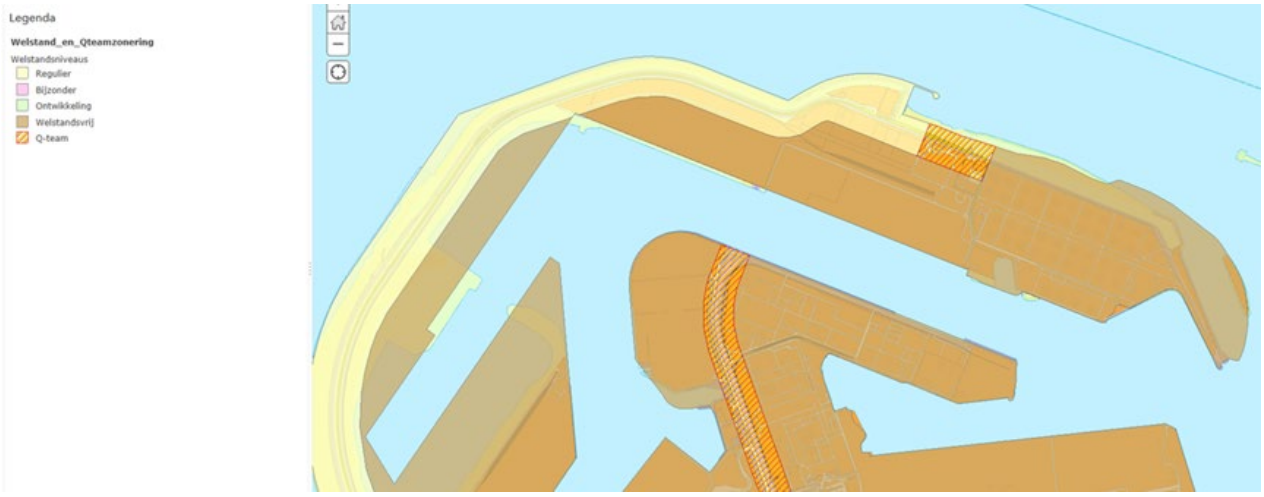
De mogelijke effecten van de overige aspecten milieu, waterveiligheid, personeel, scheepvaart en visserij zijn, net als de mogelijke effecten op de zeewering, in een risico-analyse beoordeeld. Voor zover relevant heeft Aramis de gevonden risico's opgenomen in het 'hazard register'. Aramis geeft de aannemers die de aanleg van de startschacht, tunnel en leiding zullen uitvoeren, opdracht om dit hazard register te implementeren in het HSSE plan.
Mitigerende maatregelen om potentiële negatieve effecten op gezondheid, veiligheid en milieu te voorkomen of te verminderen zijn vastgelegd in het FEED risk assessment report (ref NL-ARM-040-ARU1-110311) en het bijbehorende hazard register (kenmerk NL-ARM-040-ARU1-110377). Bijlage 10.

Mogelijke wijziging definitief tracé

Het definitieve tracé kan nog (beperkt) wijzigen op grond van de onderzoeksresultaten van het geotechnisch onderzoek. Als tracéwijzigingen niet binnen de onderzochte strook vallen, wordt hiervoor ter plaatse aanvullend onderzoek uitgevoerd. Conform artikel 98 Mbb verstrekt Aramis binnen vier weken na de aanleg van de pijpleiding de feitelijke ligging van de pijpleiding.

Eisen welstand Havenbedrijf

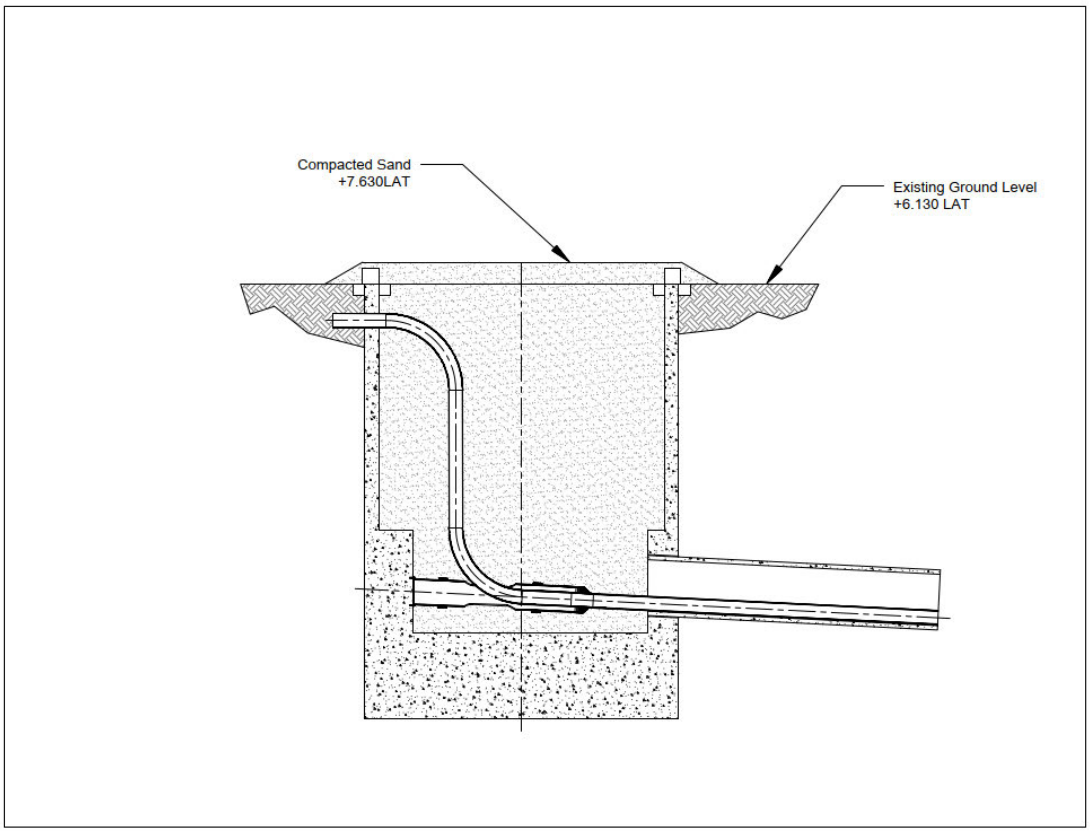
Deze lokatie valt onder welstandsplicht en is besproken met het Q team.



Overzicht Welstand zones Havenbedrijf

In de eindsituatie wordt de schacht gevuld met grond.
Ter plaatse van de schacht wordt de grond met 1,5m opgehoogd en zal begroeien met beplanting die al voorkomt in de directe omgeving.
Installaties en bouwwerken bovengronds maken geen deel uit van deze aanvraag.

Het ontwerp is besproken met de commissie beeldkwaliteit en omdat de ontwikkeling met name ondergronds plaatsvindt verwacht de commissie geen problemen (email van Kim van Doesburg van Port of Rotterdam, Advies afwerking startschacht microtunnel Aramis CCS-project *d.d. 11 november 2024*)



Figuur 3-8. Afdekking van de schacht met aarde

De schacht van de tunnel wordt afgedekt met aarde en zal begroeien met planten uit de directe omgeving (zie figuur 3-8).



Van: [redacted]@portofrotterdam.com> **Namens** Beeldkwaliteit
Verzonden: maandag 11 november 2024 14:19
Aan: [redacted]@gasunie.nl>
CC: [redacted]@portofrotterdam.com>
Onderwerp: RE: Advies afwerking startschacht microtunnel Aramis CCS-project

Goedendag [redacted]

Bedankt voor jouw mail en vraag. Onderstaand mijn reactie:

De betreffende locatie valt onder welstandsplicht, echter als de ontwikkeling met name ondergronds plaatsvindt verwacht ik geen problemen.

- Bij voorkeur loopt de schacht parallel aan de naastgelegen ontwikkeling om zoveel mogelijk binnen de efficiënte structuur van de Maasvlakte bovengronds in te passen, echter door de (milieu)technische beperkingen en belemmeringen van dit gebied wordt begrepen dat dit op deze plek in een hoek ligt.
- Ter plaatse van de schacht wordt de grond met 1,5m opgehoogd, dit komt vaker voor in de (toekomstige) omgeving.
- Dergelijke ophogingen krijgen bij voorkeur een vergelijkbare invulling: laten begroeien met beplanting die al voorkomen in de directe omgeving.
- Indien van toepassing: Eventuele installaties en bouwwerken bovengronds dienen te voldoen aan de beeldkwaliteitscriteria (zie website). Mijn advies is dit functioneel, sober en doelmatig te houden. Uitvoering in principe in een lichtgrijze kleur. Wanneer jullie hier een (schets-/voorlopig-) ontwerp voor hebben is mijn verzoek dit met mij en/of beeldkwaliteit@portofrotterdam.com te delen. Afhankelijk van de impact bovengronds kunnen wij dan goed adviseren wat het vervolgproces moet zijn. Ten behoeve van de vergunningverlening is hier een schriftelijk verslag met positief advies vanuit ons/Q-team nodig, de welstandscommissie van de Gemeente neemt ons advies in principe over.

Komen jullie hier verder mee?

Met vriendelijke groet,

[redacted]

Adviseur stedenbouw / Secretariaat Q-team PoR
Port Development – Port Planning & Programma beeldkwaliteit
Havenbedrijf Rotterdam | Port of Rotterdam Authority

[redacted]

World Port Center
Postbus 6622
3002 AP Rotterdam
www.portofrotterdam.com

Port of Rotterdam

Email advies commissie beeld kwaliteit aan Gasunie d.d. 11-11-2024

3.5 Buitengebruikstelling van de zeeleiding

Er moet ervan worden uitgegaan dat de microtunnel met daarin het leidingdeel blijft liggen. Er is momenteel geen techniek beschikbaar om specifiek het leidingdeel uit de tunnel te verwijderen.
Ook verwijdering van de microtunnel (incl stuk zeeleiding) is praktisch onuitvoerbaar. Er is geen techniek beschikbaar zonder grote maatschappelijke impact en risico's voor de waterveiligheid. Om de waterveiligheid enigszins te waarborgen zou mogelijkerwijs de aanleg van een tijdelijke tweede dijk achter de bestaande zeewering noodzakelijk zijn. De duur van deze verwijderingsoperatie wordt geschat op minimaal 2-jaar waarin de Maasgeul (gedeeltelijk) zou moeten worden afgesloten wat een ontwrichtend effect zou hebben op de Rotterdamse haven.

Laten liggen is praktisch de beste uitvoerbare oplossing en heeft aanzienlijk minder milieueffecten dan verwijdering. Omdat de tunnel al initieel voldoende diep is aangelegd, leidt deze ook na uit gebruik name niet tot hinder of gevaar.

3.6 Risico matrix

De risicobeoordeling in de FEED-fase (zie bijlage 10) heeft gevaren geïdentificeerd en risicocontroles die moeten worden geïmplementeerd in het ontwerp van de kustovergang om de risico's te beheersen.
Er is een afname van het aantal gevaren met onaanvaardbare risiconiveaus en een toename van het aantal gevaren met aanvaardbare risiconiveaus nadat de risicocontroles in het ontwerp zijn geïmplementeerd.
Gevaren met risiconiveaus in het aanvaardbare gebied worden over het algemeen als aanvaardbaar beschouwd. Verdere risicovermindering moet worden bereikt door voortdurende verbetering van toekomstig ontwerp- en operationeel HSE-beheer. Gevaren met een risiconiveau in het aanvaardbare gebied zijn aangetoond dat ze ALARP zijn door middel van een kwalitatief ALARP-evaluatieproces.
Gevaren waarvan is vastgesteld dat ze een onaanvaardbaar niveau van restrisico's hebben, moeten voortdurende beoordeling van de bestaande en nieuwe risicobeheersingsmaatregelen door de EPC aannemer om verdere opties voor risicovermindering te overwegen om het risiconiveau van onaanvaardbaar naar aanvaardbaar niveau te brengen. Deze risicobeheersingsmaatregelen worden gedetailleerd beschreven in het Preliminary Construction Execution Plan.
Een volledige lijst van risicocontroles voor het ontwerp is te vinden in Bijlage A.1, samen met de oorzaken en gevolg, de bijbehorende gevaren en de locatie van bewijs van hun implementatie.
toepassing ervan. Alle gevaren zijn te vinden in de Tunnel FEED Hazard Register (NL-ARM-040-ARU1-110377)

3.7 Bibob

Voor een semi overheid instelling wordt het doorlopen van en Bibob procedure niet noodzakelijk geacht.

3.8 Bouwkosten

Conform art. 7.6 Or zijn de bouwkosten voor de schacht en de tunnel vermeld op het aanvraagformulier (vertrouwelijk).

3.9 Na te leveren documenten

De volgende documenten worden later aangeleverd:
Verklaring havenbedrijf over grondgebruik / akkoord havenbedrijf voor project.

3.10 Uitgestelde indieningsvereisten

Detail berekeningen van de constructies worden in het kader van de uitgestelde indieningsvereisten uiterlijk 3 weken voor uitvoering van de constructie werkzaamheden ter goedkeuring aan de gemeente Rotterdam voorgelegd (voor zover van toepassing, zoals met de gemeente Rotterdam overlegd tijdens de vooroverleggen).
De Constructieve berekening (art. 7.20 Or) bevatten de volgende gegevens:

- Detailberekeningen
- "de belastingen en de belastingcombinaties voor sterkte en stabiliteit en de uiterste grenstoestand van alle te wijzigen constructieve delen van het bouwwerk en van het bouwwerk als geheel, voor zover het niet gaat om de hoofdlijn van de constructie of het constructieprincipe (art. 7.16 lid 1.a Or)"

Voor de kwaliteitsverklaringen bouw:

- Bij een aanvraag worden gegevens en bescheiden verstrekt over kwaliteitsverklaringen bouw en
- CE-markeringen van bouwproducten (art. 7.13 Or)

Bouwveiligheidsplan:

- Gegevens en bescheiden over de maatregelen om de veiligheid te waarborgen en de gezondheid te beschermen in de directe omgeving van de bouwwerkzaamheden (bouwveiligheidsplan, art. 7.8 Besluit bouwwerken leefomgeving)

Indien van toepassing:

Veiligheid (art. 7.7 lid e en f) Or

- brandklasse en rookklasse van constructieonderdelen

Gezondheid (art. 7.8 Or)

- geluidwering van buiten
- bescherming tegen geluid van bouwwerkinstallaties

Duurzaamheid (art. 7.9 Or)

- energieprestatiecoëfficient
- thermische isolatie van een scheidingsconstructie
- luchtvolumestroom
- milieubelasting van het gebouw door de toe te passen materialen, bepaald volgens de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken"

Bruikbaarheid en toegankelijkheid (art. 7.10 Or)

- aanduiding van de gebruiksfuncties, de verblijfsgebieden en de afmeting en de bezetting van alle ruimten inclusief totaaloppervlakten per gebruiksfunctie"
- integrale toegankelijkheid van het bouwwerk en in het bouwwerk gelegen ruimten

Bouwwerkinstallaties (art. 7.11 Or)

Bij een aanvraag worden voor bouwwerkinstallaties gegevens en bescheiden verstrekt over:

- de noodstroomvoorziening en -verlichting
- het leidingplan en aansluitpunten van breedbandconnectie, gas-, elektra- en waterleiding
- de aard en locatie van brandveiligheidinstallaties en van de vluchtrouteaanduiding
- gebouwgebonden veiligheidsvoorzieningen voor veilig onderhoud met behulp van de Checklist Veilig onderhoud op en aan gebouwen 2012"
- technische bouwsystemen en het daarbij behorende systeemrendement

Royal HaskoningDHV

Verklarende woordenlijst

Bal	Besluit activiteiten leefomgeving
Bbl	Besluit Bouwwerken Leefomgeving
CCS	Carbon Capture and Storage
CO_2	Koolstofdioxide
EEZ	Exclusieve Economische Zone
KGG	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
FEED	Front End Engineering Design, het basisontwerp van het project
HBOR	Handboek Beheer en Onderhoud Rotterdam
IGM	Inspecteur-Generaal der Mijnen
ILI	Inline inspectie
Inch of ”	Engelse lengtemaat van 2,54 cm
LAT	Laagwaterlijn (lowest astronomical tide)
M.e.r. of mer	Milieueffectrapportage (procedure)
Mbb	Mijnbouwbesluit
Mbr	Mijnbouwregeling
Mbw	Mijnbouwwet
MER	Milieueffectrapport
NEN	Nederlands Normen
OCAP	Bestaande CO_2-leiding in het havengebied voor CO_2-levering
Porthos	Een ander initiatief voor geologische CO_2-opslag
QRA	Kwantitatieve risicoanalyse
RMS	Risicomanagementsysteem
ROV	Remotely Operated Vehicle, een op afstand bestuurd voer- of vaartuig
SIL	Safety Integrity Level
TBM	Tunnelboormachine
UXO	Unexploded ordnance / ongesprongen munitie
VBS	Veiligheidsbeheerssysteem

Royal HaskoningDHV

Documentenlijst:

DocumentID	Title	CurrentRevision	RevisionDate
NL-ARM-010-ARM1-100128	Toelichting Gevolgklasse Bepaling Pijplijntunnel		
NL-ARM-040-ARU1-110301	Basis of design	02	02/07/2024
AS23.11267-23.00224317	Archeologie gemeente Rotterdam		30/11/2023
NL-ARM-010-PTC1-111797	Noise Study	02	27/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110301	Basis of Design for Tunnel FEED	02	02/07/2024
NL-ARM-040-ARU1-110303	Tunnel FEED - Ground Investigation Report	02	21/06/2024
NL-ARM-040-ARU1-110305	Tunnel FEED - Geotechnical Design Report	01	31/07/2024
NL-ARM-040-ARU1-110307	Tunnel FEED - Geotechnical Baseline Report	01	01/08/2024
NL-ARM-040-ARU1-110308	Tunnel FEED - Tunnel - Plan and Geological Profile	01	31/07/2024
NL-ARM-040-ARU1-110319	Tunnel FEED - Preliminary Design - Shaft Spaceproofing	01	28/06/2024
NL-ARM-040-ARU1-110320	Tunnel FEED - Preliminary Design - Tunnel Spaceproofing - ID3000 - Backup System	01	28/06/2024
NL-ARM-040-ARU1-110321	Tunnel FEED - Preliminary Design - Tunnel Alignment - Preferred Option	01	28/06/2024
NL-ARM-040-ARU1-110323	Tunnel FEED - Tunnel plan view and longitudinal profile - Hybrid excavation solution	01	19/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110324	Tunnel FEED - Tunnel - Typical Cross Section Geometry	01	14/08/2024
NL-ARM-040-ARU1-110325	Tunnel FEED - Tunnel - Jacking Pipe	01	14/08/2024
NL-ARM-040-ARU1-110326	Tunnel FEED - Tunnel - Segmental Lining - Ring Arrangement	01	14/08/2024
NL-ARM-040-ARU1-110327	Tunnel FEED - Tunnel - Segmental Lining - Ring Arrangement	01	14/08/2024
NL-ARM-040-ARU1-110330	Tunnel FEED - Reception Pit - Construction Sequence	01	14/08/2024
NL-ARM-040-ARU1-110332	Tunnel FEED - Shaft - Construction Sequence	01	04/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110333	Tunnel FEED - Shaft - Section A-A	01	04/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110334	Tunnel FEED - Shaft - Section B-B	01	04/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110335	Tunnel FEED - Shaft - Plan at +8.130 LAT	01	04/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110336	Tunnel FEED - Shaft - Plan at -1.000m LAT	01	04/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110337	Tunnel FEED - Shaft -Plan at Tunnel Opening	01	04/09/2024
NL-ARM-040-ARU1-110338	Tunnel FEED - Shaft - Plan at Structural Base Slab	01	04/09/2024
NL-ARM-040-PTC1-110261	Shark Fin Construction Site Layout	03	16/08/2024
NL-ARM-040-PTC1-110262	Shark Fin Layout Arrangement Justification Note	01	16/07/2024
NL-ARM-040-PTC1-110263	Site Preparation and Restoration Plan	01	02/09/2024
NL-ARM-040-PTC1-110265	Shaft Location Selection Technical Note	01	10/05/2024
NL-ARM-040-PTC1-113855	Offshore Tunnel Exit Drawings - Reception Pit for Pull-in Operations	01	20/08/2024
NL-ARM-040-PTC1-113856	Offshore Pipeline Pull In Operation Drawings	01	19/08/2024
NL-ARM-040-PTC1-113857	Pipeline Cross Sectional Drawings In Tunnel	01	20/08/2024
NL-ARM-040-PTC1-113858	Tunnel Route Plan View	02	13/08/2024
NL-ARM-040-PTC1-114090	Watertight Tunnel bulkhead - General Arrangement	01	08/08/2024

Bijlage 1

Participatieplan

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

PARTICIPATIEPLAN

ARAMIS-INITIATIEF

Fase voorkeursalternatief t/m planuitwerking

Herziene versie
Maart 2024
Documentnummer
NL-ARM-PFE-B10-ENV-GEA-0299

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave **3**

Algemeen **5**

1. Inleiding **6**
1.1 Over Aramis 6
1.2 Projectorganisatie en initiatiefnemers 8
1.3 Rol van het ministerie en korte toelichting op de procedure 9

2 Doelen en kader van participatie **11**
2.1 Doelen van participatie 11
2.2 Uitgangspunten van participatie 11
2.3 Kader van participatie: hier gaat het wel/niet over 11

3 Participatieaanpak **14**
3.1 Manieren om geïnformeerd te blijven (informeren) 15
3.2 Manieren om betrokken te blijven (consulteren/adviseren) 16

4. Participatiekalender **17**
4.1 Participatiekalender 17
4.2 We horen graag uw reactie op dit participatieplan 20

Bijlages **21**
Bijlage 1 Samenvatting inbreng stakeholders 21
Bijlage 2 Verslag stakeholdersessie 21 juni 2022 24
Bijlage 3 Afgeronde acties van participatie (uit H3) 27
Manieren om geïnformeerd te blijven (informeren) 27
Manieren om betrokken te blijven (informeren/consulteren/adviseren) 27

ALGEMEEN

Voor u ligt het geactualiseerde participatieplan van het Aramis-initiatief (hierna: Aramis). Het plan is opgesteld door Aramis in afstemming met CO_2next en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK). In het participatieplan leest u hoe u en andere belanghebbenden worden geïnformeerd over en betrokken bij het Aramis-project.

Bij elke fase van het project actualiseren initiatiefnemers TotalEnergies, Shell, Energie Beheer Nederland (EBN) en Gasunie het participatieplan. Dat doen zij op basis van voortschrijdend inzicht, ontwikkelingen in het project, gesprekken met stakeholders, reacties op het participatieplan en een evaluatie van de voorgaande periode.

- De eerste versie van het participatieplan is samen met de kennisgeving *Voornemen en Voorstel Participatie voor het project Aramis* (kennisgeving van het V&P)[1] gepubliceerd in januari 2022.
- Naar aanleiding van gesprekken met stakeholders en reacties op de kennisgeving van het V&P is in juni 2022 een tweede versie van het plan gepubliceerd, gelijktijdig met de publicatie van de conceptversie van de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (concept-NRD).
- In november 2022 werd de derde versie uitgebracht, die in het teken stond van de definitieve Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD).
- De vierde versie van het participatieplan is ten tijde van de Integrale Effectenanalyse (IEA) opgesteld (onder behoud van het concept-milieueffectrapport (MER) fase 1), die de basis vormt voor de keuze van het voorkeursalternatief (VKA).
- Deze vijfde versie van het participatieplan omvat het tijdvak van begin 2024 tot de aanbesteding. In deze periode wordt het VKA nader uitgewerkt in een concreet ontwerp als onderdeel van de verschillende contracten die worden aanbesteed.

Het MER wordt medio 2024 samen met de ontwerpbesluiten ter inzage gelegd. Dan is er mogelijkheid tot reageren. In het vierde kwartaal van 2024 vindt de publicatie van de MER in de *Staatscourant* plaats. De definitieve besluiten op de vergunningaanvragen liggen dan ter inzage en daar kan eventueel bezwaar op worden ingediend.

In de voorliggende periode zal het VKA worden uitgewerkt, de zogeheten planuitwerkingsfase. Het ontwerp zal met stakeholders worden besproken. Indien de input van stakeholders leidt tot aanpassingen van het participatieplan, dan zal deze tussentijds worden geüpdatet.

LEESWIJZER

- Hoofdstuk 1 introduceert het Aramis-project en de rol van EZK in de te volgen procedure.
- Hoofdstuk 2 licht de doelen, uitgangspunten en het kader van het participatieplan toe.
- Hoofdstuk 3 beschrijft hoe de participatie aan het MER en de IEA tot en met de VKA er concreet uitziet.
- Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van alle geplande participatiemomenten.

Voor aanvullende informatie ziet u een verwijzing naar websites en documenten.

[1] https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/12/Notitie-Voornemen-en-Voorstel-Participatie-CCS-Aramis.pdf

1. INLEIDING

1.1 OVER ARAMIS

Het klimaat verandert snel door de toename van CO_2- en andere broeikasgassen in de atmosfeer. In het Klimaatakkoord van Parijs zijn ambitieuze doelen vastgelegd om de CO_2-uitstoot te verlagen. Hierin is afgesproken de opwarming van de atmosfeer te beperken tot maximaal 2°C, maar bij voorkeur onder 1,5°C te houden. Het vormt een grote uitdaging om de uitstoot zodanig te verlagen dat de klimaatdoelstellingen voor 2050 worden behaald.

Verduurzaming van de industrie is een van de maatregelen om CO_2-uitstoot te verminderen. De komende decennia wordt het aandeel van fossiele brand- en grondstoffen in productieprocessen afgebouwd. Voor deze transitie is tijd nodig: het is niet mogelijk in één keer volledig fossielvrij te worden en alle industriële processen om te zetten naar groene waterstof en/of groene stroom.

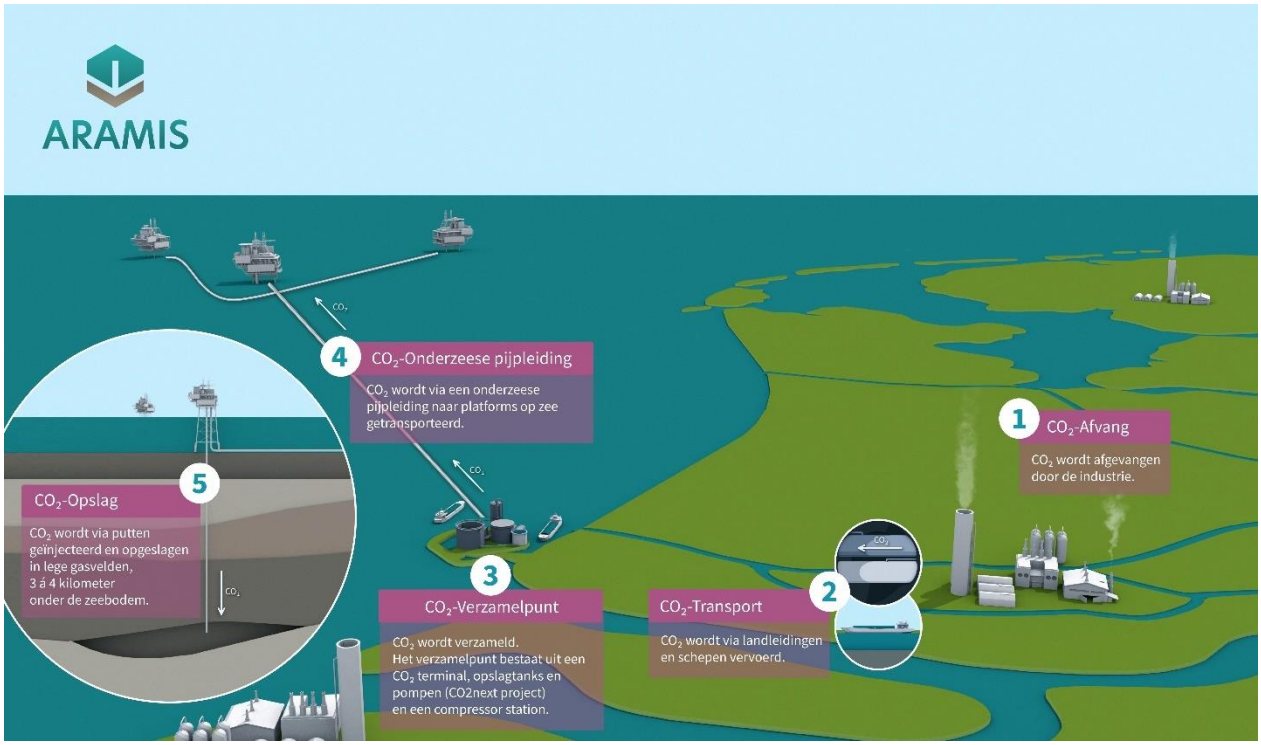
Totdat het gebruik van fossiele brandstoffen in industriële processen tot nul is gereduceerd, kan CO_2-uitstoot fors worden verminderd door afvang en ondergrondse opslag van vrijgekomen CO_2. Deze techniek wordt Carbon Capture and Storage (CCS) genoemd en vermindert de hoeveelheid broeikasgassen die in de atmosfeer terechtkomt.

Rapportages van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en het Internationale Energie Agentschap (IEA)[2] laten zien dat – zolang er onvoldoende alternatieven zijn – permanente CO_2-opslag noodzakelijk is voor moeilijk te verduurzamen industrie. In de Klimaatnota 2022 en de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2023 staat aangegeven dat het grootste gedeelte van de industriële CO_2-reductie tot 2030 uit CCS zal komen. De overheid ziet het afvangen en opslaan van CO_2 als een belangrijke (overgangs)technologie en stimuleert daarom CO_2-opslag onder de Noordzee.

De opslag van de afgevangen CO_2 is voorzien in lege gasvelden diep onder de zeebodem. Om de bij de industrie afgevangen CO_2 naar deze opslaglocaties te brengen, wordt een nieuwe, open-access transportinfrastructuur ontwikkeld. ‘Open’ betekent dat andere partijen de mogelijkheid hebben om op de CCS-keten aan te sluiten, zowel aan de voorkant (de afvang) als aan de achterkant (de opslag).

Bij een open CO_2-transportinfrastructuur zijn veel verschillende partijen betrokken, elk met een eigen rol en elk met een eerder of later moment waarop zij aansluiten. Samen vormen deze partijen de integrale CCS-keten: van de afvang van CO_2 tot permanente opslag in lege gasvelden diep onder de Noordzee. De keten bestaat veelal uit zelfstandige onderdelen, die voor een goed functionerend geheel, nauw op elkaar moeten zijn afgestemd (zie afbeelding 1).

[2] IPPC rapportage 2022, Mitigation of Climate change



Afbeelding 1. Overzicht componenten van de CCS-keten, waar het Aramis-initiatief onderdeel van uitmaakt.

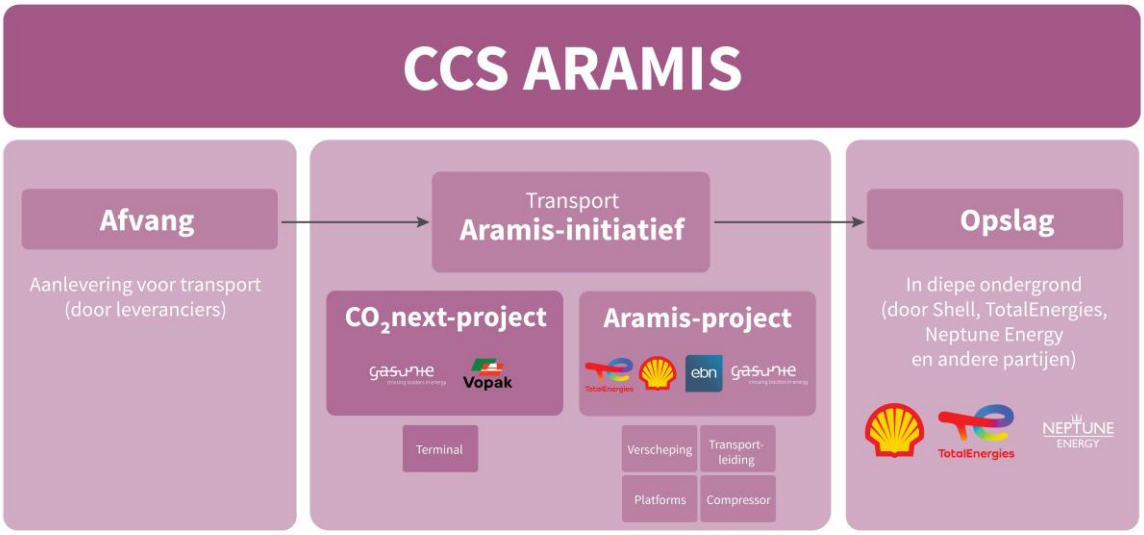
1. CO_2-afvang bij industrie en geschikt maken voor transport;
2. CO_2-transport naar de Maasvlakte via Porthos-landleiding, binnenvaart en zeevaart;
3. CO_2-verzamelpunt op de Maasvlakte met terminal en compressorlocatie. De terminal omvat steigers, tanks voor tijdelijke opslag van per schip aangevoerde CO_2, en hogedrukpompen voor levering aan de zeeleiding (CO_2next-project). De compressorlocatie ontvangt CO_2 via de landleiding en brengt dit op druk voor het transport per zeeleiding;
4. CO_2-transport door de centrale CO_2-zeeleiding naar platforms op de Noordzee;
5. Platform met leidingen vanaf de centrale CO_2-zeeleiding en met putten naar lege gasvelden diep onder de Noordzee.

Aramis heeft betrekking op het transport van CO_2 (onderdeel 2) naar het CO_2-verzamelpunt (onderdeel 3) en het transport via een zeeleiding naar de platforms op zee (onderdeel 4). In de CCS-keten van afvang, transport en opslag richt Aramis zich op het transportdeel: de CO_2-transportinfrastructuur. De CO_2-afvang (onderdeel 1) en de CO_2-opslag (onderdeel 5) vallen weliswaar buiten Aramis, maar vormen een samenhangend geheel met Aramis. Zodoende worden deze onderdelen in het verlengde van Aramis beschreven.

De transportinfrastructuur biedt andere partijen de mogelijkheid om op de CCS-keten aan te sluiten, zowel aan de voorkant (de afvang) als aan de achterkant (de opslag). Aramis voorziet daarmee in een cruciaal onderdeel van de CCS-keten. Het is niet mogelijk om op voorhand aan te geven welke partijen zich aansluiten en wanneer. Dat is inherent aan de aard van een open infrastructuur, die is gericht op toekomstige uitbreiding en aanpassing.

1.2 PROJECTORGANISATIE EN INITIATIEFNEMERS

Afbeelding 2 geeft weer hoe de verschillende onderdelen van Aramis zich verhouden tot elkaar en tot de Aramis-CCS-keten.



Afbeelding 2. Aramis binnen de Aramis-CCS-keten.

TotalEnergies, Shell, Energie Beheer Nederland (EBN) en Gasunie zijn de initiatiefnemers van de ontwikkeling van de Aramis- CO_2-transportinfrastructuur. Zij zijn zelf verantwoordelijk voor de compressie van CO_2 die afkomstig is van de landleiding, de centrale CO_2-zeeleiding en de platforms.

Door verschillende bedrijven zal CO_2 worden afgevangen. Vervolgens verzorgen verschillende leveranciers de aanlevering van CO_2 via leiding (gas) of schip (vloeibaar) naar het CO_2-verzamelpunt. Op het verzamelpunt worden de terminalfaciliteiten verzorgd door CO_2next. In CO_2next werken Gasunie en Koninklijke Vopak samen aan de bouw van een nieuwe CO_2-terminal op de Maasvlakte.

De aanleg van de centrale CO_2-zeeleiding is onderdeel van het Aramis-project, evenals de bouw van het compressorstation op het verzamelpunt. Voor het overige (steigers, tanks voor tijdelijke opslag van per schip aangevoerde CO_2, en hogedrukpompen voor levering aan de zeeleiding) valt het verzamelpunt onder CO_2next.

De opslagpartijen (onder meer Neptune Energy, Shell en TotalEnergies) zijn verantwoordelijk voor de opslag van CO_2, inclusief het transport vanaf hun platforms naar de ondergrondse reservoirs.

1.3 ROL VAN HET MINISTERIE EN KORTE TOELICHTING OP DE PROCEDURE

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en Aramis werken nauw samen aan dit project en hebben hierin elk een eigen taak en rol.

Rollen van EZK

Voordat Aramis en CO_2next kunnen worden gerealiseerd, is er een ruimtelijk besluit nodig en moeten de vereiste vergunningen zijn verleend. EZK coördineert de besluitvorming van energieprojecten met een nationaal belang. Dit heet nu nog de Rijkscoördinatieregeling (RCR). Onder de nieuwe Omgevingswet die op 1 januari 2024 ingaat heet dit projectprocedure. Aangezien de vergunningaanvragen na 1 januari 2024 worden ingediend, hebben we het hier verder over de projectprocedure.

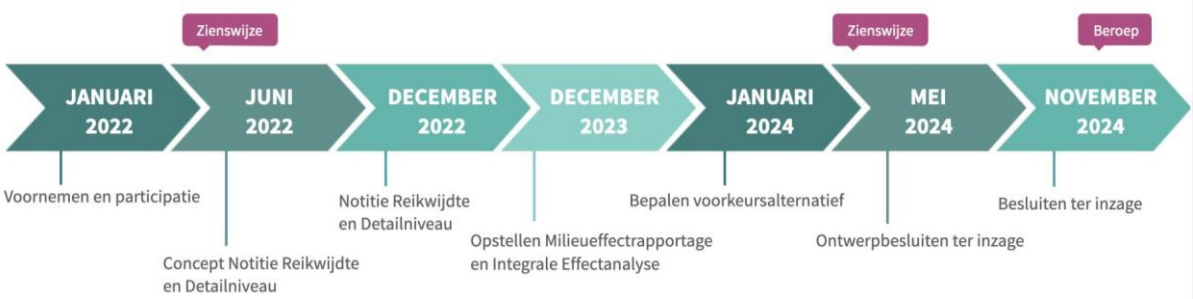
EZK coördineert de projectprocedure, waarbij de verschillende benodigde besluiten (vergunningen en eventueel ontheffingen) gelijktijdig worden genomen in afstemming met de overheden. Het gaat dan om zowel het ruimtelijk besluit als de uitvoeringsbesluiten. De coördinatie betekent ook dat alle stukken tegelijk ter inzage worden gelegd. Tegen de definitieve besluiten kan beroep worden aangetekend. Er is een beperkt aantal momenten waarin om een reactie wordt gevraagd, of men een zienswijze of beroep kan indienen.

Het ruimtelijk besluit wordt genomen door de minister voor Klimaat en Energie in overeenstemming met het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Het ruimtelijke besluit (in de nieuwe Omgevingswet: projectbesluit) wijzigt de huidige bestemmingen. Ook zijn er omgevingsvergunningen nodig, waaronder bouwvergunningen voor installaties op het verzamelpunt en voor de aanpassingen aan de platforms.

Andere vergunningen vallen onder de verantwoordelijkheid van andere bevoegde gezagen, bijvoorbeeld gemeente Rotterdam, Rijkswaterstaat en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Vergunningen voor de afvang en opslag van CO_2 vallen buiten Aramis en worden aangevraagd door de opslagpartijen.

Nieuwe Omgevingswet en projectprocedure

Op 1 januari 2024 treedt de nieuwe Omgevingswet in werking. De formele besluiten voor Aramis worden niet voor deze datum genomen. Het ruimtelijk besluit van het Rijk heet onder de Omgevingswet niet meer rijksinpassingsplan (zoals in de Wet ruimtelijke ordening), maar projectbesluit. Aramis doorloopt de projectprocedure zoals weergegeven in afbeelding 3.



Afbeelding 3. Overzicht procedurestappen en tijdlijn.

Voornemen en voorstel participatie
Met de publicatie van de kennisgeving *Voornemen en Voorstel Participatie voor het project Aramis* (kennisgeving van het V&P) in de *Staatscourant* op 6 januari 2022 ging de projectprocedure officieel van start. EZK ontving zes reacties naar aanleiding van de kennisgeving. Op 19 en 24 januari 2022 heeft Aramis werksessies georganiseerd voor stakeholders van de Maasvlakte en de Noordzee. Bijlage 1 beschrijft de reacties en op welke manier die zijn gebruikt voor het actualiseren van dit participatieplan.

Concept-NRD
Bijlage 2 bevat het verslag van de stakeholdersessie op 21 juni 2022 waar de inhoud van de concept-NRD (Notitie Reikwijdte en Detailniveau) is besproken. In reactie op dit concept zijn acht zienswijzen ingediend. Op basis van deze zienswijzen is bekeken welke aanvullingen er nodig waren in de definitieve NRD. De definitieve NRD is in december 2022 vastgesteld.
Zowel de beantwoording van de vragen als de definitieve NRD is terug te vinden op de website van de RVO (https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-11/Vaststelling-NRD-en-Nota-van-Antwoord-concept-NRD-Aramis.pdf).

De inspraakprocedure heeft geresulteerd in twee aanpassingen aan de concept-NRD:

1. Als gevolg van de zienswijze van Neptune Energy worden de opslagfaciliteiten en bijbehorende infrastructuur van Neptune Energy als gelijkwaardig meegenomen in het MER, conform de opslagfaciliteiten voor TotalEnergies en Shell;
2. Het tracé van de zeeleiding is verder geoptimaliseerd, wat heeft geleid tot drie alternatieven en een variant, die alle in het MER worden getoetst.

IEA en MER
De volgende stap in het proces heeft plaats gevonden en behelste de voorbereidingen voor één integraal MER (fase 1 en fase 2 in één MER): een inventarisatie van de milieueffecten aan de hand van bureaustudies, onderzoeken en surveys. Op basis van de eerste resultaten van de milieuonderzoeken, evenals de aspecten kosten, omgeving, techniek en toekomstvastheid, stelt Aramis een Integrale Effectenanalyse (IEA) op. Deze analyse van de effecten van de verschillende routealternatieven en -varianten biedt tevens een uitgebreide analyse van zaken als de ruimtelijke inpassing. De resultaten van alle milieuonderzoeken zijn samengevoegd in het MER. Het MER onderbouwt zowel de vergunningaanvragen als het projectbesluit en wordt in 2024 bij de ontwerpbesluiten ter inzage gelegd.

In overeenstemming met de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties kiest de minister voor Klimaat en Energie op basis van de IEA het voorkeursalternatief (VKA). Over het VKA vindt afstemming plaats met andere overheden en belangenorganisaties. Het VKA wordt gepubliceerd op de website van de RVO: *Bureau Energieprojecten*. Het VKA vormt de grondslag voor het ruimtelijk besluit (projectbesluit) en de vergunningen. Naar verwachting worden in het derde kwartaal van 2024 alle besluiten in ontwerp ter inzage gelegd, waarop ieder die dat wenst een zienswijze kan indienen. De zienswijzen worden betrokken bij het opstellen van de definitieve besluiten, waartegen beroep openstaat.

2 DOELEN EN KADER VAN PARTICIPATIE

2.1 DOELEN VAN PARTICIPATIE

Participatie gaat in brede zin over het betrekken van belanghebbenden en belangstellenden bij een project (zie de uitleg van de participatieladder in paragraaf 2.3). Dit participatieplan loopt vooruit op de nieuwe Omgevingswet door naast de wettelijk geregelde inspraak op het projectbesluit (formele procedure) een bredere betrokkenheid te organiseren. Aramis betrekt ieder die dat graag wil bij het project en handelt daarmee nu al in de geest van de aankomende wet. Hiermee hebben wij de volgende doelen voor ogen:

1. We willen burgers, bedrijven en maatschappelijke organisaties op een passende wijze bereiken;
2. We willen hun vragen, kansen en zorgen kennen en begrijpen;
3. We willen bij de ontwikkeling van het project rekening houden met ieders belangen;
4. We willen heldere keuzes maken en daarbij duidelijk laten zien hoe we omgaan met belangen, aandachtspunten, kansen en zorgen vanuit de omgeving.

Bij het behalen van deze doelen zijn we altijd bereid tot een constructieve dialoog. Onze projectorganisatie gaat uiteraard zorgvuldig om met persoonsgegevens, conform de AVG.

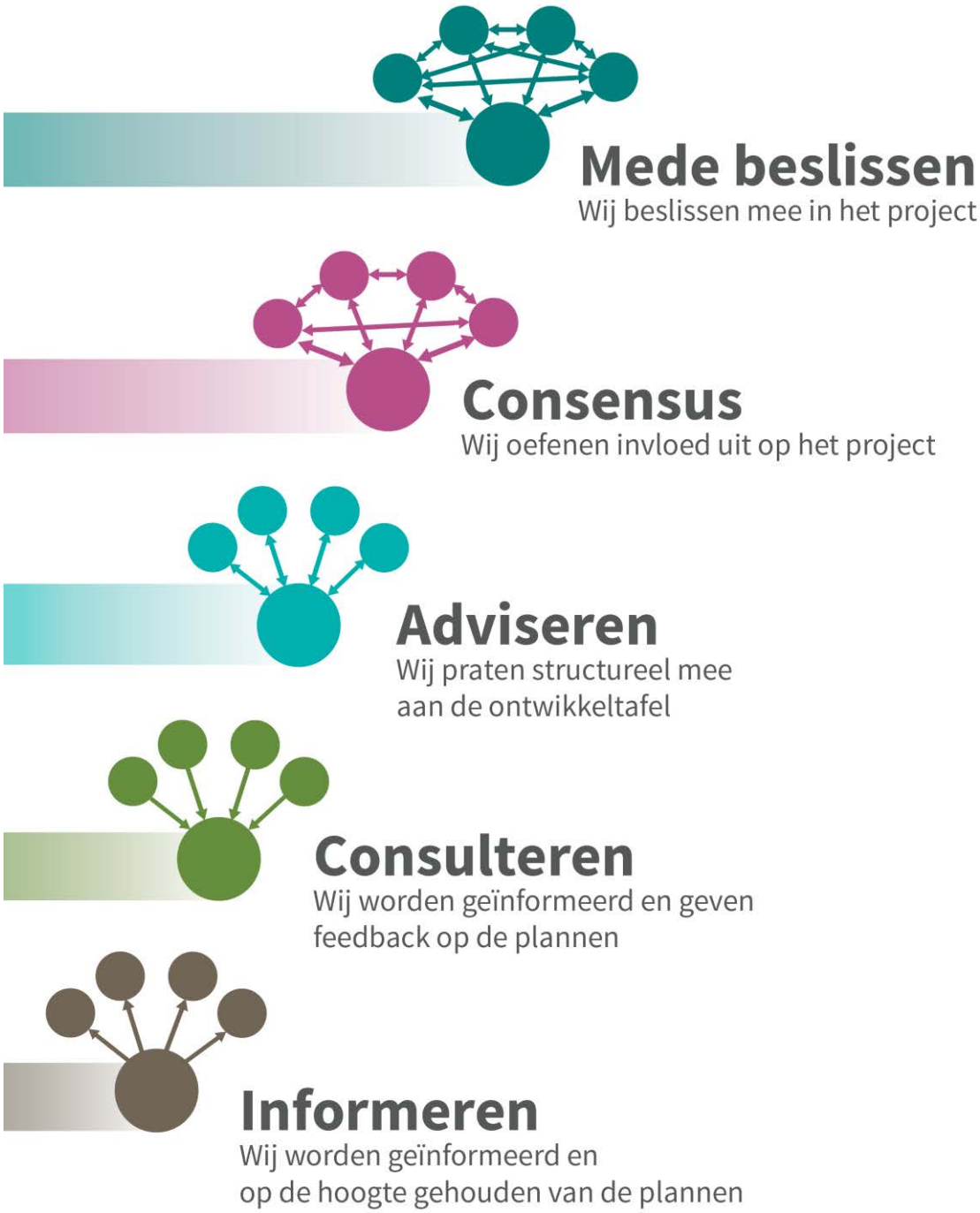
2.2 UITGANGSPUNTEN VAN PARTICIPATIE

We vinden het belangrijk dat participatie met betrekking tot Aramis begrijpelijk, betrouwbaar en toegankelijk is. Om te zorgen dat onze participatieaanpak zo goed mogelijk aansluit op de informatiebehoefte en wensen van belanghebbenden en belangstellenden, hanteren we de volgende uitgangspunten:

- We communiceren duidelijk, begrijpelijk en op maat;
- We bieden verschillende communicatiemiddelen aan, zodat iedereen de mogelijkheid heeft om onze informatie tot zich te nemen en indien gewenst met ons in dialoog te gaan;
- We communiceren tijdig en proactief;
- We kiezen voor een toegankelijke vorm die interactie en deelname aan inspraak stimuleert;
- We zijn goed bereikbaar en we reageren snel op vragen, klachten en verzoeken;
- We koppelen inhoud, toon en vorm aan elkaar, zodat we iedereen zo passend mogelijk bereiken.

2.3 KADER VAN PARTICIPATIE: HIER GAAT HET WEL/NIET OVER

Voor geslaagde participatie moet het duidelijk zijn waar belanghebbenden en belangstellenden wel en niet over kunnen meepraten en waar zij wel en geen invloed op hebben. De volgende drie vragen spelen hierbij een belangrijke rol: *waarom* we dit project willen doen, *waar* we dit project willen doen en *hoe*. Dit participatieplan maakt onderscheid tussen deze vragen en geeft per vraag de mate van participatie aan. Participatie kent namelijk verschillende gradaties, zoals hierna weergegeven in de participatieladder. Hoe hoger op de ladder, hoe meer invloed. Toch is ook op de onderste trede (informeren) sprake van participatie. Participatie is dus een heel breed concept.



Afbeelding 4. Participatieladder.

Waarom we dit willen doen?

De vraag waarom we Aramis willen uitvoeren is een vraag over nut en noodzaak van het initiatief. Aramis sluit aan op het regeringsbeleid, zoals geformuleerd in de brief van het kabinet aan de Tweede Kamer van 10 december 2021. In deze brief staat dat het afvangen, transporteren en opslaan van CO_2 een belangrijke (overgangs)technologie vormt voor de verduurzaming van Nederland en essentieel is om de CO_2-reductiedoelstelling voor 2030 te halen[3]. Ook in het Klimaatakkoord wordt verwezen naar CCS als een van de oplossingen om deze reductiedoelstelling te halen. Zie de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) voor meer informatie over het Europese en Nederlandse klimaatbeleid en de rol van CCS hierin.

PARTICIPATIENIVEAU: INFORMEREN

Waar we dit willen doen?

De vraag waar we Aramis willen uitvoeren heeft betrekking op alternatieven en varianten van onder andere het tracé. De procedure voor de ruimtelijke inpassing, evenals de voorbereiding van het voorkeursalternatief, krijgt vorm in nauwe cocreatie met bevoegde instanties en betrokkenen bij andere activiteiten en ontwikkelingen in de buurt van Aramis. Met hen wordt ook gesproken over de gevolgen van de aanleg van onderdelen van het initiatief. Dit participatieplan beschrijft de verschillende manieren die belanghebbenden en belangstellenden hebben om hun suggesties kenbaar te maken. Ieder heeft de mogelijkheid om alternatieven aan te dragen, waarna deze worden afgewogen en mogelijk meegenomen. De uiteindelijke besluitvorming over het voorkeursalternatief is een taak van de ministers van EZK en BZK.

PARTICIPATIENIVEAUS: CONSULTEREN EN ADVISEREN

Hoe we dit willen doen?

De vraag hoe we Aramis willen uitvoeren is met name relevant in de dialoog met belanghebbenden en betrokkenen in de buurt van het project. Participatie draait hier om de gevolgen voor enerzijds de directe leef- en werkomgeving van mensen, en anderzijds de bedrijfsvoering van ondernemingen op de Maasvlakte en de Noordzee. Het gaat dus vooral om de impact van Aramis tijdens de uitvoering en ingebruikname. Naarmate het project zich verder ontwikkelt, concreter wordt en de uitvoering nadert, neemt de betrokkenheid van stakeholders in de directe omgeving toe. Gesprekken verplaatsen we dan naar lokaal niveau. Onderwerpen die hierbij aan bod komen zijn bijvoorbeeld de planning (start en duur) en uitvoering (tijdelijke overlast van bouwactiviteiten en veiligheid).

PARTICIPATIENIVEAU: CONSENSUS

[3] https://open.overheid.nl/repository/ronl-8fded76b-4d2c-4e79-817d-06bb14d9bb3a/1/pdf/kamerbrief-over-stand-van-zaken-ccs.pdf

3 PARTICIPATIEAANPAK

We betrekken graag personen en partijen bij Aramis wanneer het project hun belangen beïnvloedt, wanneer zij zich inhoudelijk betrokken voelen en/of wanneer zij belangrijk zijn voor de realisatie van Aramis. Hierbij onderscheiden we de volgende groepen:

- Burgers: mensen die dicht bij het project wonen of verblijven en om die reden vragen of zorgen hebben of anderzijds geïnteresseerd zijn. Wij denken dan vooral aan omwonenden;
- Bedrijven in de omgeving: bedrijven die dicht in de buurt van het project gevestigd zijn of daar werkzaamheden uitvoeren, zoals buurbedrijven op de Maasvlakte en op de Noordzee;
- Inhoudelijk betrokkenen: maatschappelijke organisaties en stakeholders die zich, los van de locatie, inhoudelijk betrokken voelen. Dit zijn bijvoorbeeld vertegenwoordigers van de scheepvaart, kustwacht, visserij, kabelexploitanten en operators van windparken. Wij denken verder aan ngo's die zich sterk maken voor natuur en milieu. Ook kennisinstellingen en organisaties die zich bezighouden met klimaat en CCS horen hierbij;
- Bestuursorganen: overheden op landelijk, provinciaal en lokaal niveau, zoals de provincie Zuid-Holland, gemeenten, Rijkswaterstaat (kruising zeewering, zandwinning, scheepvaart) en het waterschap Hollandse Delta. Ook semipublieke instellingen zoals ProRail, TenneT en Havenbedrijf Rotterdam zijn belangrijke stakeholders;
- Offshore storage-operators: operators van platforms op de Noordzee die in de toekomst wellicht toegang willen tot de CO_2-transportinfrastructuur van Aramis.

Deze personen en partijen hebben keuze uit individuele gesprekken en groepsbijeenkomsten, zowel online als live. De mate van participatie (informeren, consulteren, adviseren of verkrijgen van consensus) wordt vastgelegd en duidelijk gecommuniceerd. Zo willen wij een brede vertegenwoordiging van de samenleving bereiken en iedereen passend bedienen. Het is onze hoop dat deze werkwijze leidt tot meer betrokkenheid en meer waardering voor en acceptatie van Aramis.

We bieden de volgende informatiekanalen om geïnformeerd te blijven (informeren):

- Publicaties in de *Staatscourant* en huis-aan-huisbladen;
- Informatie op de websites van Aramis, CO_2next en Bureau Energieprojecten;
- (In)formele bijeenkomsten: (online) informatiebijeenkomst/seminar/kennissessie;
- Digitale nieuwsbrief;
- Persoonlijke of geclusterde gesprekken.

We bieden de volgende manieren om betrokken te blijven (consulteren of adviseren):

- (Online) informatiebijeenkomst;
- Bestuurlijke, regionale en landelijke overleggen;
- Persoonlijke of geclusterde gesprekken;
- Schriftelijke reactie op plannen.

Hieronder lichten we deze kanalen toe voor de periode vanaf het vaststellen van het milieueffectrapport (MER) en de Integrale Effectenanalyse (IEA) tot de publicatie van de ontwerpbesluiten.

3.1 MANIEREN OM GEÏNFORMEERD TE BLIJVEN (INFORMEREN)

In deze en de volgende paragraaf leest u hoe wij personen en partijen in de komende periode bij Aramis willen betrekken. Bijlage 3 beschrijft welke stappen in eerdere fases zijn genomen.

a. Publicaties Staatscourant en huis-aan-huisbladen
Formele stappen in de projectprocedure worden vooraf gepubliceerd in de *Staatscourant* en in huis-aan-huisbladen. Naar verwachting wordt in het derde kwartaal van 2024 de terinzagelegging van de ontwerpbeschikkingen in de *Staatscourant* gepubliceerd, waarop zienswijzen kunnen worden ingediend. Eind 2024/begin 2025 volgt naar verwachting de publicatie in de *Staatscourant* dat de definitieve besluiten op de vergunningaanvragen ter inzage liggen voor beroep.

b. Websites Aramis, CO_2next en Bureau Energieprojecten
Iedereen heeft toegang tot onze websites *www.aramis-ccs.com/nl* en *CO2next.nl*. Hier delen wij regelmatig updates en mijlpalen, waarbij we verwijzen naar de officiële documenten op de website van *Bureau Energieprojecten*. Het is voor iedereen mogelijk om een reactie achter te laten. De websites vermelden ook de e-mailadressen en telefoonnummers voor rechtstreeks contact. Wanneer het MER, de IEA en de (ontwerp)besluiten gereed zijn, worden die op de website van *Bureau Energieprojecten* gepubliceerd.

c. (In)formele bijeenkomsten: (online) informatiebijeenkomsten en symposia
In de komende periode worden de milieuonderzoeken uitgevoerd. Tijdens eerdere sessies hebben verschillende stakeholders aandachtspunten (eisen en wensen) aangedragen. Op basis van deze aandachtspunten bespreken we de tussentijdse resultaten van de milieuonderzoeken met de stakeholders. Zo kunnen we stakeholders met zorgen en vragen, bijvoorbeeld over geluid, Natura 2000-gebieden, veiligheid, gezondheid of de impact op de omgeving, specifiek en gedetailleerd informeren. Eventueel vindt er een informatiebijeenkomst of symposium plaats. Vooraf peilen we hiervoor de interesse en informatiebehoefte bij stakeholders. Bij voldoende interesse bepalen we een datum, die we tijdig aan de stakeholders kenbaar maken.

d. Digitale nieuwsbrief
Zo'n vier keer per jaar verschijnt een nieuwsbrief waarvoor iedereen zich via onze website kan aanmelden. De aankomende nieuwsbrieven staan gepland voor september en november. Deze planning staat niet vast en hangt onder andere af van de vraag of er voldoende nieuws is om te communiceren.

e. Persoonlijke of geclusterde gesprekken
De komende periode vinden zowel individuele als geclusterde gesprekken plaats met de diverse stakeholders. Deze gesprekken kunnen het gehele Aramis-initiatief tot onderwerp hebben, dus inclusief het onderdeel waarvoor CO_2next verantwoordelijk is. Maar het is ook mogelijk dat het gesprek zich beperkt tot uitsluitend het deel waarvoor Aramis of CO_2next verantwoordelijk is. Dit is afhankelijk van het onderwerp en de organisatie waarmee het gesprek plaatsvindt, bijvoorbeeld omliggende bedrijven, gemeenten, ngo's, Kamerleden enzovoort.

Tijdens deze gesprekken worden de eisen en wensen van de gesprekspartners zo concreet mogelijk gemaakt. Eisen en wensen die betrekking hebben op het tracé en de exacte ligging zijn in deze fase meegenomen, eisen en wensen die betrekking hebben op de uitvoering volgen in een later realisatiecontract.

De Integrale Effectenanalyse (IEA) brengt de effecten in kaart die de verschillende alternatieven hebben op milieu, kosten, omgeving, techniek en toekomstvastheid. Hier krijgen de opgehaalde eisen en wensen hun beslag. Belanghebbenden worden geïnformeerd over de uitkomsten van de IEA en geconsulteerd over de beoogde voorkeursalternatieven voor het Aramis initiatief.

3.2 MANIEREN OM BETROKKEN TE BLIJVEN (CONSULTEREN/ADVISEREN)

a. (Online) informatiebijeenkomst

Aramis organiseert een of meer kennissessies met als onderwerpen:

- wat zijn de uitkomsten uit de milieuonderzoeken;
- wat is daarvan de vertaling naar het ontwerp;
- wat zijn de consequentie voor de omgeving ten aanzien van de beoogde uitvoering?

b. Bestuurlijke, regionale en landelijke overleggen

Aramis en EZK vinden het belangrijk om direct betrokken overheden, adviesorganen en belangenorganisaties te betrekken bij de besluitvorming over het project. Voor zowel de ruimtelijke procedure als de uitvoeringsvergunningen vinden afstemmingsoverleggen plaats. Zo wordt in het Noordzeeoverleg met enige regelmaat een update gegeven van de onderzeese routealternatieven van Aramis en het overleg dat daarover heeft plaatsgevonden. Deze updates hebben tot doel de aanwezige organisaties mee te nemen in de totstandkoming van de IEA en het VKA, de basis voor het (ruimtelijk) projectbesluit. Ook wordenandere regionale overheden en belangenorganisaties geïnformeerd over het project.

c. Stakeholders

Aramis is in een eerder stadium geïntroduceerd bij onder meer programmamanagers, regioadviseurs, beleidsadviseurs en projectleiders van ministeries (EZK Wind-op-zee, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), Defensie, Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK), Infrastructuur en Waterstaat (IenW)), de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE), lokale gemeenten (Rotterdam, Voorne aan Zee), de provincie (Zuid-Holland), Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond (VRR), water(veiligheid)beheerders (waterschap Hollandse Delta, RWS Zee & Delta, Kustwacht), omgevingsdiensten (DCMR, ODH), wegbeheerder (RWS WNZ), railbeheerder (ProRail), belangengroepen (Deltalinqs, KVNR, Element NL, Nexstep, de Nederlandse Vissersbond, Nederlands Loodswezen, H-vision, NWEA, Verontruste Burgers van Voorne), ngo's (Bellona, Stichting de Noordzee, Natuur & Milieu, Greenpeace, Milieufederatie Zuid-Holland, Vogelbescherming, WNF), raakvlakprojecten (Porthos, Eneco), kabel- en pijpleidingeigenaren (TenneT, Stedin), offshore operators (o.a. Neptune Energy, Petrogas) en bedrijven op de Maasvlakte (Havenbedrijf Rotterdam, MOT, Euromax). Met deze stakeholders worden een-op-een- of clustergesprekken gevoerd.

d. Schriftelijke reactie op plannen

Iedereen krijgt in 2024 de mogelijkheid om schriftelijk een reactie te geven op het ontwerpbesluit en op het MER. De publicatie van het ontwerpbesluit staat gepland voor het derde kwartaal van 2024 en men heeft dan zes weken de tijd om te reageren. In het vierde kwartaal is de publicatie in de *Staatscourant*. De definitieve besluiten op de vergunningaanvragen liggen ter inzage, waarop bezwaar kan worden ingediend. Aramis brengt de stakeholders te zijner tijd op de hoogte van de publicatie, zodat zij in de gelegenheid zijn om tijdig een zienswijze op het ontwerpbesluit (inclusief het MER) in te dienen.

4. PARTICIPATIEKALENDER

4.1 PARTICIPATIEKALENDER

De onderstaande tabel geeft op hoofdlijnen de stappen van besluitvorming en participatie weer conform de projectprocedure (zie paragraaf 1.3 hierboven). In de tabel staat wanneer officiële documenten worden gepubliceerd en ter inzage worden gelegd, en wanneer ieder die dat wil kan meedenken, bijdragen en inspreken.

PROCESSTAP	WIJZE VAN PARTICIPATIE	STATUS
Voornemen en voorstel participatie (januari 2022)	**Informeren, consulteren en adviseren** EZK en Aramis hebben de brede omgeving van overheden, bevoegde instanties, inwoners, bedrijven en professionele stakeholders geïnformeerd over het projectvoornemen en de voorgestelde invulling van participatie. Iedereen kon een formele reactie geven met betrekking tot: 1. andere oplossingen voor de geschetste opgave, bijvoorbeeld andere manieren om CCS toe te passen (denk aan alternatieven en varianten); 2. andere voorstellen voor de wijze waarop derden worden betrokken. Alle verzamelde reacties zijn waar mogelijk verwerkt in de concept-NRD (Notitie Reikwijdte en Detailniveau). Participatie-instrumenten: • Publicatie in Staatscourant en huis-aan-huisbladen; • Openbare informatiebijeenkomst.	**Gereed**
Inventarisatie alternatieven en varianten en het beoordelingskader (januari-mei 2022)	**Consulteren en adviseren** EZK en Aramis hebben andere overheden, bevoegde instanties en belangenorganisaties geconsulteerd om op verschillende manieren mee te denken, informatie aan te leveren over tracé-alternatieven, en varianten en aandachtspunten aan te dragen voor de NRD en het MER. Participatie-instrumenten: • Geïntegreerde interactieve werksessies; • Een-op-een- of clustergesprekken; • Nieuwsbrief Aramis.	**Gereed**
Concept Notitie Reikwijdte en Detailniveau (concept-NRD) (juni 2022)	**Informeren, consulteren en adviseren** Iedereen kon een formele zienswijze indienen over de vragen: • of de participatie beter kan; • of er iets ontbreekt bij de onderzoeken; • of de juiste onderdelen worden onderzocht; • of er andere tracé-alternatieven en/of -varianten onderzocht moeten worden. Waar relevant zijn deze meegenomen in de definitieve NRD. Participatie-instrumenten: • Publicatie in Staatscourant en huis-aan-huisbladen; • Publicatie op www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten;	**Gereed**

	• Websites Aramis en CO_2next; • Raadpleging Commissie MER; • Een-op-een- of clustergesprekken; • Formele en informele informatiebijeenkomst op 21 juni 2022; • Nieuwsbrief Aramis.	
Vaststellen definitieve NRD (december 2022)	**Informeren** EZK en Aramis hebben de brede omgeving geïnformeerd over de definitief vastgestelde NRD. Participatie-instrumenten: • Publicatie op www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten; • Websites Aramis en CO_2next; • Nieuwsbrief Aramis.	**Gereed**
Integrale Effectenanalyse (IEA) (december 2023)	**Informeren, consulteren en adviseren** EZK en Aramis consulteren de brede omgeving over de afwegingen van de IEA op basis van de aspecten milieu, kosten, omgeving, techniek en toekomstvastheid. Participatie-instrumenten onder andere: • Publicatie op www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten; • Websites Aramis en CO_2next; • Overleggen (door EZK); • Een-op-een- of clustergesprekken; • Nieuwsbrief Aramis.	**Gereed**
Keuze voorkeursalternatief (VKA) (februari 2024)	**Informeren, consulteren en adviseren** EZK en Aramis raadplegen decentrale overheden en andere departementen over het VKA. De minister van EZK bepaalt op basis van dit advies het voorkeursalternatief. Participatie-instrumenten onder andere: • Een-op-een- of clustergesprekken met belanghebbenden; • Overleggen (door EZK); • Websites Aramis en CO_2next; • Nieuwsbrief Aramis.	**Gereed**

Milieueffectrapport (MER) als onderdeel van de vergunningaanvragen (medio 2024)	**Informeren, consulteren en adviseren** EZK en Aramis consulteren de brede omgeving over het MER. Reageren op het MER is mogelijk bij de terinzagelegging van de ontwerpbesluiten (zie de stap Publicatie ontwerp-projectbesluit en ontwerp-vergunningen hieronder). Participatie-instrumenten onder andere: • Resultaten van het MER zullen aan het eind worden gedeeld; • Een-op-een- of clustergesprekken met belanghebbenden; • Openbare informatiebijeenkomsten; • Websites Aramis en CO_2next; • Nieuwsbrief Aramis.	*Gepland*
Publicatie ontwerp-projectbesluit en ontwerp-vergunningen (eind 2024)	**Informeren en horen** De bevoegde instanties stellen op basis van de aanvragen van Aramis het ontwerp-projectbesluit en de ontwerp-vergunningen op. EZK publiceert het ontwerp-projectbesluit en de ontwerp-vergunningen, inclusief het MER. Iedereen die dat wil kan een formele zienswijze indienen. De commissie van de m.e.r. geeft een advies over het MER. Participatie-instrumenten onder andere: • Publicatie in Staatscourant en huis-aan-huisbladen; • Publicatie op www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten; • Openbare informatiebijeenkomst(en); • Een-op-een- of clustergesprekken met belanghebbenden; • Websites Aramis en CO_2next; • Nieuwsbrief Aramis.	*Gepland*
Publicatie definitief projectbesluit en definitieve vergunningen (eind 2024/begin 2025)	**Informeren en beroep** EZK publiceert het definitief projectbesluit en de definitieve vergunningen. Iedereen kan reageren op het projectbesluit en de vergunningen door hiertegen beroep in te stellen. Participatie-instrumenten onder andere: • Publicatie in Staatscourant en huis-aan-huisbladen; • Publicatie op www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten; • Hoger beroep; • Websites Aramis en CO_2next; • Nieuwsbrief Aramis.	*Gepland*
Onherroepelijk projectbesluit en vergunningen (zonder beroep)	Uitspraak Raad van State na behandeling van mogelijke beroepen.	n.t.b.

4.2 WE HOREN GRAAG UW REACTIE OP DIT PARTICIPATIEPLAN

Zoals in paragraaf 1.1 aangeven, actualiseren we het participatieplan minstens eenmaal per projectfase. Het volgende participatieplan verschijnt naar verwachting in het najaar van 2024, voorafgaand aan de publicatie van het projectbesluit.

Heeft u vragen of suggesties voor verbetering van dit plan? Wij horen graag van u!
U kunt uw reactie per e-mail sturen naar: info@aramis-ccs.com.

BIJLAGES

BIJLAGE 1 SAMENVATTING INBRENG STAKEHOLDERS

Het doel van de stakeholderparticipatie is het ophalen van informatie, gebiedskennis, aandachtspunten, ideeën en kansen uit de omgeving. Zo hebben er sinds zomer 2021 kennismakingsgesprekken met stakeholders, één-op-één overleggen en persoonlijk contact met verschillende belanghebbenden plaatsgevonden. Van 7 januari tot 17 februari 2022 heeft de notitie 'Voornemen en Voorstel Participatie' ter inzage gelegen. In die periode was het mogelijk om te reageren door een schriftelijke reactie te geven op deze notitie. Er zijn zes reacties binnengekomen bij EZK. Er is formeel een antwoord gegeven op deze reacties via de nota van antwoord die is opgesteld door EZK in afstemming met het Aramis initiatief. Deze nota van antwoord is tegelijkertijd met de concept NRD en dit Participatieplan gepubliceerd.

Daarnaast werden er op 19 en 24 januari 2022 werksessies met verschillende stakeholders op respectievelijk 'land' en op 'zee' georganiseerd en heeft het ministerie van Economische Zaken en Klimaat op 26 januari 2022 een informatieavond gehouden. Een aantal aanwezigen bij de informatieavond heeft aangegeven de Aramis nieuwsbrief te willen ontvangen: zij hebben inmiddels de eerste Aramis nieuwsbrief ontvangen en worden op de hoogte gehouden door volgende nieuwsbrieven. Tijdens de verschillende gesprekken en werksessies zijn de plannen toegelicht en is er veel gebiedskennis verzameld. In het onderstaande wordt een samenvatting van aandachtspunten gegeven die door stakeholders zijn benoemd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het onderdeel 'aanlanding en landdeel' (A) en het onderdeel 'zeedeel' (B). Daarnaast volgt een lijst van geraadpleegde stakeholders per onderdeel.

1 Samenvatting aandachtspunten Maasvlakte – aanlanding en landdeel

Omgevingsveiligheid, geluid & stikstof depositie
Veel partijen stellen vragen over omgevingsveiligheid, geluid en stikstofdepositie door de aanleg en aanwezigheid van de terminal en het compressor station, pompen en andere installaties. Ook over het 'entry' punt van de micro-tunnel (één van de twee voorlopige aanlandingslocaties op de Maasvlakte) stellen partijen vragen met het oog op het risico op calamiteiten, aangezien de 'vuurwerk ompak' locatie op de Prinses Maximaweg zich nabij bevindt. Verder wordt voor de stikstofdepositie in relatie tot scheepvaartbewegingen (ten behoeve van de vloeibare intake van CO_2) aandacht gevraagd.

Overslag CO_2 na aanlanding per schip
De terminalfaciliteiten, bestaande uit de overslag van CO_2 van schepen, tijdelijke opslag en verpomping van vloeibaar CO_2 naar de zeeleiding worden door CO_2next uitgevoerd.

Aanlanding vanuit zee op Maasvlakte
Voor de aanlanding van de pijpleiding vanuit zee naar de Maasvlakte zijn twee opties in beeld. Ten eerste via een Horizontale boring (HDD) onder de harde zeewering of ten tweede via een micro-tunnel die op diepte ligt onder de Maasgeul. De stakeholders vragen aandacht voor het feit dat beide aanlegmethodes ook op het land van de Maasvlakte permanente ruimte en werkterreinen behoeven. Hiervoor is tijdige afstemming met meerdere stakeholders, onder meer Port of Rotterdam van belang.

De suggestie wordt gedaan om een overleg te hebben met de stakeholders die gebiedskennis hebben over de aanlanding middels een HDD op de Maasvlakte. De beschikbare ruimte is beperkt gezien de ligging van TenneT kabels (Net op zee HKZ), de voorziene ligging van de Porthos CO_2 leiding, de aanwezige leidingenstrook op de Maasvlakte en het voorziene windpark van Eneco op de zeewering.

Een van de opties, een microtunnel, zou mogelijkheden en kansen kunnen bieden voor medegebruik zoals het 'Net op zee' van TenneT voor nog toekomstige windparken.
Ongeacht de aanlandingsopties wordt aandacht gevraagd voor dat de scheepvaart in de Maasgeul geen hinder mag ondervinden.

Andere functies en industrie op de Maasvlakte
In veel gesprekken komt naar voren dat de industrie volcontinu in bedrijf is. De dagelijkse werkzaamheden moeten 24/7 door kunnen gaan tijdens de aanlegfase van de projecten. Ook dient de toegang van hulpdiensten te allen tijde zijn gegarandeerd. Eveneens dient de bereikbaarheid van de kazerne van de Gezamenlijke Brandweer aan de Prinses Maximaweg 24/7 gegarandeerd te blijven.
De leiding komt deels binnen en buiten de leidingenstrook te liggen. Dit vergt afstemming met zowel Port of Rotterdam als het Leidingenbureau van gemeente Rotterdam. De krappe ligging in de leidingenstrook en de drukte in de ondergrond zijn aandachtspunten.

Autoriteiten en andere stakeholders – aanlanding en landdeel
Autoriteiten: Het Ministerie van EZK, DCMR, ProRail regio Randstad-Zuid, Gemeente Rotterdam (RO, leidingenbureau Rotterdam), Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond, Rijkswaterstaat (WNZ, Zee & Delta), Omgevingsdienst Haaglanden, Provincie Zuid-Holland
Ngo's: Vereniging Natuurmonumenten Zuid Holland, Natuur- en Milieufederatie Zuid-Holland
Kabel en pijplijn eigenaren: TenneT
Industrie & Business & andere projecten Maasvlakte: Deltalinqs, Havenbedrijf Rotterdam, Divisie Havenmeester van het Havenbedrijf Rotterdam, Eneco, Euromax, Gate terminal, Porthos , MOT, ProRail, ECT Rotterdam
Scheepvaart: het Nederlands Loodswezen
Overige: Gezamenlijke brandweer Prinses Maxima kazerne

1 Samenvatting aandachtspunten - zeedeel

Zeeleiding op of in de zeebodem
Partijen hebben vragen over de installatie van de zeeleiding op of in de zeebodem. Dit heeft te maken met verschillende belangen van verschillende stakeholders. Zo dient de leiding overvisbaar te zijn en moet scheepvaartveiligheid gegarandeerd zijn in geval van (nood)ankeren boven de leiding. Daarnaast zijn er vragen over de gevolgen van meerdere leidingen en kabels die gekruist worden in de aanlooproute voor de scheepvaart; ontstaan er dan niet lokale verondiepingen op de zeebodem als gevolg van de kruisingsconstructies op de zeebodem? Nautische partijen vragen verder om het beperken van hinder voor de scheepvaart door het vermijden van ankergebieden en het zoveel mogelijk haaks kruisen van hoofdvaarroutes en geulen. Daarnaast wordt er aandacht gevraagd voor het mogelijke effect van CO_2 lekkage op het milieu. Ook is er sprake van de aanwezigheid van mogelijke obstakels op de zeebodem (zoals wrakken en mogelijk WO II resten).

Andere functies op de Noordzee
Partijen geven aan dat er nieuwe windparken op zee worden gepland. Dit heeft mogelijk ook gevolg voor een militair oefengebied op zee dat verplaatst moeten worden. Partijen vragen of er bij de tracering van de leiding rekening wordt gehouden met deze ontwikkelingen. Dit betekent ook nieuwe hoogspanningskabels van het net op zee, waarin in de tracering rekening gehouden moet worden (t.a.v. minimumafstanden en kruisingen).
Andere olie- en gasoperators hebben interesse getoond voor het eveneens aansluiten op de centrale leiding, zodat ook van hun opslagmogelijkheden gebruik gemaakt kan worden. Voor deze groep van stakeholders is op 9 maart 2022 een aparte bijeenkomst georganiseerd.
Partijen vragen aandacht voor andere gebruiksfuncties op de drukke Noordzee; zoals zandwinning. Deze gebieden dienen zo veel mogelijk vermeden te worden.
Met de stakeholders zijn twee tracé opties (Opties A en B) in het noordelijke deel op zee besproken. Alleen vanuit de toekomstige windpark belangen is er een voorkeur uitgesproken voor route-optie A omdat deze route-optie minder impact heeft op het toekomstige windenergiegebied. Overige partijen hebben geen onderscheidende aandachtspunten per tracé optie aangegeven.

Natuurversterkende maatregelen en andere kansen
In de contacten met partijen werden ook kansen benoemd voor de Noordzee; zoals het natuur-inclusief aanleggen van de benodigde infrastructuur op de zeebodem en een eventuele koppeling met andere CCS projecten.

Autoriteiten en andere stakeholders - zeedeel
Autoriteiten: Ministerie van EZK, Rijkswaterstaat (Zee & Delta), Ministerie van LNV, Ministerie van Defensie/ Dienst der Hydrografie, Ministerie van I en W
Ngo's: Vereniging Natuurmonumenten Zuid Holland, Natuur- en Milieufederatie Zuid-Holland, Stichting de Noordzee, Natuur & Milieu
Kabel en pijplijn eigenaren: TenneT, Stedin
Industrie & Business: Divisie Havenmeester van het Havenbedrijf Rotterdam
Scheepvaart: het Nederlands Loodswezen, Scheepvaart Adviesgroep Noordzee, KVNR
Visserij: Nederlandse Vissersbond, Voormalig VisNED
Olie en gas: Element NL
Zandwinning: LaMER
Overig: Kustwacht

Terugkoppeling werksessies
In de terugkoppeling naar deze stakeholders hebben we initieel een korte reactie gegeven op alle aandachtspunten. Hierin is aangeven dat we contact opnemen om een afspraak te maken en in individuele gesprekken hun aandachtspunten verder willen bespreken. Het Aramis initiatief heeft na de werksessie contact gehad met het Havenbedrijf Rotterdam, Euromax, Deltalinqs (bij de Klimaattafel) en DCMR. Op 7 april 2022 is er ook een gezamenlijk gesprek geweest met de gemeente Rotterdam, EZK, Gate terminal, MOT, Aramis en CO_2next over de aanpak voor het wijzigen van het huidige bestemmingsplan van Gate terminal en MOT en de rol van de bevoegde gezagen. Er is een vervolgoverleg ingepland om helderheid te verschaffen aan de te volgen procedure. Alle reacties zijn als input meegewogen voor de concept NRD en het technisch ontwerp waar we momenteel mee bezig zijn.

BIJLAGE 2 VERSLAG STAKEHOLDERSESSIE 21 JUNI 2022

Onderwerp	Stakeholderbijeenkomst Aramis en CO_2next
Project	Aramis
Datum bijeenkomst	21 juni 2022
Plaats	Hoek van Holland
Bijlage(n)	Presentatie Aramis
Aanwezig	Ministerie van EZK, EZK Wind-op-zee, TenneT, RWS, Koninklijke Vereniging van Nederlandse Reders, Kustwacht, Neptune, Carbon Collectors, Noordgastransport, Porthos, AECOM, Buis Consultancy, TNO, Port of Rotterdam (nautisch beheer), Omgevingsdienst Haaglanden, DCMR, Provincie Zuid- Holland, RWS (WNZ), LNV, Veiligheidsregio Rotterdam -Rijnmond.

Verslag stakeholderbijeenkomst

Algemeen

Op 21 juni jl. heeft een stakeholderbijeenkomst plaatsgevonden. Het doel van de bijeenkomst was het ophalen van informatie, gebiedskennis, aandachtspunten voor het MER ideeën, zorgen, wensen en kansen uit de omgeving. Onderstaand het verslag van de bijeenkomst.

Plenaire opening

Er wordt gestart met een toelichting op de concept Notitie Reikwijdte en Detailniveau en de stand van zaken van Aramis. Er wordt aangegeven wat de planning is en op welke momenten er nog ruimte is voor participatie.

Thematafels

Na het plenaire gedeelde wordt er uiteen gegaan in drie thematafels: de Maasvlakte, de Aflanding en de Noordzee.

Samenvatting aandachtspunten Maasvlakte

Aan deze tafel gingen vragen onder meer over:

- technisch gerelateerde zaken zoals de aanleg van pijpleidingen: land-trace's en de constante flow van de CO_2 in relatie tot een flexibel aanbod van de CO_2
- de schepen: emissieloos bouwen, stikstofdepositie en duur van het bouwen, soort schepen, capaciteit steigers, en aanbod walstroom
- het bevoegd gezag voor het deel van de aanlanding en de Maasvlakte (in dit geval gecoördineerd door EZK).
- de situatie met betrekking tot het compressorstation en de relatie tussen Aramis, Porthos en CO_2next.
- de scope tussen Aramis emitters en andere emitters, als ook over de capaciteit en prioritering voor de opslagvelden en voldoende beschikbaarheid van schepen voor de aan- en afvoer van vloeibare CO_2.
- punten in relatie tot de veiligheid, zoals het meenemen van de windturbines in de risicoanalyse, de gevolgen voor Hoek van Holland, aanvaringsrisico's, tankrisico's, de ligging van de brandweer kazerne bij een verkeerde wind.

Samenvatting aandachtspunten Aflanding
Aan deze tafel is onder andere gevraagd naar de technische uitdaging in dit project, en de beschikbare ruimte in relatie tot de beoogde Porthos leiding. Verder hebben TenneT en Porthos vooral hun ervaringen gedeeld, opgedaan bij eerdere aanleg van leidingen in het gebied, respectievelijk bij de voorbereiding daarop. Zo is uitdrukkelijk meegegeven aandacht te hebben in het vervolgtraject voor aanwezige niet gesprongen explosieven, archeologische waarden, bodemgesteldheid, stabiliteit van de zeewering, en beschermde soorten. Dit zowel uit technisch oogpunt als voor wat betreft de benodigde vergunningen en toestemmingen en de tijd die daarmee gemoeid is. Aangeboden wordt waar mogelijk gegevens van bijvoorbeeld boringen te delen, zonder daarbij de eigen verantwoordelijkheid van Aramis uit het oog te verliezen. Vanuit Nautisch Beheer van Port of Rotterdam wordt aandacht gevraagd voor het veilig en ongestoord doorgang vinden van de scheepvaart en de eisen die daaraan worden gesteld. In dat kader is als aandachtspunt meegegeven dat het Port of Rotterdam niet altijd duidelijk is op welke wijze de verschillende initiatiefnemers in de Maasmond met elkaar samenwerken.

Samenvatting aandachtspunten Noordzee
Aan deze tafel werd de ligging van de leiding toegelicht aan de hand van een tracétekening. Daarna is er de mogelijkheid gegeven aan de aanwezigen om te reageren op deze tekening.

Veel van de ingebrachte punten waren suggesties ter verbetering van de ligging van de leiding en het kaartmateriaal.

- EZK Wind-op-zee merkt op dat de zoekgebieden voor Hollandse Kust Zuidwest en Noordwest vervallen. Deze moeten nog van de tracétekening worden afgehaald.
- De Kustwacht geeft aan dat in de bepaling van de tracékeuze aandacht moet zijn voor multifunctioneel ruimtegebruik, bijvoorbeeld gaswindgebieden en bijbehorende aanvliegroutes en defensie oefengebied.
- De Kustwacht geeft als suggestie dat bestaande pijpleidingen gevolgd kunnen worden om een corridor te creëren.
- Neptune Energy geeft aan dat de Riser Tower of site tap op ‘gelijke’ afstand van hun velden moet liggen als van de velden van TotalEnergies en Shell.
- De Kustwacht geeft aan dat de leiding overvisbaar moet zijn, geen ankerplekken mag kruisen en zoveel mogelijk parallel moet liggen aan de vaarroutes.
- EZK Wind-op-zee ziet graag dat de leiding wordt gelegd buiten de (beoogde) windgebieden.

Daarnaast worden er verschillende punten ingebracht ter verbetering van de c-NRD en om mee te nemen in het MER:

- EZK Wind-op-zee vindt dat de ruimtelijke keuzes voor de ligging van het tracé nog beter omschreven mogen worden in de c-NRD.
- Neptune Energy voegt daaraan toe dat ze graag nog beter de mogelijkheden voor toekomstige aan- en aftakkingen op de leiding omschreven zien.
- De Kustwacht geeft aan dat er in het MER onderzocht moet worden wat het effect van lekkage is.

KNVR geeft tot slot de tip om MARIN te benaderen voor meer informatie over hun onderzoek naar de mogelijkheden om windmolens te beschermen tegen op drift geraakte schepen, omdat de uitkomsten hiervan ook nuttig voor Aramis kunnen zijn.

De middag is afgerond met een plenaire terugkoppeling, waarbij de gevoerde gesprekken per thematafel zijn samengevat, en is benadrukt dat op meerdere momenten in het vervolg van het proces participatie mogelijk is. Aramis zal de opgehaalde informatie verwerken in het MER en zal het gesprek van de thematafels voort zetten met de verschillende stakeholders.

BIJLAGE 3 AFGERONDE ACTIES VAN PARTICIPATIE (UIT H3)

MANIEREN OM GEÏNFORMEERD TE BLIJVEN (INFORMEREN)

a. Publicaties Staatscourant en huis-aan-huis bladen
Op 9 juni 2022 is in de Staatscourant (en in diezelfde week ook in huis-aan-huis bladen) gepubliceerd dat de concept NRD en dit participatieplan ter inzage lagen voor reacties. Op 2 december 2022 is in de Staatscourant gepubliceerd dat de definitieve NRD is vastgesteld.

b. Websites projecten Aramis, CO_2next en Bureau Energieprojecten
Op 10 juni 2022 is de concept NRD gepubliceerd op de website van *Bureau Energieprojecten*. Hierop kon iedereen de concept NRD en het geactualiseerde participatieplan inzien. Iedereen had de mogelijkheid tot het indienen van een zienswijze. Er zijn acht zienswijze ingediend die formeel zijn beantwoord. Op 2 december 2022 is de definitieve NRD inclusief de nota van antwoord gepubliceerd op de website van *Bureau Energieprojecten*.

c. (In)formele bijeenkomsten: Informatiebijeenkomst, symposium en kennissessies
Op 21 juni 2022 hebben EZK en het Aramis initiatief een formele informatiebijeenkomst gehouden, ten tijde van de terinzagelegging van de concept NRD. We hebben de concept NRD toegelicht, welke alternatieven en varianten we in het MER gaan onderzoeken, hoe we dat gaan doen en in welk detailniveau. Tijdens deze bijeenkomst waren projectleden van het Aramis initiatief aanwezig om vragen over het project en de concept NRD te beantwoorden. Medewerkers van EZK waren ook aanwezig om vragen over de procedure te beantwoorden.

Naast de formele bijeenkomst heeft Aramis een informele bijeenkomst georganiseerd voor alle (zakelijke) stakeholders. Doel was om de deelnemers van deze bijeenkomst te informeren over de status van het project aan de hand van de concept NRD en om alle vragen die er leven te beantwoorden. Met deze bijeenkomst heeft het Aramis initiatief ook voldaan aan de verplichting van een openbare raadpleging die volgt uit de PCI-status (Project of Common Interest).

d. Digitale nieuwsbrief
We hebben eind april 2022 de eerste nieuwsbrief en in juli 2022 de tweede nieuwsbrief uitgebracht. De eerste twee nieuwsbrieven waren in het Nederlands. De derde nieuwsbrief (in het Engels) is in november 2022 verspreid en de vierde in april 2023. De laatste twee neiuwsbrieven zijn in juli en december 2023 verstuurd. Alle nieuwsbrieven zijn toegankelijk via de Aramis website.

e. Persoonlijk of geclusterde gesprekken
Afgelopen periode zijn individuele en ook geclusterde gesprekken met de diverse stakeholders gevoerd. Uitkomsten daarvan zijn en worden verwerkt in Dialog (= klanteisen managementsysteem).

MANIEREN OM BETROKKEN TE BLIJVEN (INFORMEREN/CONSULTEREN/ADVISEREN)

a. Informatiebijeenkomst
Tijdens de informatiebijeenkomst op 21 juni 2022 konden de aanwezigen op een laagdrempelige manier in gesprek gaan met projectmedewerkers van het Aramis initiatief en het ministerie van EZK. Ook was het voor de aanwezigen mogelijk tijdens deze bijeenkomst een mondelinge reactie (zienswijze) in te dienen. Uiteindelijk zijn er acht schriftelijke reacties ingediend op de concept NRD.

b. Bestuurlijke en landelijke overleggen
Het Aramis initiatief en het ministerie van EZK vinden het belangrijk om gemeenten, provincie en andere bestuursorganen actief te betrekken bij de besluitvorming over het project.

Het Aramis initiatief en het ministerie van EZK betrekken bestuurlijke partners van de gemeenten, de provincie Zuid-Holland en andere departementen met betrekking tot de Noordzee actief bij het besluitvormingsproces van het projectbesluit. Bestuurders van deze partners worden bij elke formele zienswijze periode op de hoogte gehouden van de voortgang in een op te richten Bestuurlijk Overleg (BO), geïnitieerd door EZK.

Op 15 november 2022 heeft het eerste coördinatieoverleg vergunningen plaatsgevonden. Dit is een tweemaandelijks overleg met alle bevoegde gezagen in het kader de vergunningen onder de Rijkscoördinatieregeling (RCR).

c. Persoonlijke of geclusterde gesprekken
Wij hebben het project al eerder geïntroduceerd o.a. aan programma-managers, regioadviseurs, beleidsadviseurs en projectleiders van ministeries (EZK Wind, Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) , Defensie, Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK), Infrastructuur en Waterstaat (IenW)), lokale gemeenten (Rotterdam, Brielle, Westvoorne), Provincie (Zuid-Holland), VRR, water(veiligheid)beheerders (Waterschap Hollandse Delta, RWS Zee & Delta, Kustwacht), omgevingsdiensten (DCMR, ODH), wegbeheerder (RWS WNZ), railbeheerder (ProRail), belangengroepen (Deltalinqs, KVNR, Element NL, Bellona, Nexstep, de Nederlandse Vissersbond, Stichting de Noordzee, Nederlands Loodswezen, H-vision, NWEA, Verontruste Burgers van Voorne), ngo's (Natuur & Milieu, Greenpeace, Milieufederatie Zuid-Holland), raakvlakprojecten (Porthos, Eneco), kabel- en pijpleiding eigenaren (TenneT, Stedin), offshore operators (o.a. Neptune Energy , Petrogas) en bedrijven op de Maasvlakte (Havenbedrijf Rotterdam, MOT, Euromax). Dit ambtelijke en persoonlijke contact zetten wij voort in deze komende fase.

Hieronder staat een overzicht met welke belanghebbenden en over welke onderwerpen wij spreken.

- Havenbedrijf Rotterdam: de aanlanding, uitwerking verschillende tracés en locatie alternatieven en varianten in het havengebied;
- Provincie Zuid-Holland: de ruimtelijke kwaliteit (o.a. openheid en natuur) van het gebied in relatie tot het tracé en locatiealternatieven en -varianten, vergunningen;
- RWS Zee & Delta en Kustwacht: nautische veiligheid, het kruisen van scheepvaartroutes, de tracering en locatie alternatieven en varianten, vergunningen op zee;
- RWS WNZ: uitwerking van tracé- en locatiealternatieven en varianten bij kruising van waterkeringen, hoofdwatergangen, aandachtspunten van diverse uitvoeringsmethodes en vergunningen;
- Waterschap Hollandse Delta, DCMR en ODH: benodigde water vergunningen, vergunningen in het kader van de wet algemene bepalingen omgevingsrecht en natuurvergunningen en ontheffingen;
- Gemeente Rotterdam: voor de benodigde vergunningenoverzicht en rol van bevoegde gezag en invloed op CCS op de energietransitie;
- TenneT, Stedin: raakvlakken projecten en invloeden van tracé- en locatiekeuzes, met name bij de kruising van de waterkering (TenneT) en energievoorziening en beschikbare ruimte in de Leidingenstrook (Stedin);

- Eneco: raakvlakken en veiligheidsrisico's van windmolens op de Maasvlakte;
- MOT, ECT Rotterdam, Euromax: impact op 24/h bedrijfsvoering en overlast (geluid, trillingen);
- Ministeries: raakvlakken (toekomstige) windparken op de Noordzee zoals Lagelander, impact op het milieu en visserij, raakvlakken (toekomstige) zandwinningsgebieden, gebieden van hoge cultuur-historische waarde en vergunningen;
- Wij informeren de bij ons bekende maatschappelijke organisaties (Milieufederatie Zuid-Holland, Natuur & Milieu, Greenpeace, Milieudefensie en Stichting de Noordzee) rechtstreeks over het project en de procedures. In de studies die we uitvoeren voor de vergunningen en het milieueffectrapport (MER) besteden we nadrukkelijk aandacht aan milieu, natuur en andere belangrijke maatschappelijke waarden. Daarnaast onderzoeken we met Stichting de Noordzee, Natuur & Milieu, het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, de Wageningen University & Research en het Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek of we het project Aramis natuurversterkend kunnen aanleggen;
- Porthos: afstemming omgevingsmanagement en aansluiting op Porthos;
- Commissie MER: afstemming en advies voor concept NRD en MER;
- ProRail: impact op kruising van en werken nabij het spoor (veiligheid en bedrijfsvoering);
- Veiligheidsregio's: veiligheidsrisico's in het havengebied en de nabije omgeving (toegangswegen);
- Het Aramis initiatief is meermalen aangeschoven bij het Noordzeeoverleg (NZO). De NZO-leden zijn: de ministeries (Infrastructuur en Waterstaat, Economische Zaken en Klimaat, en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit), Energiesector (Nederlandse Wind Energie Associatie, TenneT, Element NL, Energie Beheer Nederland), Zeevaartsector (Branche Organisatie Zeehavens, Koninklijke Vereniging Nederlandse Rederijen, Havenmeesters), natuur en milieuorganisaties (WNF Nederland, Greenpeace (geen permanent lid), Stichting De Noordzee, Vogelbescherming Nederland, Natuur & Milieu) en Voedsel&Visserij (NetVisWerk en Producentenorganisaties Urk & Delta Zuid). Het project Aramis informeert regelmatig over de stand van zaken tijdens dit NZO-overleg. Aanwezigen van dit overleg wordt gevraagd om input te leveren vanuit hun organisatie, bijv. over scheepvaartbelemmering op zee of kruising Maasgeul, gevoelige infrastructuur op de zeebodem, raakvlak (toekomstige) windmolenparken, impact op natuur, onderwater geluid, etc.);
- NEa (Nederlandse Emissieautoriteit): onafhankelijke autoriteit voor toezicht op de uitstoot van broeikasgassen;
- Er is een gezamenlijke bijeenkomst geweest waarin het project Aramis gepresenteerd werd aan alle operators en waar operators kenbaar konden maken of men wilde aansluiten, en zo ja, wanneer. Met operators met concrete belangstelling en betrokkenheid zijn er individuele overleggen gevoerd;
- Eind 2021 is door *CO_2next* een Open Season proces gestart. Het primaire doel van het Open Season was het verkrijgen van een beter inzicht in het marktpotentieel. Dit is mede van belang voor de vergunningaanvraag waarin de eindsituatie dient te worden omschreven. Bovendien is waardevolle informatie verzameld voor het verdere engineering proces zodat al vroegtijdig kan worden nagedacht over bijvoorbeeld tie-in point en over-dimensionering. Een secundair doel van het Open Season proces was om te voldoen aan de criteria voor Open Access en Non-discriminatory Access. Hierdoor wordt

gerechtvaardigd dat er een of enkele launching customers zijn.
In een intensieve samenwerking en onder speciale voorwaarden kan met deze launching customers de keten worden opgezet. In een volgende fase zouden andere partijen dan onder de dan geldende voorwaarden kunnen aansluiten.

d. Schriftelijke reactie op de plannen geven
Iedereen heeft in 2022 de mogelijkheid gehad een schriftelijke reactie te geven op de concept NRD (een zienswijze indienen). Er zijn acht zienswijzen ingediend. Al deze zienswijzen zijn gebundeld (zienswijzebundel) en in de nota van antwoord is een toelichting gegeven of en hoe deze zijn meegenomen bij het opstellen van de definitieve NRD of in het verdere proces.

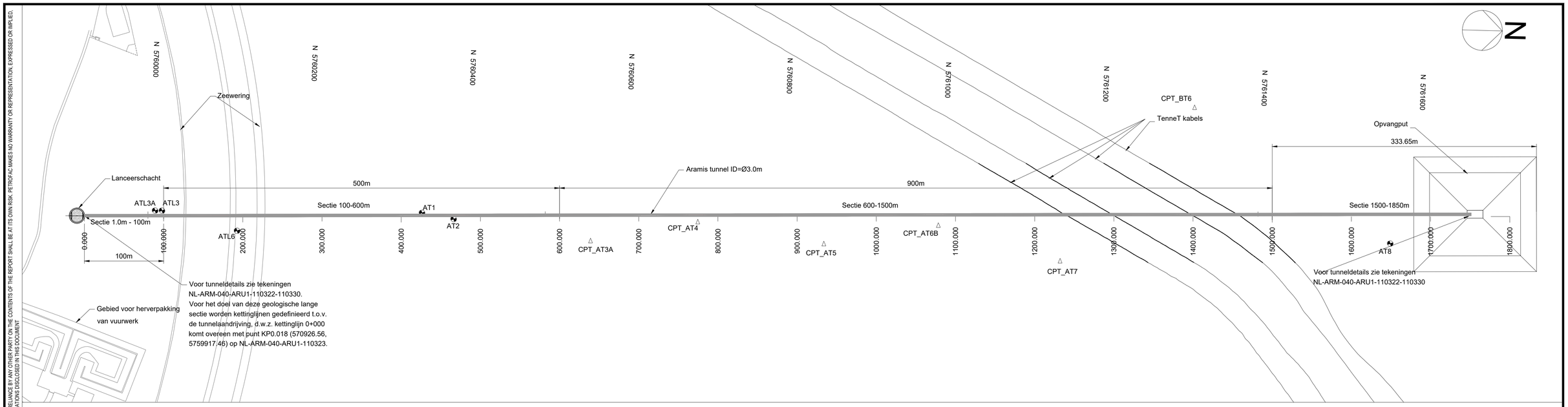
Het Aramis initiatief heeft advies aan de commissie MER op de concept NRD gevraagd. Dit advies is op de site van de commissie op 18 augustus 2022 gepubliceerd. Het ministerie van EZK heeft op basis van de ingekomen zienswijzen en het advies van de commissie MER de definitieve NRD vastgesteld en gepubliceerd op 2 december 2022.

Bijlage 2

Situatie en plattegrond tekeningen

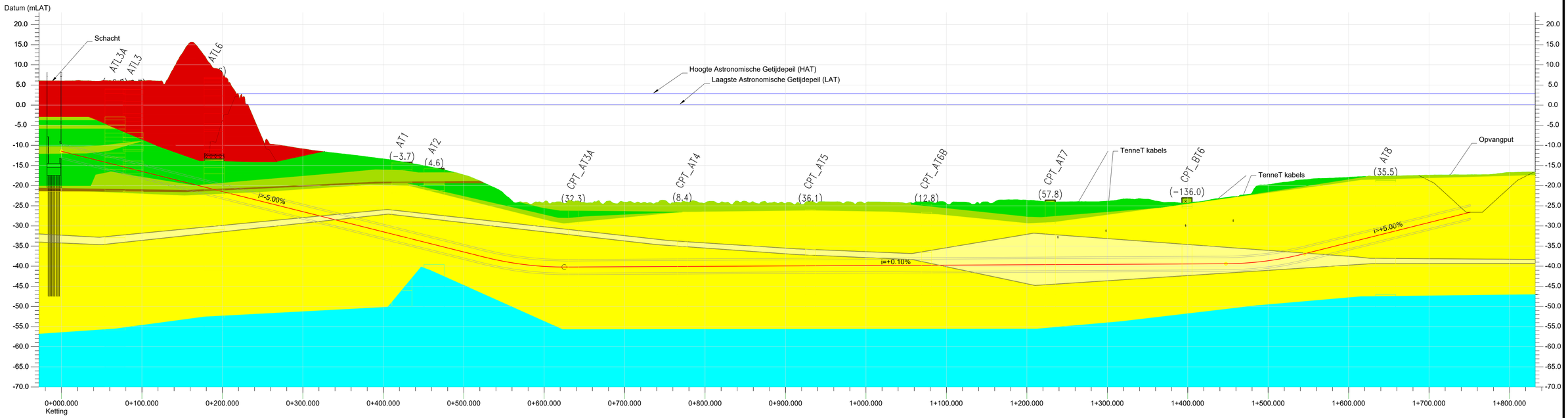
Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V. AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.



Plattegrond

Schaal 1:2500H



Geologisch Profiel

Schaal 1:2500H 1:5V

LEGENDA

- Tunnel middenlijn
- Gemiddelde zeespiegel
- Begane grond
- Gemaakte grond - Zand
- Gemaakte grond - rotsvulling
- Naaldwijk Formatie - Zand
- Naaldwijk Formatie - Klei
- Naaldwijk Formatie - Turf
- Kreftenheye Formatie
- Winterton Shoal Formatie
- AZCL - Aangenomen zone van kernverlies
- Kreftenheye Formation - Gravelly Sand

OPMERKINGEN :

1. ALLE AFMETINGEN ZIJN IN METER (m), TENZIJ ANDERS VERMELD.
2. BATHYMETRIEGEGEVENSBRON: WIP MODIFIED - SUBSAMPLED DATA. BATHY-FILES GEDATEERD 24/01/2024 VAN DE KLANT.
3. COÖRDINATENSYSTEEM UTM Z31N ETRS89.
4. GEOMETRIE EN LOCATIE VAN ZEEWERING GEËXTRAHEERD UIT DOORSNEDE AA UIT PDF-BESTAND GZ079_419 GEDATEERD 24/01/2024 VAN DE OPDRACHTGEVER.
5. DE LOCATIES VAN TENNET KEBELS ZIJN GEBASEERD OP DE GEGEVENSBRON: TENNET CABLE AS BUILT SHAPE-BESTANDEN GEDATEERD 24/01/2024 VAN DE OPDRACHTGEVER.
6. HET GRONDOPPERVLAK, DE ZEEBODEM EN DE BESTAANDE STRUCTUREN WORDEN SLECHTS INDICATIEF WEERGEGEVEN EN MOETEN IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN BEVESTIGD.
7. DE OPVANGPUT IS SLECHTS INDICATIEF WEERGEGEVEN.
8. DE LANCEERSCHACHT IS SLECHTS INDICATIEF WEERGEGEVEN.
9. TEKENING TE LEZEN IN SAMENHANG MET: GIR : NL-ARM-040-ARU1-110303, GDR : NL-ARM-040-ARU1-110305, GBR : NL-ARM-040-ARU1-110307
10. SONDERING BODEMGEDRAGTYPE (SBTn NAAR ROBERTSON, 1990)

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	31/07/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	21/06/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

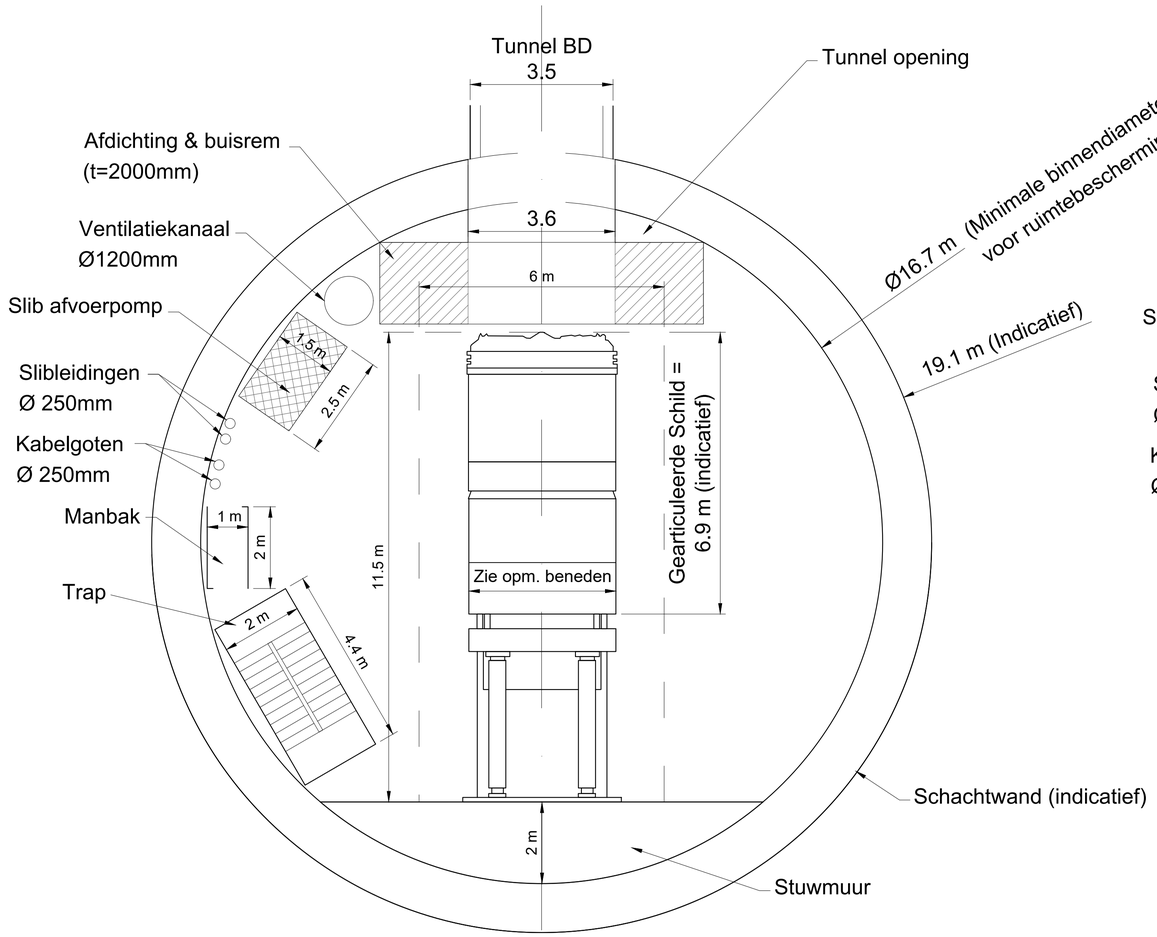
ARAMIS | ARUP | Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Tunnel
Plan en Geologisch Profiel

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV					
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110308		Rev:	01	Schaal:	1:2500	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110308		Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

Een binnendiameter van ca. 16,7 m is vereist voor ruimtebescherming bij segmenttunnelbouw.

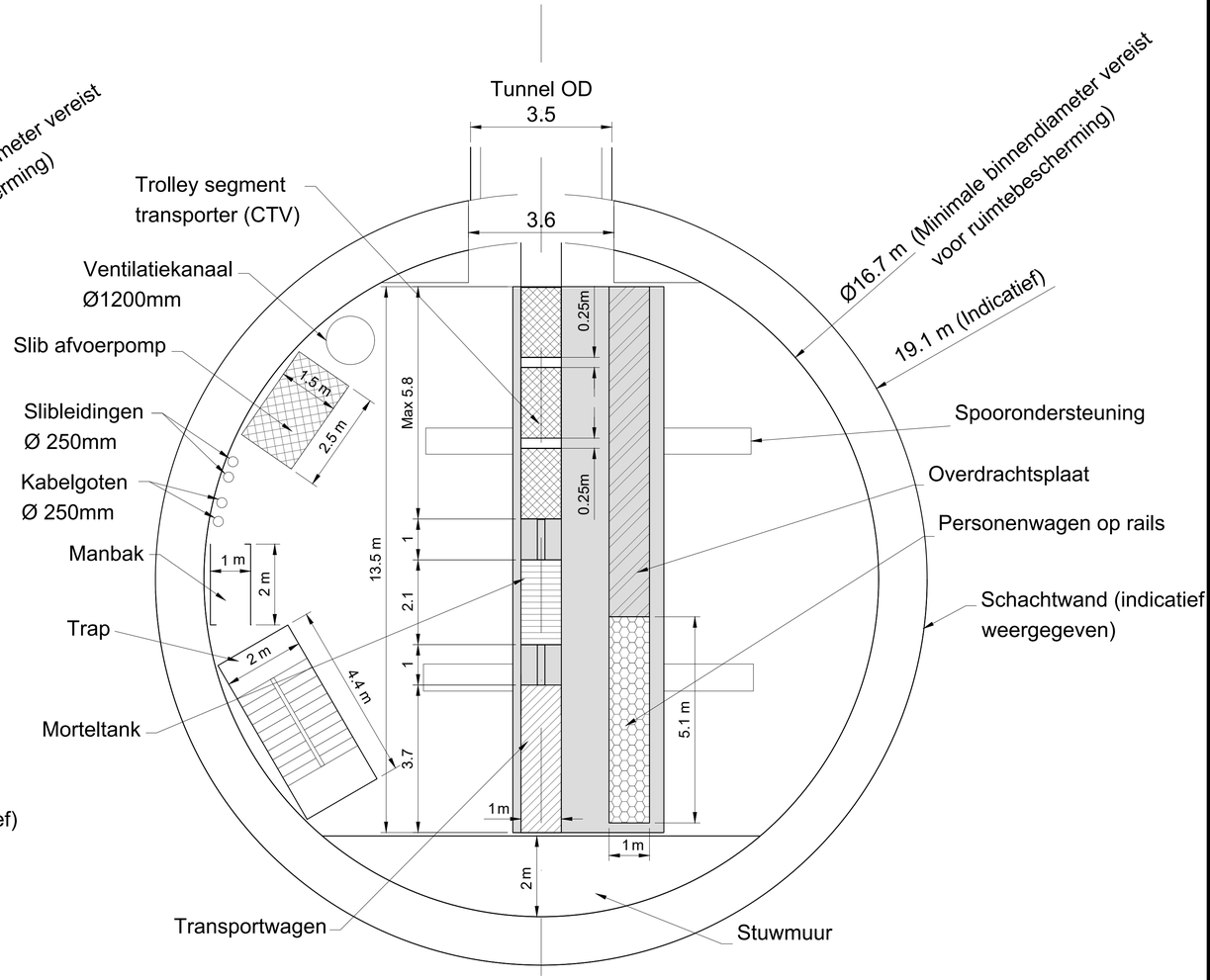


Buisduw Afmetingen Gegeven Ter Indicatie

Buisduwscenario

Schaal 1:75

TBM indicatief getoond, werkelijke grootte kan variëren afhankelijk van de gekozen TBM



TBM Apparatuur indicatief weergegeven

TBM Scenario

Schaal 1:75

ARAMIS | ARUP | Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

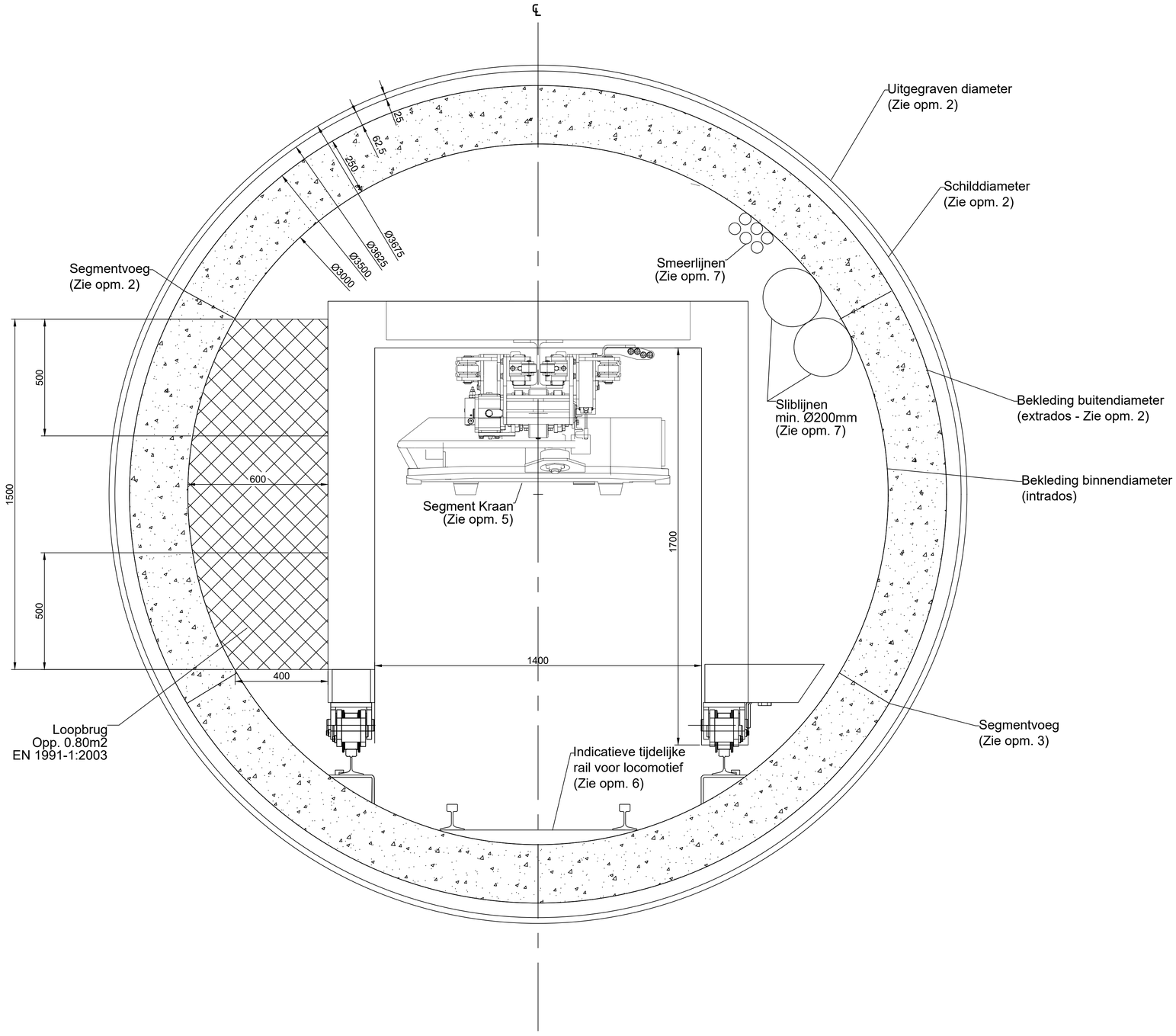
Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	28/06/2024	[redacted]	Uitgegeven voor Ontwerp	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	15/04/2024	[redacted]	Uitgegeven voor Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]

Tunnel FEED - Voorlopig Ontwerp - Schacht Ruimtebescherming

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : -	Discipline : CIV					
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110319		Rev:	01	Schaal:	1:75	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110319		Formaat:	A1	Folio:	-	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V. AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED N THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT



Tunnel ruimtebescherming - ID3000 - Reserve systeem sectie bij de Gantry - Segmenten opsteller

Notes:
1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders aangegeven.
2. De bekledingdikte en schilddiameter van de TBM worden indicatief getoond. Deze afmetingen en toleranties zullen tijdens de FEED moeten worden bevestigd.
3. Segmenten en voegen worden indicatief getoond. Het aantal segmenten per ring moet tijdens de FEED worden bevestigd.
4. De loopbrugdimensies zijn in lijn met de EN 16191:2023-norm voor tunnels met kleine diameter en worden indicatief getoond.
5. De segmentenopsteller wordt indicatief getoond. Het type en de afmetingen van de pomp moeten in het detailontwerp door een aannemer worden bevestigd.
6. De tijdelijke rail voor de locomotief wordt indicatief getoond. Het type en de afmetingen moeten in het detailontwerp door een aannemer worden geverifieerd.
7. Slib- en smeerleidingen worden indicatief getoond, en het type en de afmetingen moeten in het detailontwerp door een aannemer worden bevestigd.
8. Afhankelijk van de vereisten kunnen een materiaalvulling of stalen platen nodig zijn in de invert (bodem) van de tunnel.

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	28/06/24	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	12/04/24	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

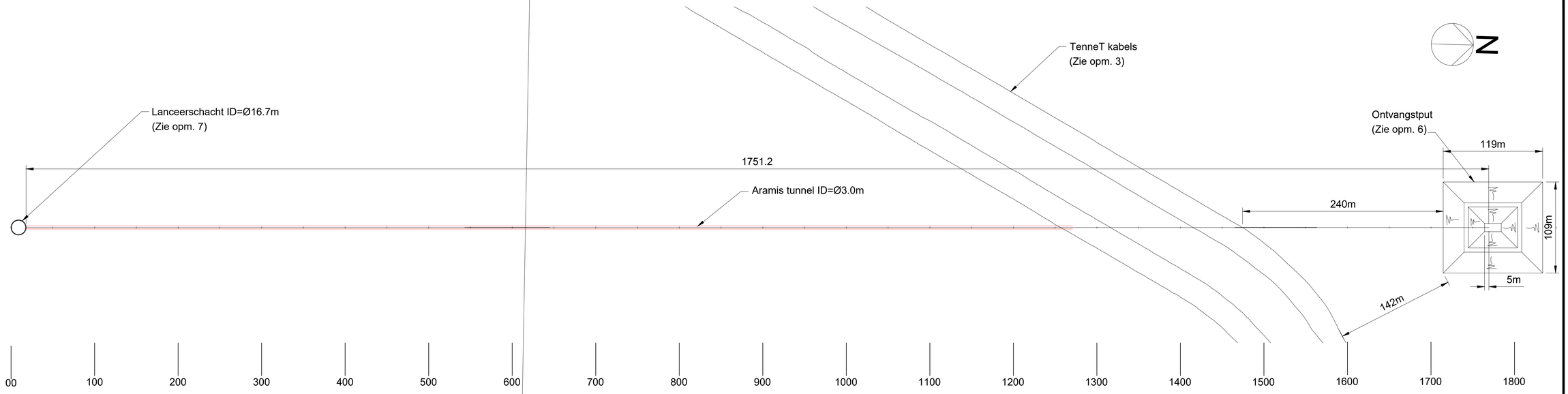
ARAMIS | ARUP | Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

ARAMIS - TUNNEL FEED - VOORLOPIG ONTWERP
TUNNEL RUIMTEBESCHERMING
ID3000 - BACKUP SYSTEEM SECTIE BIJ GANTRY - SEGMENT OPSTELLER

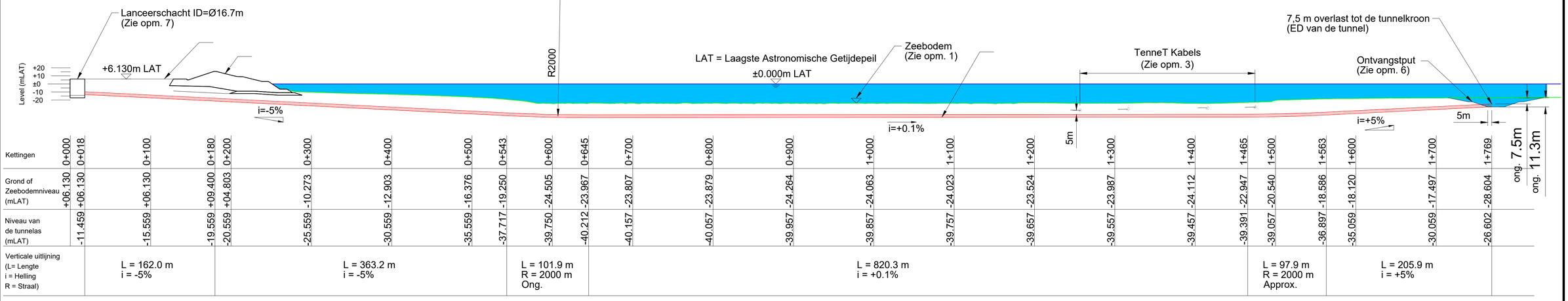
Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : n/a	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110320		Rev:	01	Schaal:	1:10
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110320		Formaat:	-	Folio:	1 / 5

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.



Plattegrond

Schaal 1:2500



Kettingen	0+000	0+018	0+100	0+180	0+200	0+300	0+400	0+500	0+543	0+600	0+645	0+700	0+800	0+900	1+000	1+100	1+200	1+300	1+400	1+465	1+500	1+563	1+600	1+700	1+769
Grond of Zeebodemniveau (mLAT)	+06.130	+06.130	+06.130	+09.400	+04.803	-10.273	-12.903	-16.376	-19.250	-24.505	-23.967	-23.807	-23.879	-24.264	-24.063	-24.023	-23.524	-23.987	-24.112	-22.947	-20.540	-18.586	-18.120	-17.497	-28.604
Niveau van de tunnelas (mLAT)	-11.459	-11.459	-15.559	-19.559	-20.559	-25.559	-30.559	-35.559	-37.717	-39.750	-40.212	-40.157	-40.057	-39.957	-39.857	-39.757	-39.657	-39.557	-39.457	-39.391	-39.057	-36.897	-35.059	-30.059	-26.602
Verticale uitlijning (L= Lengte i = Helling R = Straal)			L = 162.0 m i = -5%			L = 363.2 m i = -5%				L = 101.9 m R = 2000 m Ong.				L = 820.3 m i = +0.1%						L = 97.9 m R = 2000 m Approx.		L = 205.9 m i = +5%		

Longitudinaal profiel aanzicht

Schaal 1:2500

Legenda:

- Tunnel-as pl.grond/aanzicht
- Zeebodemniveau
- Zeepeil
- Tunnelwand plattegrond
- Tunnelwand aanzicht
- Tennet kabels

Opmerkingen:

1. Bathymetrie gegevensbron: wip aangepast - subgesampleerde gegevens. Bathymetrische bestanden gedateerd 24/01/2024 van de opdrachtgever.
2. Geometrie en locatie van de zeedijk geëxtraheerd uit dwarsdoorsnede A-A van pdf-bestand gz079_419 gedateerd 24/01/2024 van de opdrachtgever.
3. TenneT-kabels gegevensbron: TenneT-kabel as-built shape-bestanden gedateerd 24/01/2024 van de opdrachtgever.
4. Op basis van het maximum van de verticale afstand (NEN651-norm), de voorlopige geveldrukbeoordeling en de voorlopige tunnelheffingbeoordeling is de minimale dekking boven de tunnelkroon bij het scheepvaartkanaal circa 13 m.
5. Minimale dekking tot tunnelkroon onder TenneT-kabels is 5 m en onder zeedijkvoet is 6,5 m. Afstanden moeten worden bevestigd in het Feed-ontwerp met gedetailleerde grondbewegingsbeoordeling.
6. Ontvangstput indicatief getoond.
7. Lanceerschacht indicatief getoond.
8. Deze schets toont een mogelijkheid om de tunnelligging getoond in tekening NL-ARM-040-ARU1-110318_00 te verlengen, waarbij de tunnel wordt verlengd vanaf kettingmeter 1+650 langs dezelfde trajectlijn naar een ondiepere ontvangstput.

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	28/06/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	30/04/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

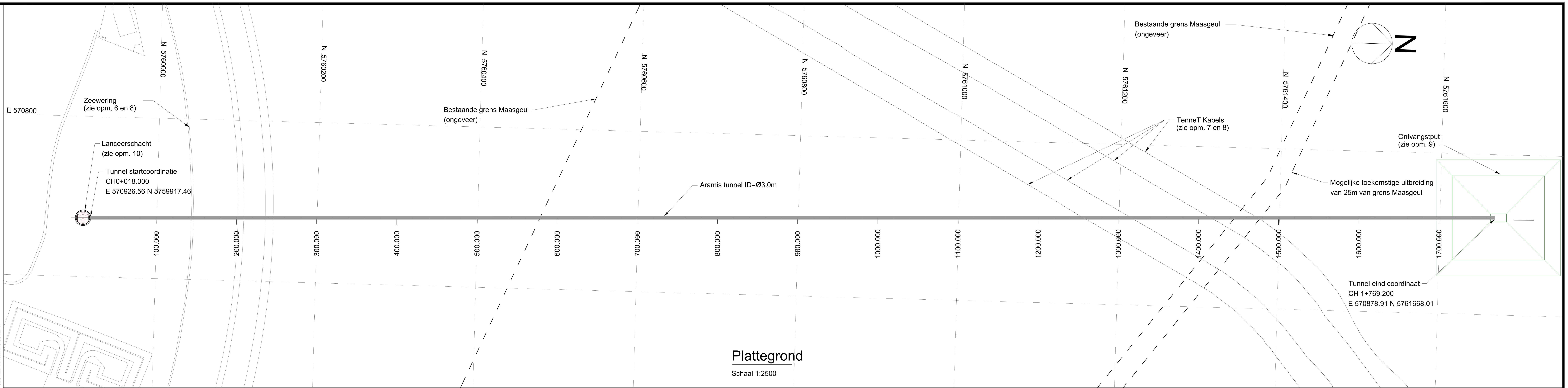
ARAMIS | ARUP | Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

TUNNEL FEED - VOORLOPIG ONTWERP
TUNNELLIGGING
VOORKEURSOPTIE

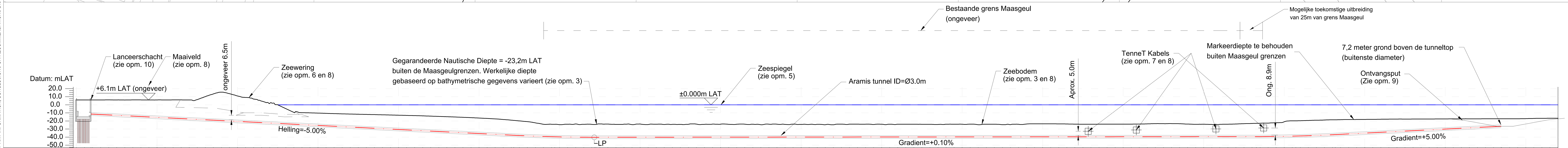
Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV			
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110321	Rev:	01	Schaal:	1:2500
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110321	Formaat:	A1	Folio:	1/1

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT



Plattegrond

Schaal 1:2500



KETTINGEN	BESTAANDE NIVEAU	NIVEAU BOOGLIJN VAN DE TUNNEL
0+018.000	6.01	-11.46
0+100.000	6.03	-15.56
0+200.000	10.89	-20.56
0+300.000	-10.28	-25.56
0+400.000	-12.91	-30.56
0+500.000	-16.39	-35.56
0+543.078	-19.31	-37.71
0+594.078	-24.14	-39.61
0+600.000	-24.58	-39.75
0+643.078	-24.40	-40.21
0+645.078	-24.35	-40.21
0+700.000	-23.83	-40.16
0+800.000	-24.00	-40.06
0+900.000	-24.27	-39.96
1+000.000	-24.09	-39.86
1+100.000	-24.06	-39.76
1+200.000	-23.52	-39.66
1+300.000	-23.99	-39.56
1+400.000	-24.11	-39.46
1+465.388	-22.95	-39.39
1+500.000	-20.96	-39.06
1+514.388	-19.82	-38.74
1+563.388	-18.52	-36.89
1+600.000	-18.12	-35.06
1+700.000	-17.50	-30.06
1+769.000	-17.29	-26.60
1+800.000	-17.14	0.000

HORIZONTALE GEOMETRIE: Length = 1751.20m

VERTICALE GEOMETRIE:
- Lengte = 525.08m, Helling = -5.00%
- Straal ~.2000.00m, Lengte = 102.00m, K = 20
- Lengte = 820.31m, Helling = 0.10%
- Straal ~.2000.00m, Lengte = 98.00m, K = 20
- Lengte = 205.81m, Helling = 5.00%

UITGRAVEN METHODE : OPLOSSING 1 (zie opm. 11): Pipe Jacking Length = 100m — *Overgang* — Segmentale bekleding Lengte = 1651,00m

UITGRAVEN METHODE : OPLOSSING 2 BOVENSTE GROND GRENS (Zie opm. 11): Pipe Jacking Length = 900.00m — *Overgang* — Segmentale bekleding Lengte = 851,00m

UITGRAVEN METHODE : OPLOSSING 2 ONDERSTE GROND GRENS (Zie opm. 11): Pipe Jacking Length = 1200.00m — *Overgang* — Segmentale bekleding Lengte = 551,00m

UITGRAVEN METHODE : OPLOSSING 3 (zie opm. 11): Plan om volledig te pipe jacken met een noodplan (volledige voorbereiding voor overschakelen naar segmentale bekleding). De uiteindelijke beslissing om over te schakelen zal worden genomen door de EPC-aannemer afhankelijk van de gegevens uit de actuele voortgangsmonitoring. — Pipe Jacking Length = 1751.00m

Dwarsdoorsnede

Schaal 1:2500

Schaal Bar 1:2500 @ A1: 0m, 50m, 100m, 150m, 200m, 250m

NOTES CONTINUED

10. DE STARTPUT WORDT INDICATIEF GETOOND. ZIE TEKENINGNUMMERS NL-ARM-040-ARU1-110331 TOT NL-ARM-040-ARU1-110338.
11. DE GESCHATTE PIPE JACKING GRAAFWERKLENGTES VOOR OPLOSSING 2 VARIEERDEN OP BASIS VAN TWEE GRONDMODELCONDITIES: DE BOVENSTE GRENS EN DE ONDERSTE GRENS. DEZE LENGTES HOUDEN REKENING MET EEN MAXIMALE ANGULAIRE VERBINDINGSTOELATING VAN 0,25 GRADEN. VOOR MEER DETAILS RAADPLEEG HET FEED-RAPPORT NL-ARM-040-ARU1-110306. DE GEPRESENTEERDE OVERSCHAKELINGSLOCATIE(S) ZULLEN VERDER WORDEN GEEVALUEERD DOOR DE EPC-AANNEMER TIJDENS HET GEDETAILLEERDE ONTWERP. DE HUIDIGE BASISGEVALAANNAME IS OM OPLOSSING 3 TE ADOPTEREN.

OPMERKINGEN

1. RAADPLEEG ALGEMENE TUNNELNOTEN, ZIE TEKENINGNUMMER NL-ARM-040-ARU1-110322.
2. ALLE AFMETINGEN ZIJN IN METERS (m), TENZIJ ANDERS VERMELD.
3. BATHYMETRIE DATABRON: WIP GEWIJZIGD - SUBSAMPLERENDE GEGEVENS. BATHY-BESTANDEN GEDATEERD 24/01/2024 VAN DE KLANT.
4. COÖRDINATENSYSTEEM UTM Z31N ETRS89 EN NIVEAUS IN LAAGSTE ASTRONOMISCHE TIDE (LATm)
5. ZEESPIEGEL VARIEERT EN WORDT INDICATIEF GETOOND.
6. KUSTVERDEDIGING GEOMETRIE EN LOCATIE ONTTREKT AAN DWARSSECTIE AA UIT PDF-BESTAND GZ079_419 GEDATEERD 24/01/2024 VAN DE KLANT.
7. TENNET-KABELLOCATIES ZIJN GEBASEERD OP DATABRON: TENNET-KABELS AS BUILT SHAPE FILES GEDATEERD 24/01/2024 VAN DE KLANT.
8. GRONDOPPERVLAK, ZEESPIEGEL EN BESTAANDE CONSTRUCTIES WORDEN INDICATIEF GETOOND EN MOETEN WORDEN BEVESTIGD IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP.
9. ONTVANGSTPUT WORDT INDICATIEF GETOOND. ZIE TEKENINGNUMMERS NL-ARM-040-ARU1-110329 EN NL-ARM-040-ARU1-110330.

LEGENDA

- TUNNELMIDDENLIJN
- TUNNELBEKLEDING
- ZEESPIEGEL
- K — KROMMINGSCOËFFICIËNT
- TENNET-KABELS
- LP — CURVE LOWER POINT
- ◆ — Switchover

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	19/09/2024	■	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	■	■	■
00	21/06/2024	■	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	■	■	■

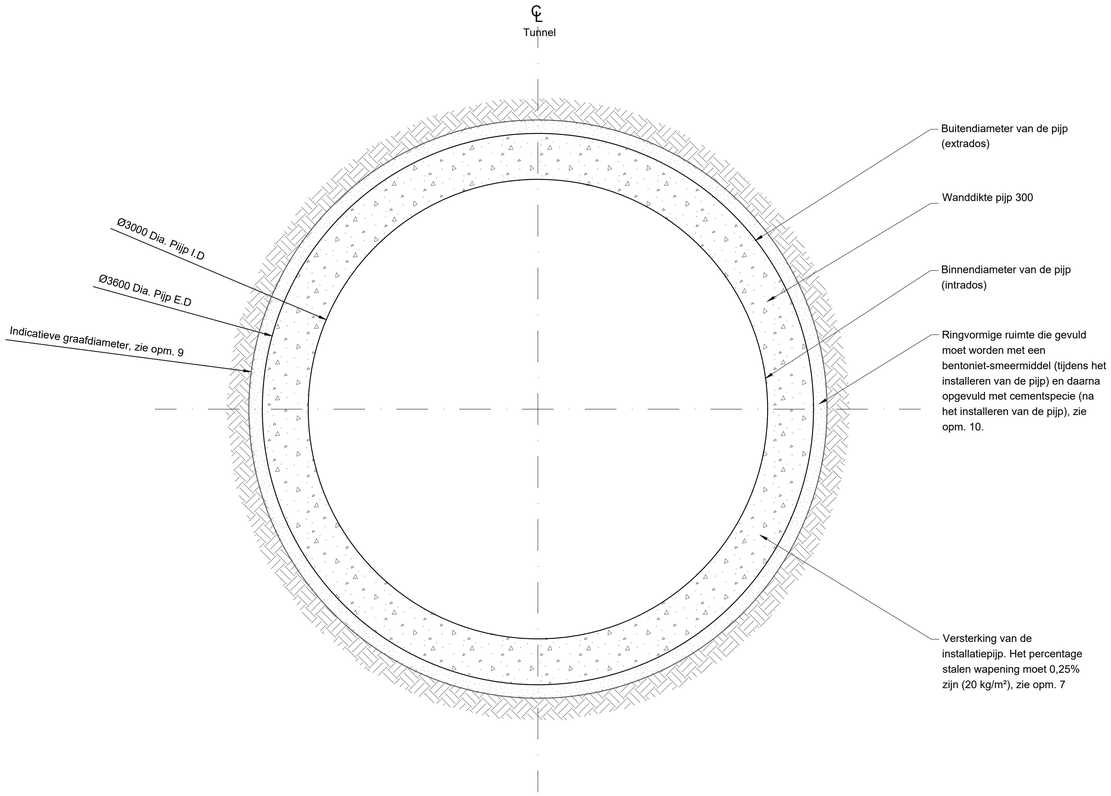
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Tunnel FEED - Tunnel
Plattegrond en doorsnede
Hybride graafmethode

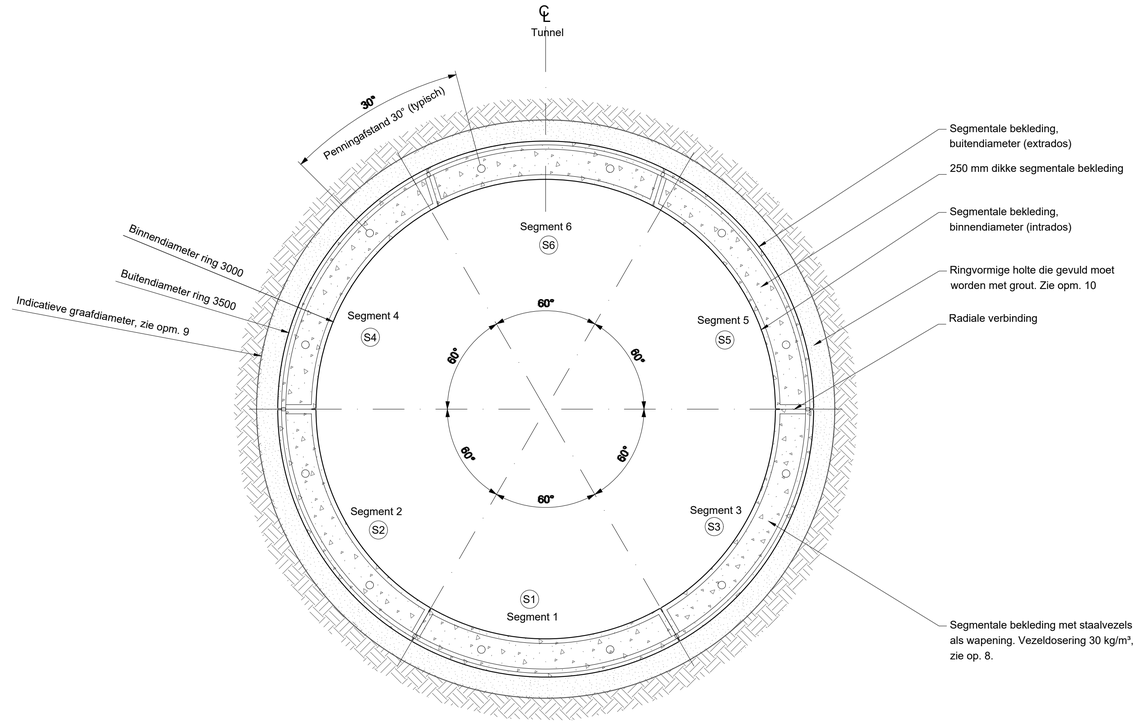
Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV			
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110323	Rev:	01	Schaal:	1:2500
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110323	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V. AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.



1 0324 TYPISCHE DOORSNEDE VOOR EEN DUWBUISTUNNEL

1:20



2 0324 TYPISCHE DOORSNEDE VOOR EEN TUNNEL MET SEGMENTALE BEKLEDING

1:20

OPMERKINGEN VERVOLG:

11. IN HET PERMANENTE GEVAL WORDT ERVAN UITGEGAAN DAT DE RINGVORMIGE HOLTE OF OPENING TUSSEN DE BEKLEDING EN HET GRAAFPROFIEL VAN DE TUNNEL VOLLEDIG ZAL WORDEN OPGEVULD MET CEMENTMORTEL.
12. DE ONTWERP LEVENSDUUR VAN DE TUNNEL IS 30 JAAR VOLGENS HET FEED-BASISONTWERP.
13. DE ELEMENTDIKTES, WAPENINGSPERCENTAGES EN STAALVEZELHOEVEELHEDEN ZIJN GEBASEERD OP HET FEED-BASISONTWERP EN MOETEN WORDEN GEVERIFIEERD EN INDIEN NODIG WORDEN HERZIEN DOOR DE EPC-CONTRACTOR TIJDENS HET GEDETAILLEERDE ONTWERP.

OPMERKINGEN

1. NIET GEBRUIKT.
2. ALLE AFMETINGEN ZIJN IN MILLIMETERS (MM), TENZIJ ANDERS VERMELD.
3. ALLE HOEKEN ZIJN IN GRADEN (0°-360°).
4. DEZE TEKENING MOET WORDEN GELEZEN IN COMBINATIE MET DE TEKENINGEN MET DE NUMMERS NL-ARM-040-ARU1-110325, NL-ARM-040-ARU1-110326 EN NL-ARM-040-ARU1-110327.
5. DE TUNNELRUIMTEVETERING IS GEDEFINIEERD REKENING HOUDEND MET DE GEZONDHEIDS- EN VEILIGHEIDSEISEN, DE CONSTRUCTIEBAREHEID EN DE OPERATIONELE VEREISTEN, IN OVEREENSTEMMING MET DE NORM PREN 16191:2023(E) EN HET FEED-BASISONTWERPRAPPORT NL-ARM-040-ARU1-110301.
6. NIET GEBRUIKT.
7. DE VOORGESPANNEN BETONNEN DUWBUISDIKTE MOET 300 MM ZIJN. HET PERCENTAGE WAPENING MOET MINIMAAL 0,25% ZIJN (STAALWAPENINGSHOEVEELHEID 20 KG/M³).
8. DE VOORGESPANNEN BETONNEN SEGMENTALE BEKLEDINGDIKTE MOET 250 MM ZIJN. DE STAALVEZELDOSERING MOET MINIMAAL 30 KG/M³ ZIJN. RAADPLEEG VOOR DE SCHEURWAPENING HET FEED-BASISONTWERPRAPPORT NL-ARM-040-ARU1-110306, SECTIE 5.
9. DE DIKTE VAN DE RINGVORMIGE HOLTE OF OPENING TUSSEN DE BEKLEDING EN HET GRAAFPROFIEL IS INDICATIEF. DE WERKELIJKE DIKTE MOET WORDEN BEPAALD ZODRA DE TUNNELBOORMACHINE (TBM) IS GESELECTEERD EN REKENING HOUDEND MET HET GEDETAILLEERDE ONTWERP VAN DE DUWBUIZEN EN SEGMENTEN DOOR DE EPC-CONTRACTOR.
10. TIJDENS DE TUNNELBOUW MOET DE RINGVORMIGE HOLTE OF OPENING TUSSEN DE BEKLEDING EN HET GRAAFPROFIEL VOLLEDIG WORDEN OPGEVULD MET EEN BENTONIETGEBASEERD SMEERMIDDEL (DUWBUIS) OF CEMENTITIEUS GROUT (SEGMENTALE BEKLEDING), OF SOORTGELIJK RESPECTIEVELIJK. BIJ DUWBUISVERPLAATSING MOET DE RINGVORMIGE HOLTE VOLLEDIG WORDEN OPGEVULD MET CEMENTITIEUS GROUT NA VOLTOOIING VAN DE DUWBUISVERPLAATSING.

Scale Bar 1:20 @ A1

0m 400mm 800mm 1.2m 1.6m 2m

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	14/08/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	06/06/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

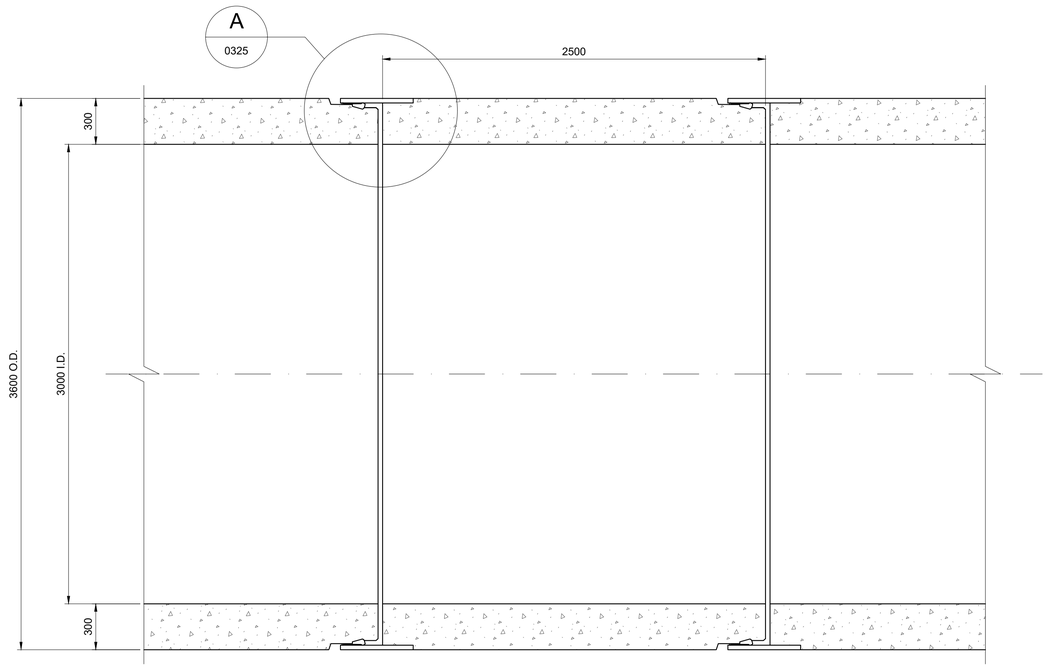
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

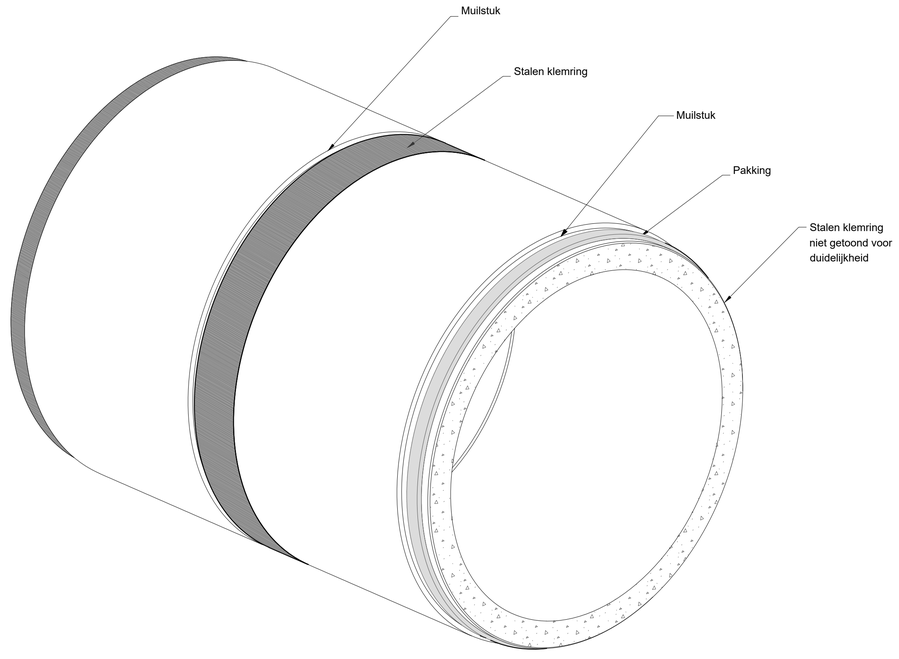
Tunnel FEED - Tunnel
Dwarsdoorsnede

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110324		Rev:	01	Schaal:	1:20
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110324		Formaat:	A1	Folio:	1 of 1

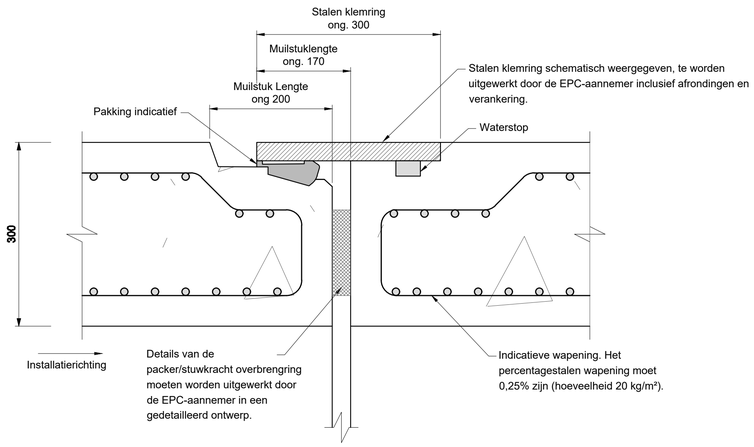
THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.



2 0325 INSTALLATIEPIJP - LANGSDOORSNEDE
1:20



1 0325 INSTALLATIEPIJP - ISOMETRIE
NTS



A 0325 DETAIL - INSTALLATIEPIJP - VERBINDING
1:5

Scale Bar 1:5 @ A1
0m 100mm 200mm 300mm 400mm 500mm

Scale Bar 1:20 @ A1
0m 400mm 800mm 1.2m 1.6m 2m

NOTES:
1. NIET GEBRUIKT.
2. ALLE AFMETINGEN ZIJN IN MILLIMETERS (MM), TENZIJ ANDERS VERMELD.
3. DEZE TEKENING MOET SAMEN MET TEKENINGNUMMER NL-ARM-040-ARU1-110324 WORDEN BEKEKEN.
4. PREFAB BETONNEN INSTALLATIEPIJP, MINIMAAL KLASSE C50/60.
5. VOORGEGOTEN BETONNEN PIJP MOET VOLDOEN AAN DE EUROCODE EC2, EN 1916:2002 EN NEN-EN 206 NORMEN.
6. HET PERCENTAGE WAPENING MOET 0,25% ZIJN (20KG/M³)
7. STAALSTAVEN VOOR WAPENING, MINIMAAL KWALITEIT B500.
8. DE LENGTE VAN DE INSTALLATIEPIJP WORDT INDICATIEF AANGEGEVEN EN MOET IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN BEVESTIGD.
9. HET DETAIL VAN DE VERBINDING TUSSEN DE INSTALLATIEPIJPDELEN WORDT INDICATIEF GETOOND EN DE DETAILS EN AFMETINGEN MOETEN IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN BEVESTIGD.
10. DE POSITIE EN HOEVEELHEID VAN DE MORTEL/BENTONIET GATEN EN PLUGGEN MOETEN IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN BEPAALD DOOR EEN AANNEMER OF SEGMENTENFABRIKANT.
11. DE SPECIFICATIE VOOR DE MORTEL/BENTONIET VOOR DE INSTALLATIEPIJP MOET IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN ONTWIKKELD DOOR DE AANNEMER.
12. DE MINIMALE BLOOTSTELLINGSKLASSE VOLGENS NEN-EN 206 MOET XS2 + XC2 + XA2 ZIJN. EXTRA EISEN MET BETREKKING TOT OPSLAG MOETEN WORDEN BEPAALD DOOR DE EPC-AANNEMER, INCLUSIEF MOGELIJKE VRIES-/DOOIEISEN.

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	14/08/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	06/06/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

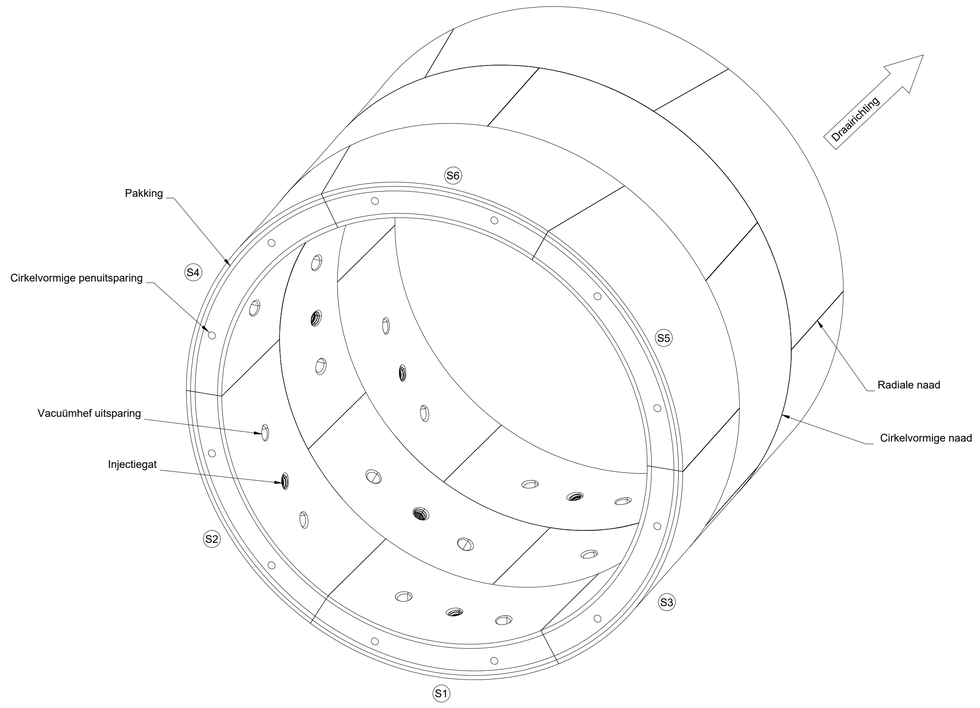
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

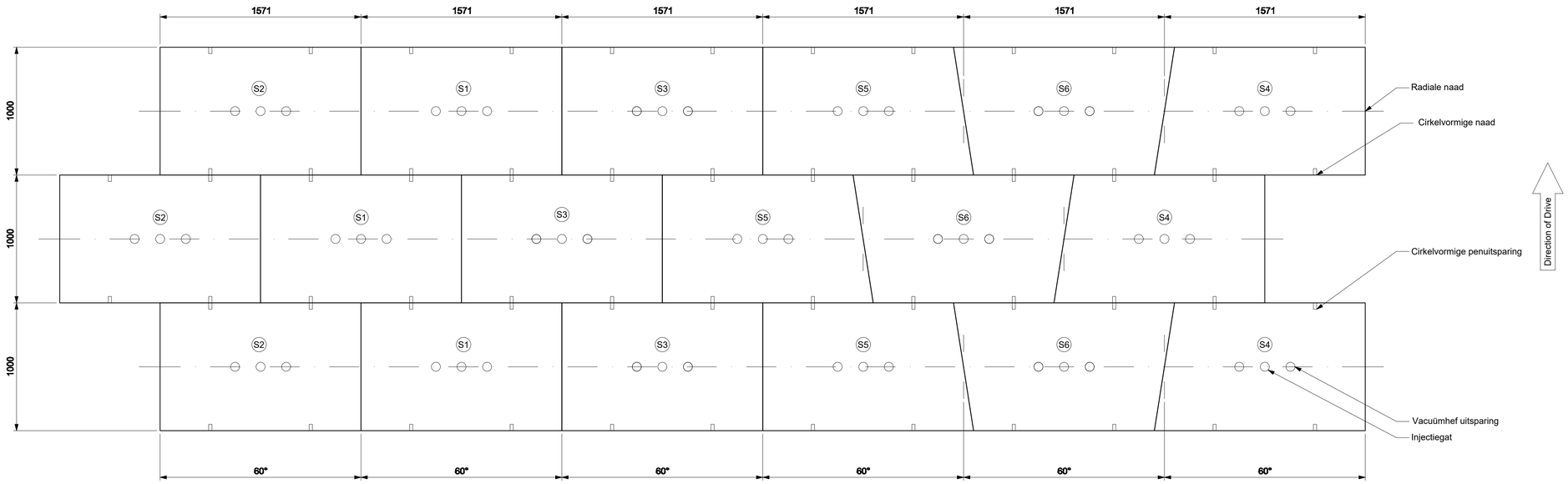
Tunnel FEED - Tunnel
Installatiepijp

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110325	Rev:	01	Schaal:	1:5, 20	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110325	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V. AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.



- 0326 ISOMETRIE
NTS



1 0326 INTERNE ONTWIKKELING V.H. OPPERVLAK VAN DE RING
1:20

Scale Bar 1:20 @ A1
0m 400mm 800mm 1.2m 1.6m 2m

OPMERKINGEN:
1. NIET GEBRUIKT.
2. ALLE AFMETINGEN ZIJN IN MILLIMETERS (MM), TENZIJ ANDERS VERMELD.
3. ALLE HOEKEN ZIJN IN GRADEN (0°-360°).
4. DEZE TEKENING MOET WORDEN GELEZEN IN COMBINATIE MET DE TEKENINGEN MET DE NUMMERS NL-ARM-040-ARU1-110324 EN NL-ARM-040-ARU1-110327.
5. DE BEKLEDINGCONFIGURATIE KAN WORDEN AANGEPAST IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP.
6. VOORGESPANNEN BETON, KLASSE MINIMAAL C50/60.
7. VOORGESPANNEN BETONNEN SEGMENTEN MOETEN VOLDOEN AAN EUROCODE EC2, EN 1916:2002 EN NEN-EN 206-NORMEN.
8. DE MINIMALE KWALITEIT VAN DE SCHEURWAPENING MOET KWALITEIT B500 ZIJN. RAADPLEEG VOOR DE HOEVEELHEDEN SCHEURWAPENING HET FEED-BASISONTWERPRAPPORT NL-ARM-040-ARU1-110306, SECTIE 5.
9. DE STAALVEZELDOSERING MOET 30 KG/M³ ZIJN.
10. CONNECTOREN, GROUTVOEGEN EN RANDDETAILS WORDEN NIET GETOOND VOOR DUIDELIJKHEID OVER DE GEOMETRIE VAN DE VERBINDING EN DE AFMETINGEN VAN DE SEGMENTEN/RINGEN. DEZE ELEMENTEN MOETEN IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN GEDEFINIEERD.
11. DE DRAAICIRKEL, OFFSETS, STRAKKERE CORRECTIE EN AFMETINGEN VAN DE TAPS TOELOPENDE RINGEN MOETEN IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP WORDEN GEDEFINIEERD.
12. DE VOORSTE EN ACHTERSTE HOEKEN VERWIJZEN NAAR DE CIRKELVORMIGE VLAKKEN VAN DE SEGMENTEN DIE RESPECTIEVELIJK NAAR EN VAN DE VOORTGANGSRICHTING ZIJN GERICHT.
13. DE ONTWIKKELDE AANZICHTEN DIE IN DEZE TEKENING WORDEN GEPRESENTEERD, BEVINDEN ZICH IN HET MIDDEN VANHET SEGMENT.
14. DE MINIMALE BLOOTSTELLINGSKLASSE VOLGENS NEN-EN 206 MOET XS2 + XC2 + XA2 ZIJN. AANVULLENDE EISEN MET BETREKKING TOT OPSLAG MOETEN WORDEN BEPAALD DOOR DE EPC-CONTRACTOR, INCLUSIEF POTENTIËLE BEVRIEZING/DOOI-EISEN

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	14/08/2024		UITGEGEVEN VOOR ONTWERP			
00	06/06/2024		UITGEGEVEN VOOR REVIEW			

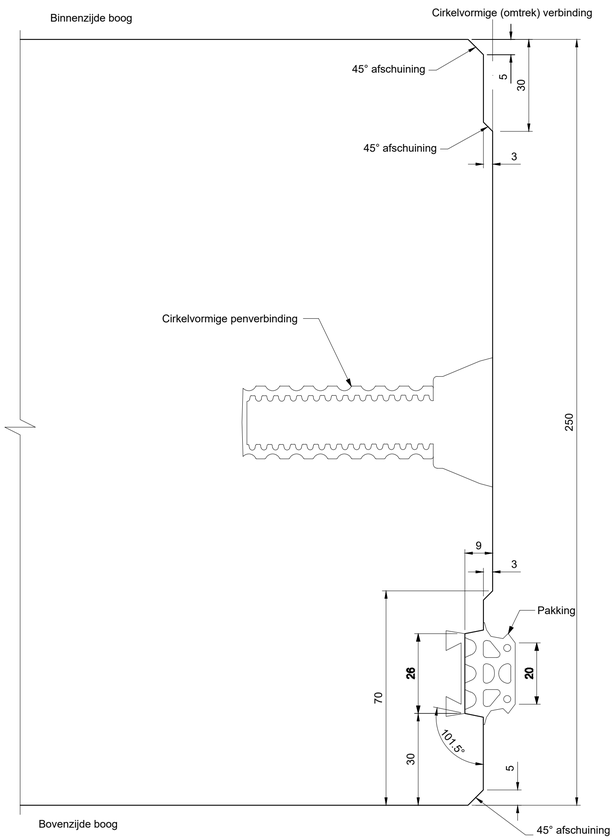
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

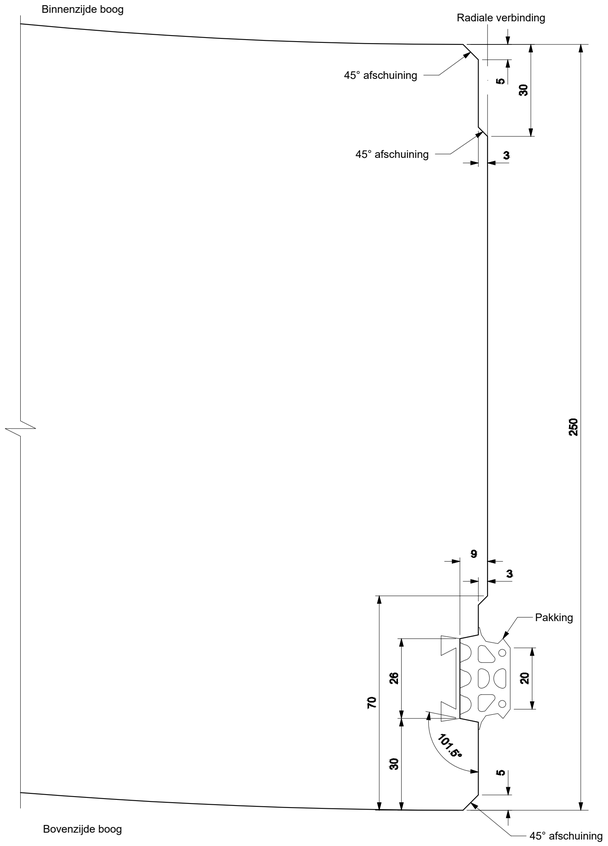
Tunnel FEED - Tunnel
Segmentale tunnelbekleding - Ringopstelling

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV					
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110326		Rev:	01	Schaal:	1:20	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110326		Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

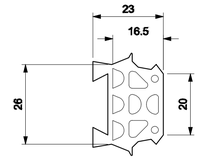
THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY, OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT.



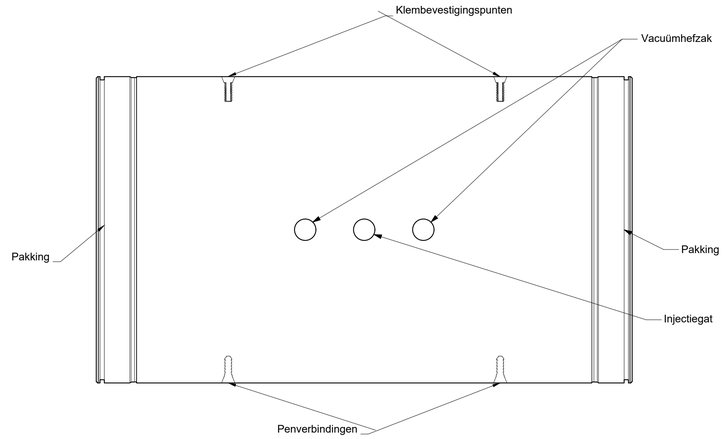
1 0327 CIRKELVORMIGE VERBINDING
1:1



2 0327 RADIALE VERBINDING DETAIL
1:1



3 0327 PAKKING DETAIL
1:1



4 0327 SEGMENTALE DOORSNEDE
1:10

OPMERKINGEN VERVOLG:

12. UITRICHTINGSLIJN EN NIVEAUTOLERANTIES ZOALS GEMETEN NAAR DE AS-BUILT TUNNELMIDDENLIJN ZULLEN ALS VOLGT ZIJN:
    a. ±35MM MAXIMALE AFWIJKING VAN DE THEORETISCHE MIDDENLIJN (ABSOLUUT)
    b. ±5MM MAXIMALE AFWIJKING VAN DE THEORETISCHE MIDDENLIJN OVER EEN GEZELLE VAN 10M TUNNEL (RELATIEVE GRADIENT)
    c. MONTAGETOLERANTIES GEMETEN TUSSEN DE INTRADOS VAN AANSLUITENDE SEGMENTEN NA MONTAGE ZULLEN ALS VOLGT ZIJN: ±5MM LIPTOLERANTIE OP DE RADIALE VERBINDING ±10MM STAPTOLERANTIE OP DE CIRCUMFERENTIËLE VERBINDING (RING-NAAR-RING)

Scale Bar 1:1 @ A1
0m 20mm 40mm 60mm 80mm 100m

Scale Bar 1:10 @ A1
0m 200mm 400mm 600mm 800mm 1m

OPMERKINGEN:

1. NIET GEBRUIKT.
2. ALLE AFMETINGEN ZIJN IN MILLIMETERS (mm), TENZIJ ANDERS VERMELD.
3. DEZE TEKENING MOET WORDEN GELEZEN IN COMBINATIE MET DE TEKENINGENNUMMERS NL-ARM-040-ARU1-110324 EN NL-ARM-040-ARU1-110326.
4. VOORSPANBETON KLASSERING MINIMAAL C50/60.
5. VOORSPANBETON MOET VOLDOEN AAN DE EUROCODE EC2, EN 1916:2002 EN NEN-EN 206 NORMEN.
6. DE MINIMALE GRAAD VAN BARSTWERENDE WAPENING MOET GRAAD B500 ZIJN. VOOR DE HOEVEELHEDEN BARSTWERENDE WAPENING RAADPLEEG HET FEED DESIGN REPORT NL-ARM-040-ARU1-110306 SECtie 5.
7. DE STAALVEZELDOSERING MOET 30 kg/m³ BEDRAGEN.
8. PAKKING EN PAKKINGGROEF AFMETINGEN INDICATIEF. DE AANBEVELEN PAKKING IS GEDEFINIEERD OM 200% VAN DE MAXIMALE WATERDRUK (ONTWERPDRUK BENADERINGSWIJS 5,0 BAR) IN DE VOERING TE BESTAAN BIJ DE MAXIMAAL SPECIFICEERDE PAKKINGDIFFERENTIAALKLEP VAN 5 MM EN DRAAGVERSCHUIVING VAN 10 MM.
9. CIRCUMFERENTIËLE PENVERBINDINGEN EN CIRCUMFERENTIËLE SOKKETS WORDEN SLECHTS INDICATIEF GETOOND.
10. INJECTIEGATTEN WORDEN SLECHTS INDICATIEF GETOOND EN MOETEN WORDEN GEDEFINIEERD IN HET GEDETAILLEERDE ONTWERP.
11. SEGMENTTOLERANTIES ZIJN AANGENOMEN IN OVEREENSTEMMING MET DE BTS-SPECIFICATIE VOOR TUNNELEN, 4E EDITIE.
12. MINIMALE BLOOTSTELLINGSKLASSE AAN NEN-EN 206 MOET XS2 + XC2 + XA2 ZIJN. AANVULLENDE EISEN MET BETREKKING TOT OPSLAG MOETEN WORDEN BEPAALD DOOR DE EPC-AANNEMER, MET INBEGRIP VAN EVENTUELE VRIES/ONTDOUW-EISEN.

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	14/08/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	06/06/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

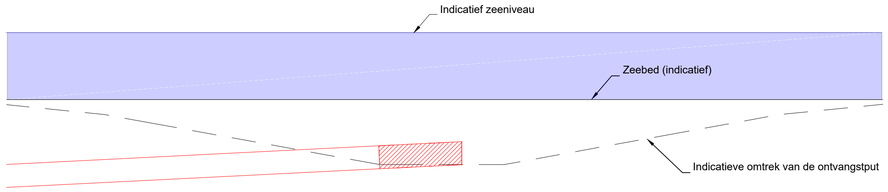
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Tunnel FEED - Tunnel
Segmentale Voering - Ringopstelling

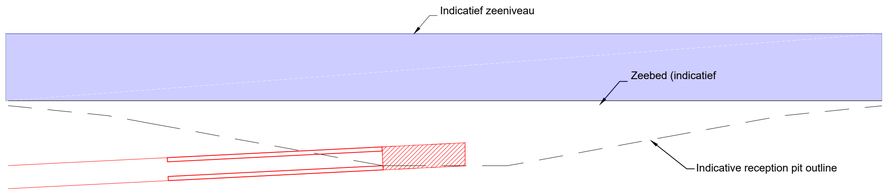
Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110327	Rev:	01	Schaal:	1:1, 10	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110327	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V. AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT



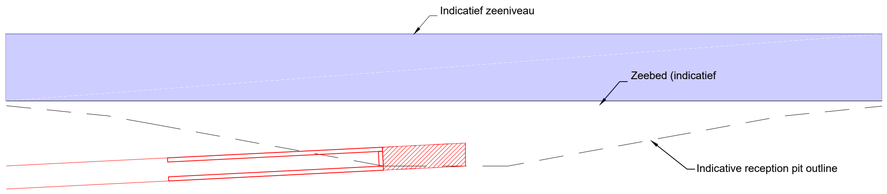
1 - Schaal 1:500

FASE 1 - VOLTOOIING VAN DE TUNNELBORING



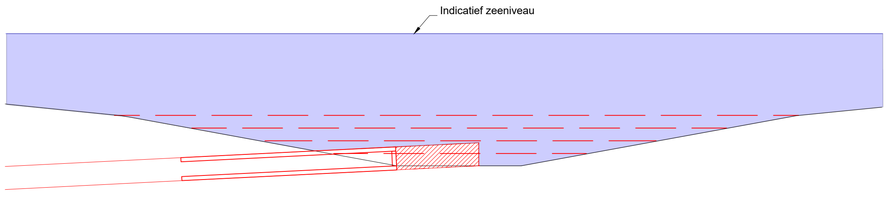
2 - Schaal 1:500

FASE 2 - VERWIJDEREN VAN INTERNE TBM-ONDERDELEN EN INSTALLATIE VAN SECUNDAIRE VOERING



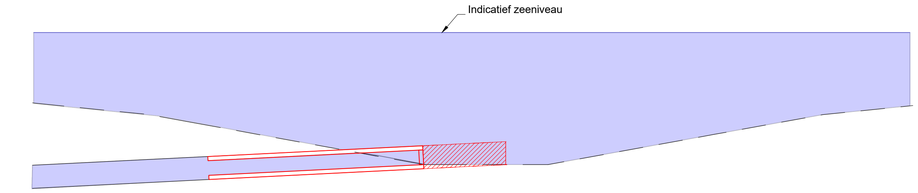
3 - Schaal 1:500

FASE 2 - VERWIJDEREN VAN INTERNE TBM-ONDERDELEN EN INSTALLATIE VAN SECUNDAIRE VOERING



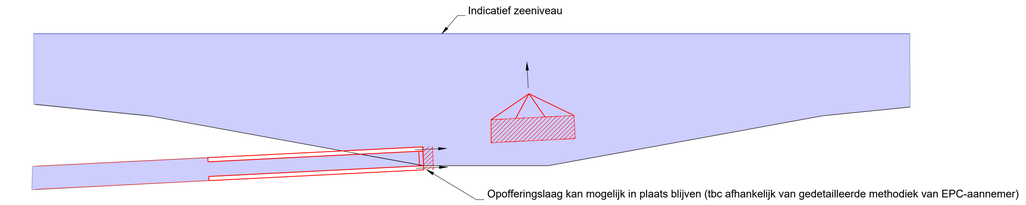
4 - Schaal 1:500

FASE 4 - UITGRAVEN VAN ONTVANGSTPUT DOOR BAGGEREN



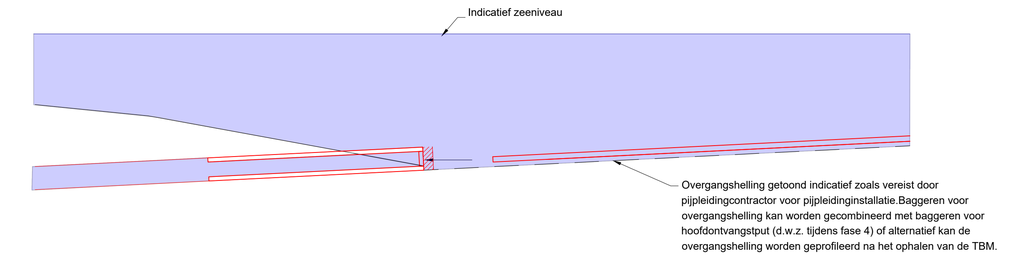
5 - Schaal 1:500

FASE 5 - OVERSTROMEN VAN TUNNEL MET GEBRUIK VAN KLEPPEN OP TBM (DUIKERSASSISTENTIE VEREIST)



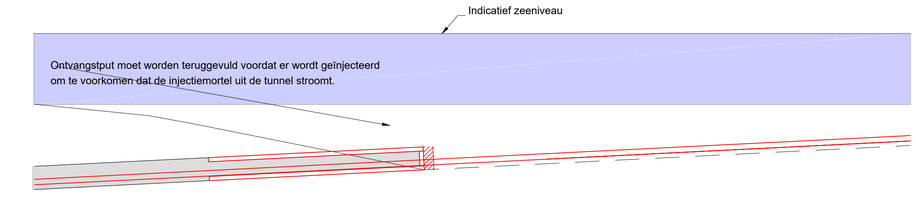
6 - Schaal 1:500

FASE 6 - SCHEIDEN VAN TBM MET GEBRUIK VAN JACKING-SYSTEEM (DUIKERSASSISTENTIE VEREIST) TBM TERUGGEHAAALD MET GEBRUIK VAN EEN OFFSHORE VAARTUIG.



7 - Schaal 1:500

FASE 7 - PIJPLEIDING INSTALLATIE



8 - Schaal 1:500

FASE 8 - TERUGVULLEN VAN ONTVANGSTPUT EN INJECTEREN VAN TUNNEL

OPMERKINGEN:

1. DEZE TEKENING TOONT EEN INDICATIEVE TBM-OPHAALVOLGORDE VOOR DE INTERNE VERSTERKINGSOPTIE ZOALS GETOOND OP DE ONTVANGSTPUTTEKENING NL-ARM-040-ARU1-110329.
2. VOOR TUNNELUITRICHTING RAADPLEEG NL-ARM-040-ARU1-110323.
3. VOOR ONTVANGSTPUT RAADPLEEG NL-ARM-040-ARU1-110329.
4. VOOR DETAILS VAN PIPELINE-INSTALLATIE RAADPLEEG PIPELINE SHORE LANDING METHOD STATEMENT (NL-ARM-050-PTC1-113852).
5. VOOR DETAILS VAN TUNNEL INFILL GROUTING RAADPLEEG LANDFALL CONSTRUCTION CONCEPT SELECTION TECHNICAL NOTE (NL-ARM-040-PTC1-114070).
6. AFMETINGEN EN NIVEAUS ZIJN SLECHTS INDICATIEF.

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	14/08/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	21/06/2024	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

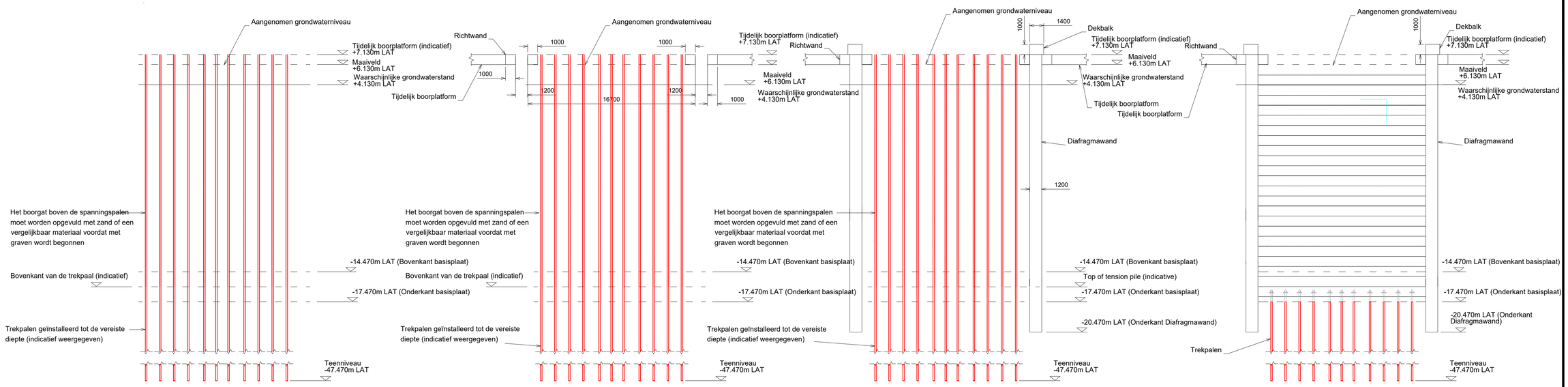
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Ontvangstput
Bouwvolgorde

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV			
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110330	Rev:	01	Schaal:	1:500
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110330	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

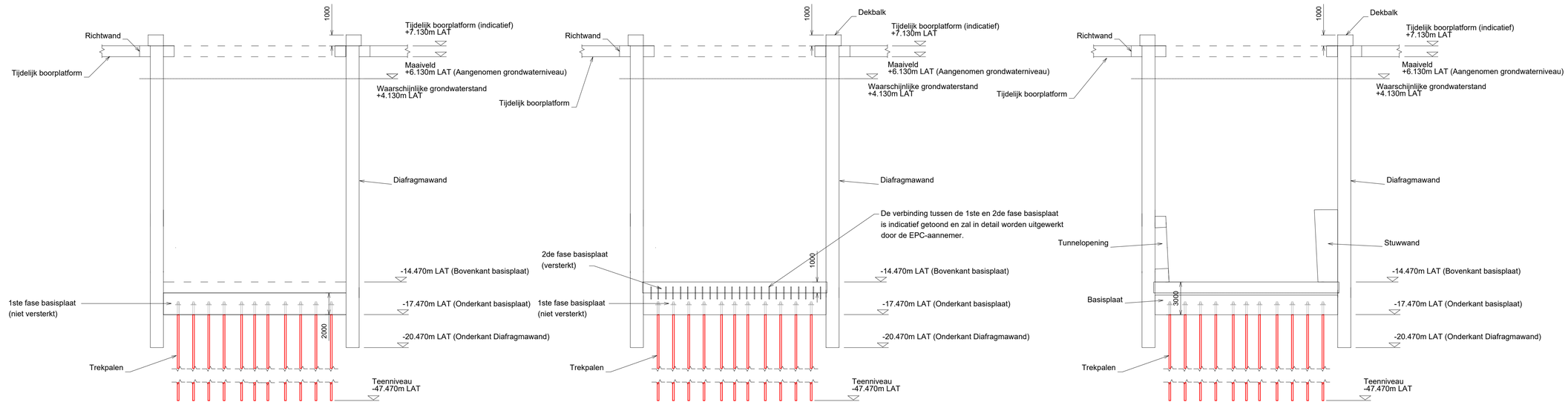


Fase 1 :
Constructie van trekpalen
(in natte omstandigheden)

Fase 2 :
Constructie van een tijdelijk platform op palen
en geleidingswanden

Fase 3 :
Constructie van een diafragmawand (in natte
omstandigheden) en een dekbalk

Fase 4:
Uitscheppen van de schacht (in natte omstandigheden) tot aan de
bodem van de schacht en installeren van verbindingselementen
(bijv. stalen platen) aan de bovenkant van de trekpalen



Fase 5:
Storten 1ste fase van de basisplaat (onbewapend)
in natte omstandigheden

Fase 6:
Storten 2de fase van de basisplaat (bewapend)
in het droge

Stage 7:
Bouw tunnelmond en drukwand

Opmerkingen:

1. Alle afmetingen zijn in mm, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in meters ten opzichte van LAT, tenzij anders vermeld.
3. Diktes zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtontwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 is uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtontwerp en het ontwikkelen van een geschikt ontwerp voor gedetailleerd ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, ref NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. Voor specificatie-eisen, zie Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, ref NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 5 10 Metres
Scale 1:200

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/09/24		UITGEGEVEN VOOR ONTWERP			
00	06/06/24		UITGEGEVEN VOOR REVIEW			

ARAMIS | ARUP | Petrofac

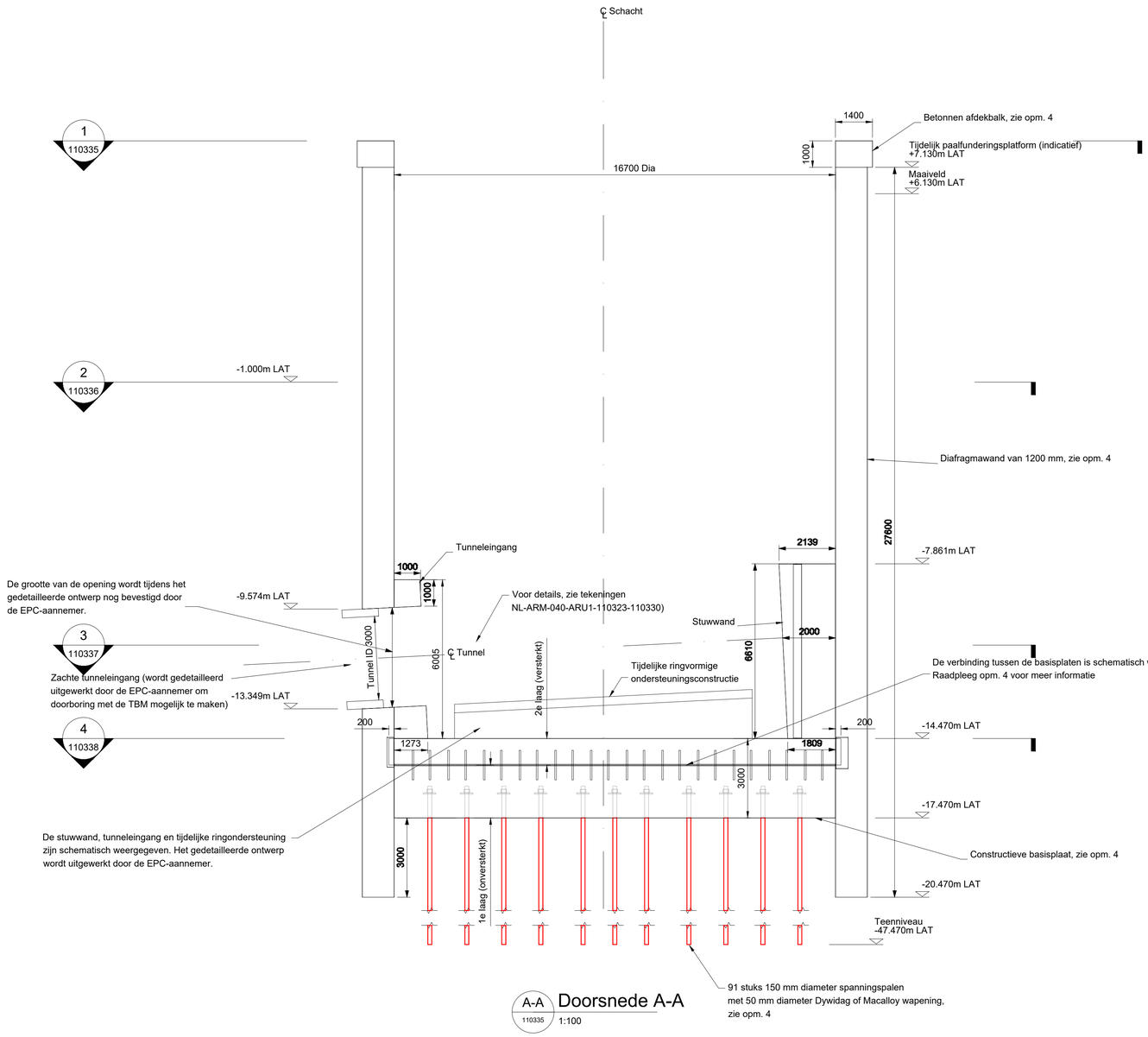
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Schacht
Bouwvolgorde

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110332	Rev:	01	Schaal:	1:200	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110332	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

P01.01

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTAL ENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT



A-A 110335 **Doorsnede A-A**

1:100

Opmerkingen

1. Alle afmetingen zijn in mm, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in meters ten opzichte van LAT, tenzij anders vermeld.
3. Diktes zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtontwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 is uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtontwerp en het ontwikkelen van een geschikt ontwerp voor gedetailleerd ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, ref NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. De afdekkingsbalk wordt opgetild boven het tijdelijke paalplatform om te dienen als valbeveiliging.
7. Voor specificatie-eisen, zie Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, ref NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 0.5 1 1.5 2 3 4 5 Metres

Scale 1:100

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/09/24	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	06/06/24	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

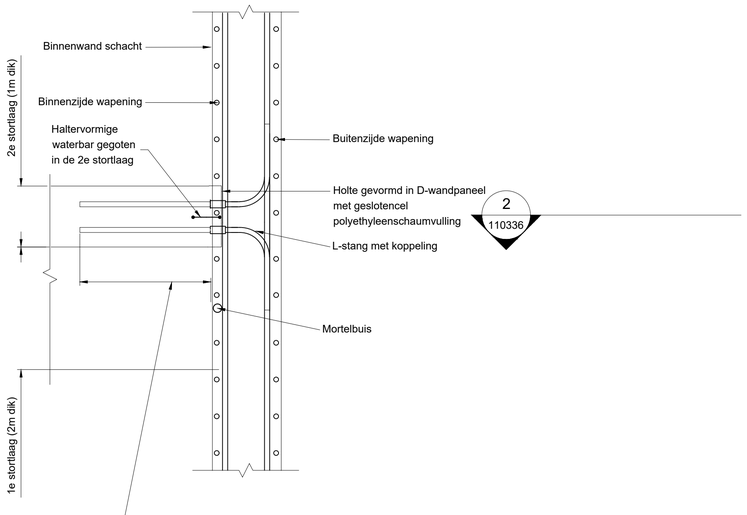
ARAMIS ARUP Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Schacht
Doorsnede A-A

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV					
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110333	Rev:	01	Schaal:	1:100		
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-040-ARU1-110333	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1		

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

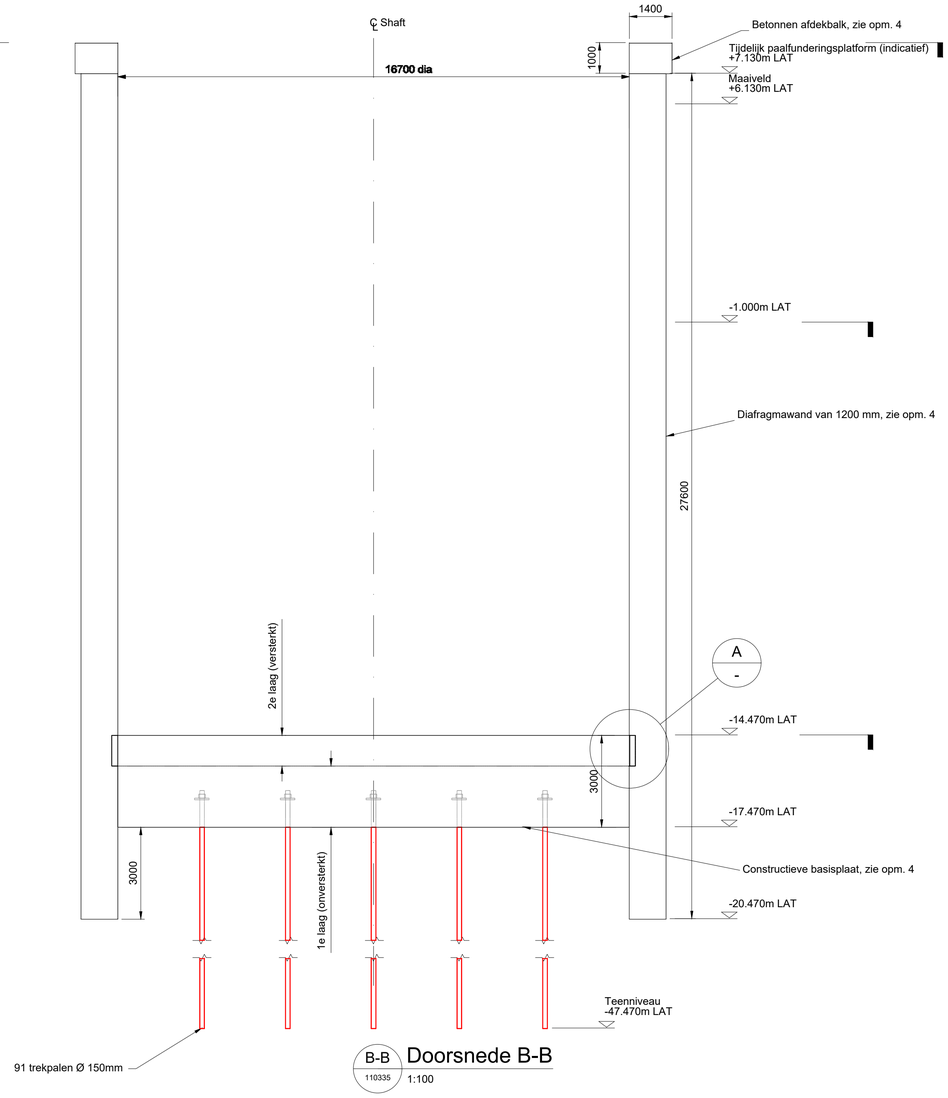


1 / 110335

2 / 110336

A / - Detail A (indicatief) 1:50

4 / 110338



B-B / 110335 Doorsnede B-B 1:100

1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in LAT, tenzij anders vermeld.
3. Dikten zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtonderwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 zijn uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtonderwerp en het ontwikkelen van een passend ontwerp voor het gedetailleerde ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, referentie NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. De afdekbalk wordt boven het tijdelijke paalfunderingsplatform geplaatst om te dienen als bescherming tegen vallen
7. Voor specificatievereisten, zie de Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, referentie NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 0.5 1 1.5 2 3 4 5 Metres
Scale 1:100

0 0.5 1 1.5 2 2.5 Metres
Scale 1:50

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/08/24		UITGEGEVEN VOOR ONTWERP			
00	06/06/24		UITGEGEVEN VOOR REVIEW			

ARAMIS ARUP Petrofac

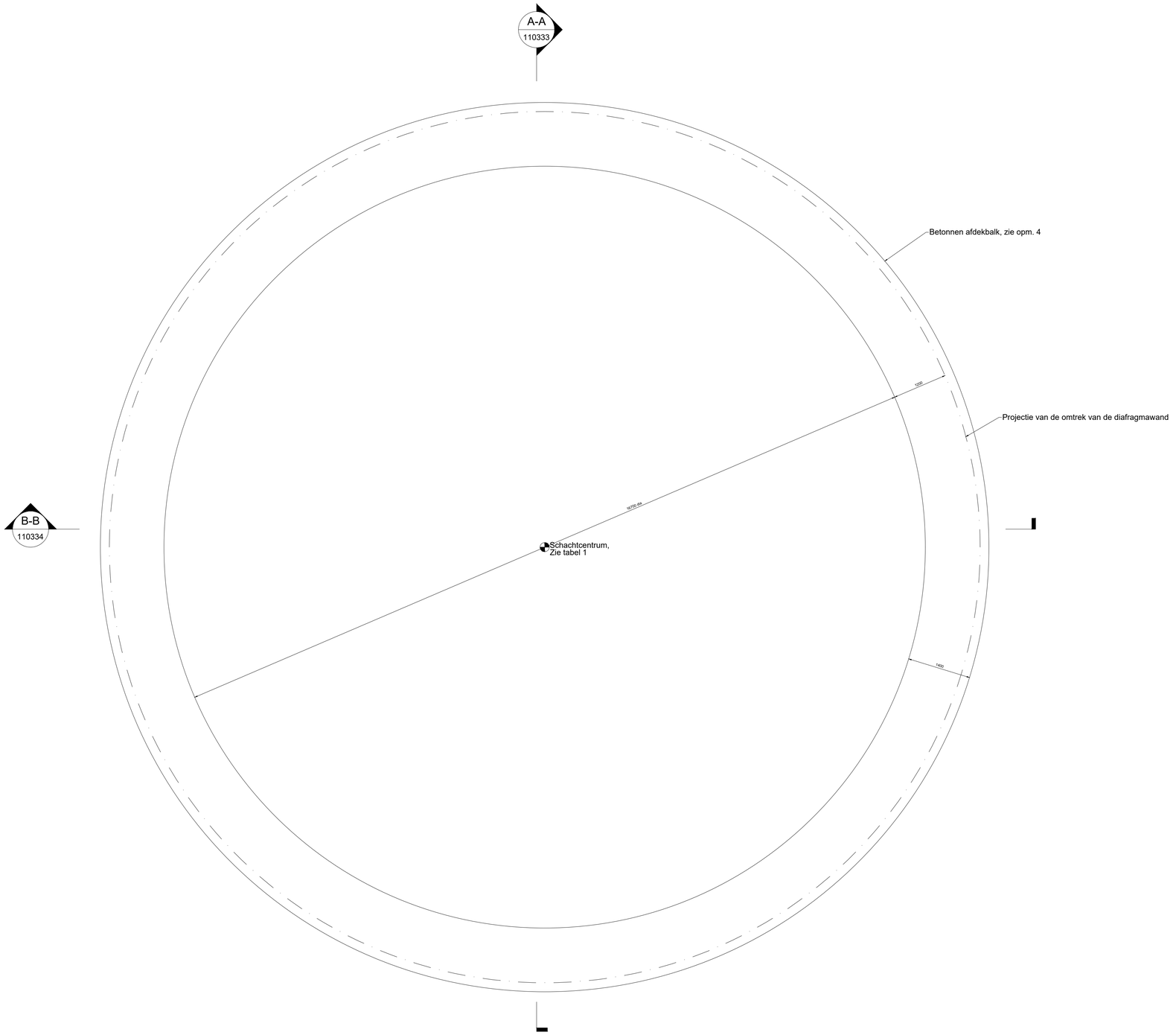
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Schacht
Doorsnede B-B

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110334	Rev:	01	Schaal:	1:100	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110334	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

Table 1: Shaftcentrum Coordinaten			
UTM Z31N ETRS 89		RD New	
Oosting	Noording	Oosting	Noording
570926.82	5759907.92	61965.96	444968.36



1 PLATTEGROND VAN DE SCHACHT OP NIVEAU +8.130M LAT
110333 Scale 1:50

1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in LAT, tenzij anders vermeld.
3. Dikten zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtonderwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 zijn uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtonderwerp en het ontwikkelen van een passend ontwerp voor het gedetailleerde ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, referentie NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. De afdekbalk wordt verhoogd boven het tijdelijke paalfunderingsplatform om te dienen als bescherming tegen vallen.
7. Voor specificatievereisten, zie de Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, referentie NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 0.5 1 1.5 2 2.5 Metres
Scale 1:50

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/09/24	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR ONTWERP	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	06/06/24	[redacted]	UITGEGEVEN VOOR REVIEW	[redacted]	[redacted]	[redacted]

ARAMIS ARUP Petrofac

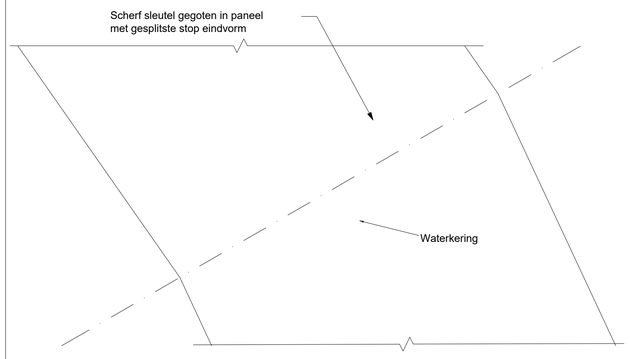
THIS DOCUMENT HAS BEEN GENERATED BY AN ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM. WHEN PRINTED IT IS CONSIDERED AS A FOR INFORMATION ONLY COPY. THE CONTROLLED COPY IS THE SCREEN VERSION AND IT IS THE HOLDER'S RESPONSIBILTY THAT HE/SHE HOLDS THE LATEST VALID VERSION

Project Aramis
Tunnel FEED
Shaft
Plan at +8.130 LAT

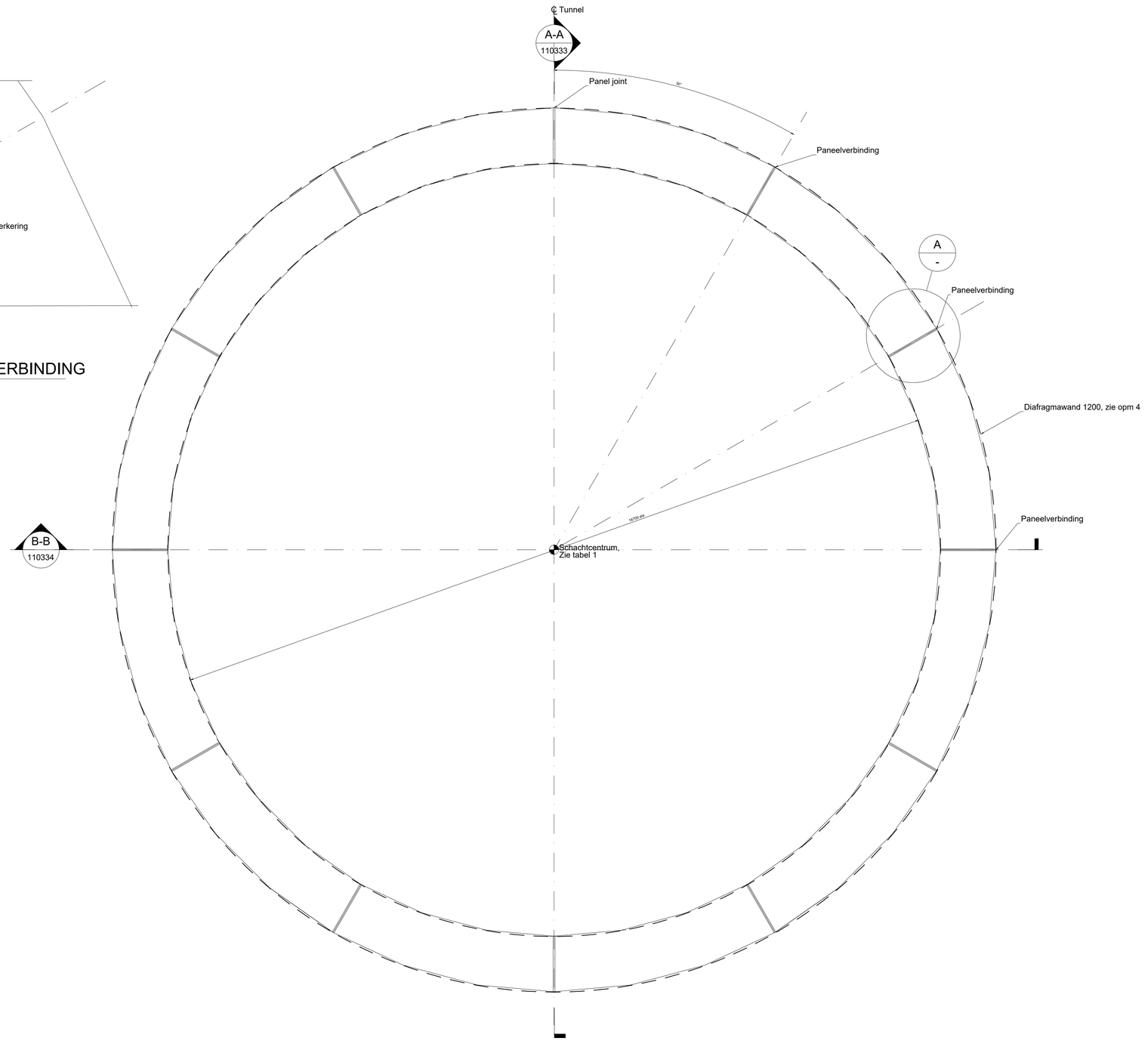
Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110335	Rev:	01	Schaal:	1:50	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110335	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

Table 1: Schachtcentrum Coordinaten			
UTM Z31N ETRS 89		RD New	
Oosting	Noording	Oosting	Noording
570926.82	5759907.92	61965.96	444968.36



A / - DETAIL PANEELVERBINDING
Schaal 1:10



2 / 110333 PLATTEGROND VAN DE SCHACHT OP -1.000M LAT
Schaal 1:50

1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in LAT, tenzij anders vermeld.
3. Dikten zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtonderwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 zijn uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtonderwerp en het ontwikkelen van een passend ontwerp voor het gedetailleerde ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, referentie NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. Voor specificatievereisten, zie de Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, referentie NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 0.5 1 1.5 2 2.5 Metres
Scale 1:50

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/09/24		UITGEGEVEN VOOR ONTWERP			
00	06/06/24		UITGEGEVEN VOOR REVIEW			

ARAMIS ARUP Petrofac

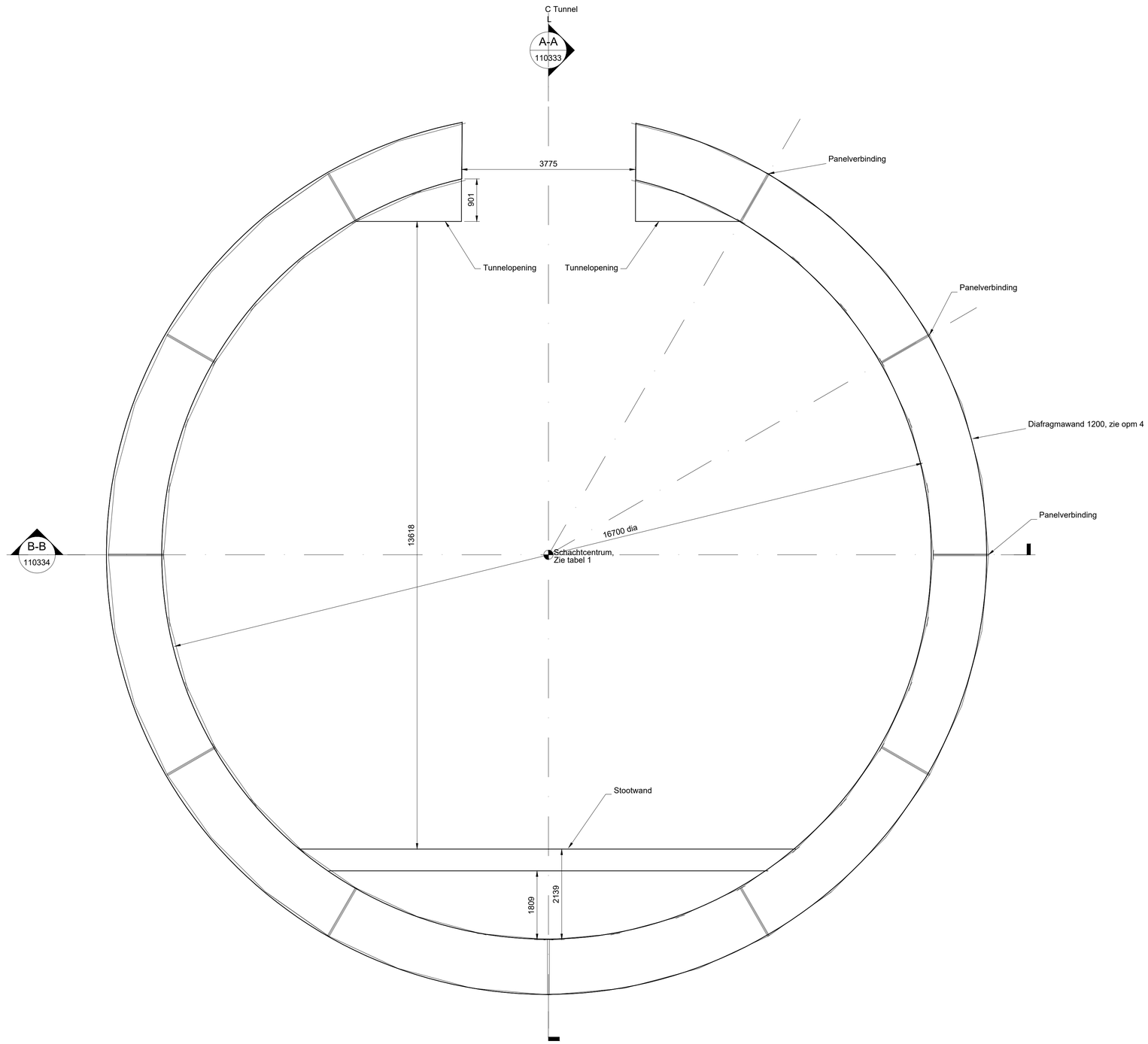
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Shaft
Plan at -1.000m LAT

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV					
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110336	Rev:	01	Schaal:	1:50		
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110336	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1		

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V. AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

Table 1: Schachtcentrum Coordinaten			
UTM Z31N ETRS 89		RD Nieuw	
Oosting	Noording	Oosting	Noording
570926.82	5759907.92	61965.96	444968.36



3 / 110333 PLATTEGROND SCHACHT BIJ DE TUNNELOPENING

Schaal 1:50

1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in LAT, tenzij anders vermeld.
3. Dikten zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtonderwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 zijn uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtonderwerp en het ontwikkelen van een passend ontwerp voor het gedetailleerde ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, referentie NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. Voor specificatievereisten, zie de Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, referentie NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 0.5 1 1.5 2 2.5 Metres

Scale 1:50

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/09/24		UITGEGEVEN VOOR ONTWERP			
00	06/06/24		UITGEGEVEN VOOR REVIEW			

ARAMIS ARUP Petrofac

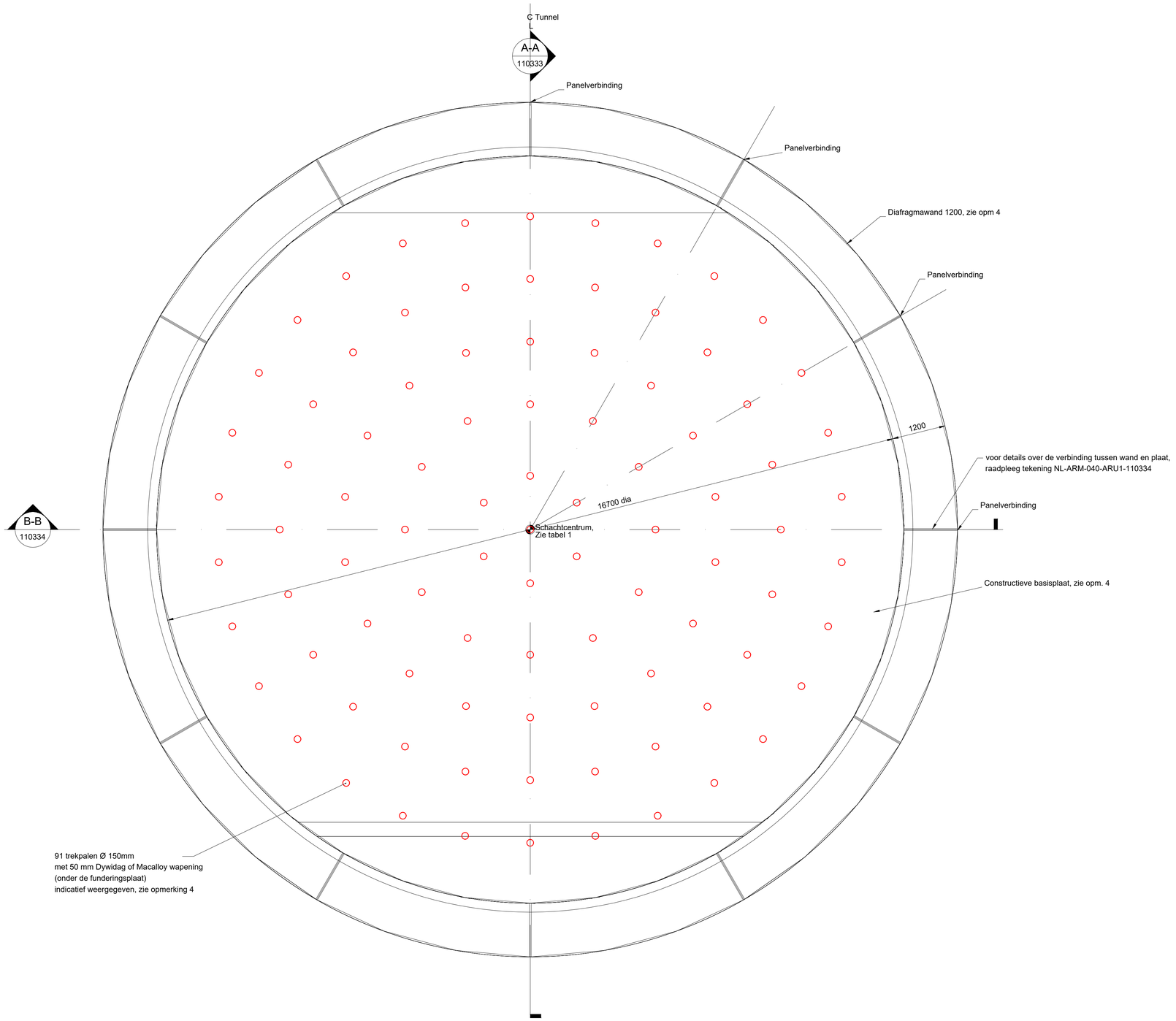
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Schacht
Plattegrond Schacht bij Tunnelopening

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV				
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110337	Rev:	01	Schaal:	1:50	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110337	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

Table 1: Schachtcentrum Coordinaten			
UTM Z31N ETRS 89		RD Nieuw	
Oosting	Noording	Oosting	Noording
570926.82	5759907.92	61965.96	444968.36



4 PLATTEGROND CONSTRUCTIEVE BASISPLAAT
110333 Schaal 1:50

1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders vermeld.
2. Alle niveaus zijn in LAT, tenzij anders vermeld.
3. Dikten zijn exclusief toleranties.
4. Het schachtonderwerp en de volgorde zoals gepresenteerd in de tekeningen NL-ARM-040-ARU1-110332 tot 110338 zijn uitsluitend ontwikkeld voor FEED-ontwerpdoeleinden. De EPC-aannemer is volledig verantwoordelijk voor het valideren van het schachtonderwerp en het ontwikkelen van een passend ontwerp voor het gedetailleerde ontwerp.
5. Voor commentaar met betrekking tot het FEED-ontwerp, zie het Tunnel FEED Design Report, referentie NL-ARM-040-ARU1-110306.
6. Voor specificatievereisten, zie de Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC, referentie NL-ARM-040-ARU1-110316.

0 0.5 1 1.5 2 2.5 Metres
Scale 1:50

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	04/09/24		UITGEGEVEN VOOR ONTWERP			
00	06/06/24		UITGEGEVEN VOOR REVIEW			

ARAMIS ARUP Petrofac

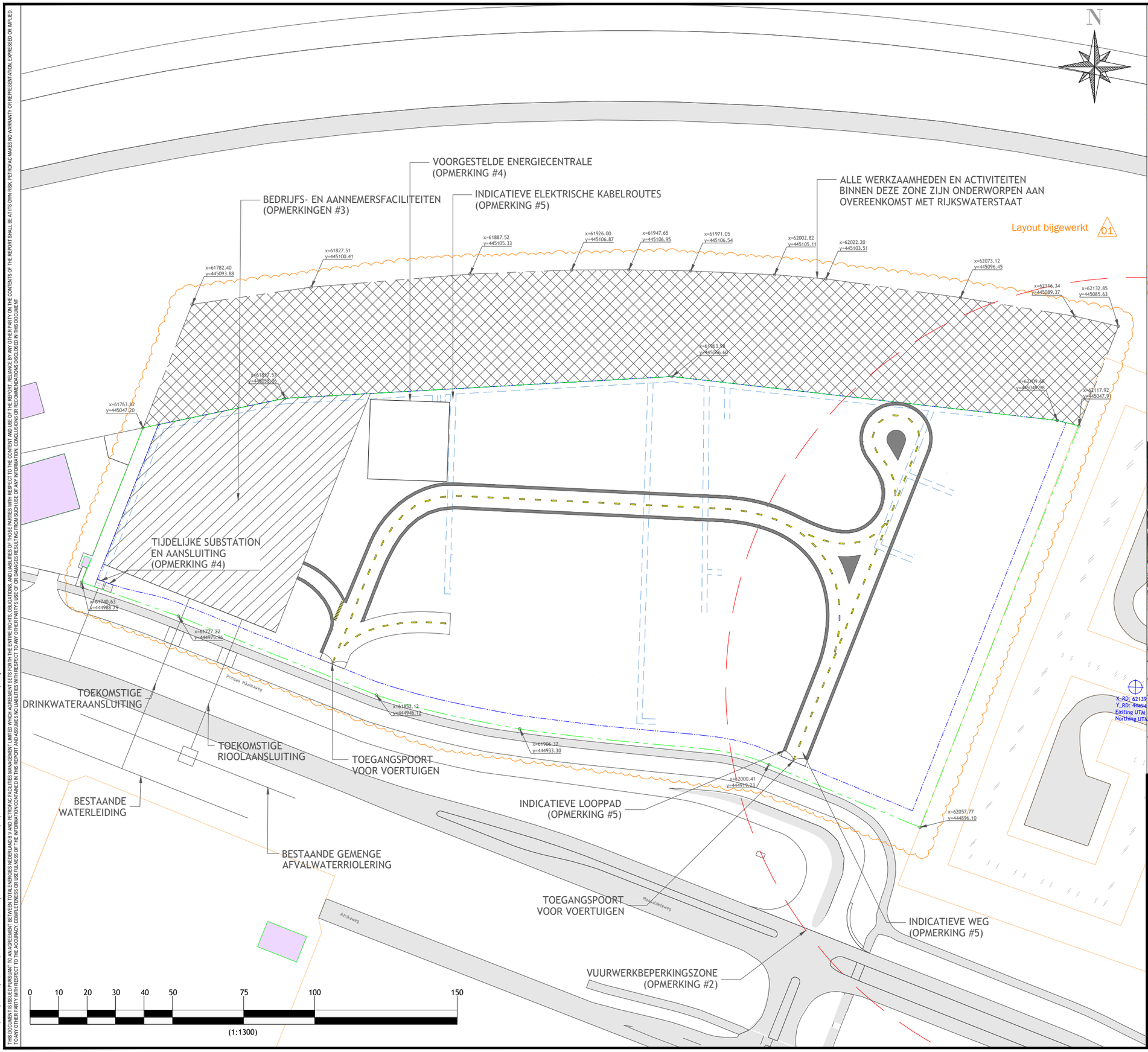
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Project Aramis
Tunnel FEED
Schacht
Plattegrond Constructieve Basisplaat

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV					
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110338		Rev:	01	Schaal:	1:50	
Aannemer Doc. N°:	NL-ARM-ARU1-110338		Formaat:	A1	Folio:	1 of 1	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

C:\Users\924067\Downloads\New Prodom download\NL-ARM-040-PTC1-110261\03\NL-ARM-040-PTC1-110261_03_IFD_20240816_02\2.dwg



OPMERKINGEN:

Opmerkingen bijgewerkt 01

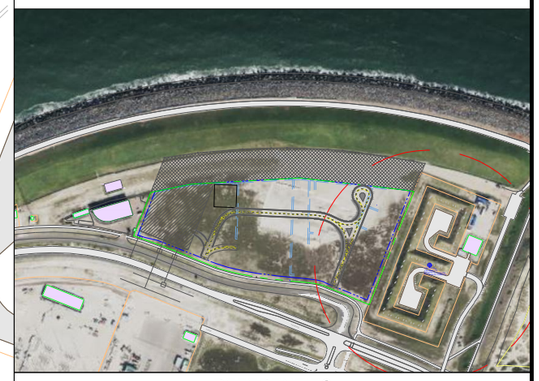
1. Alle afmetingen zijn in meters, tenzij anders aangegeven. Coördinatensysteem: Onshore - CRS Amersfoort / RD New (EPSG:28992).
2. Vuurwerkbeperkingszone NL-ARM-ARM1_ONPLN-CR_PORITS-000003. Binnen dit aangewezen gebied zijn geen permanente gebouwen en tijdelijke kantoren toegestaan.
3. Maximale omvang v.d. grond dat wordt voorzien v.d. faciliteiten v.h. bedrijf en de aannemer, incl. een tijdelijke controlekamer zoals beschreven in Ref.#3.
4. Stroomvoorziening en substations worden indicatief weergegeven. Substations bevinden zich buiten de bouwomheining.
5. Routes van elektr. kabels, wegen en paden worden indicatief weergegeven.
6. Bouwmaterieel en -faciliteiten worden indicatief weergegeven.
7. Infrastructuur interfacepunten worden indicatief weergegeven. Ref.#2

LEGENDA:

Legenda bijgewerkt 01

- Beschikbaar Perceel
- Bouwhek
- Vuurwerkbeperkingszone
- Schacht
- Indicatieve elektrische kabelgeleiding
- Indicatieve routegeleiding
- Bedrijfs- en aannemersfaciliteiten
- Zone afhankelijk van overeenstemming met Rijkswaterstaat

KEYPLAN:



REFERENTIES

NO.	DOCUMENT TITEL	DOCUMENTNUMMER
1	BOUWPLAATSINRICHTING GOEDKEURINGSNOTA	NL-ARM-040-PTC1-110262
2	KAVELVOORBEREIDING LAYOUT	NL-ARM-030-PTC1-110251
3	KANTOREN & FACILITEITEN - FUNCTIONELE BESCHRIJVING EN ARCHITECTONISCHE SPECIFICATIES	NL-ARM-020-PTC1-110264

REVISIES

Rev.	Datum	Status	Revisie Beschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	23/07/2024	IFD	Uitgegeven voor Design	MHO	EKR	DHA
00	31/05/2024	IFR	Uitgegeven voor Client Review	AME	EKR	DHA

ARAMIS PROJECT

Petrofac

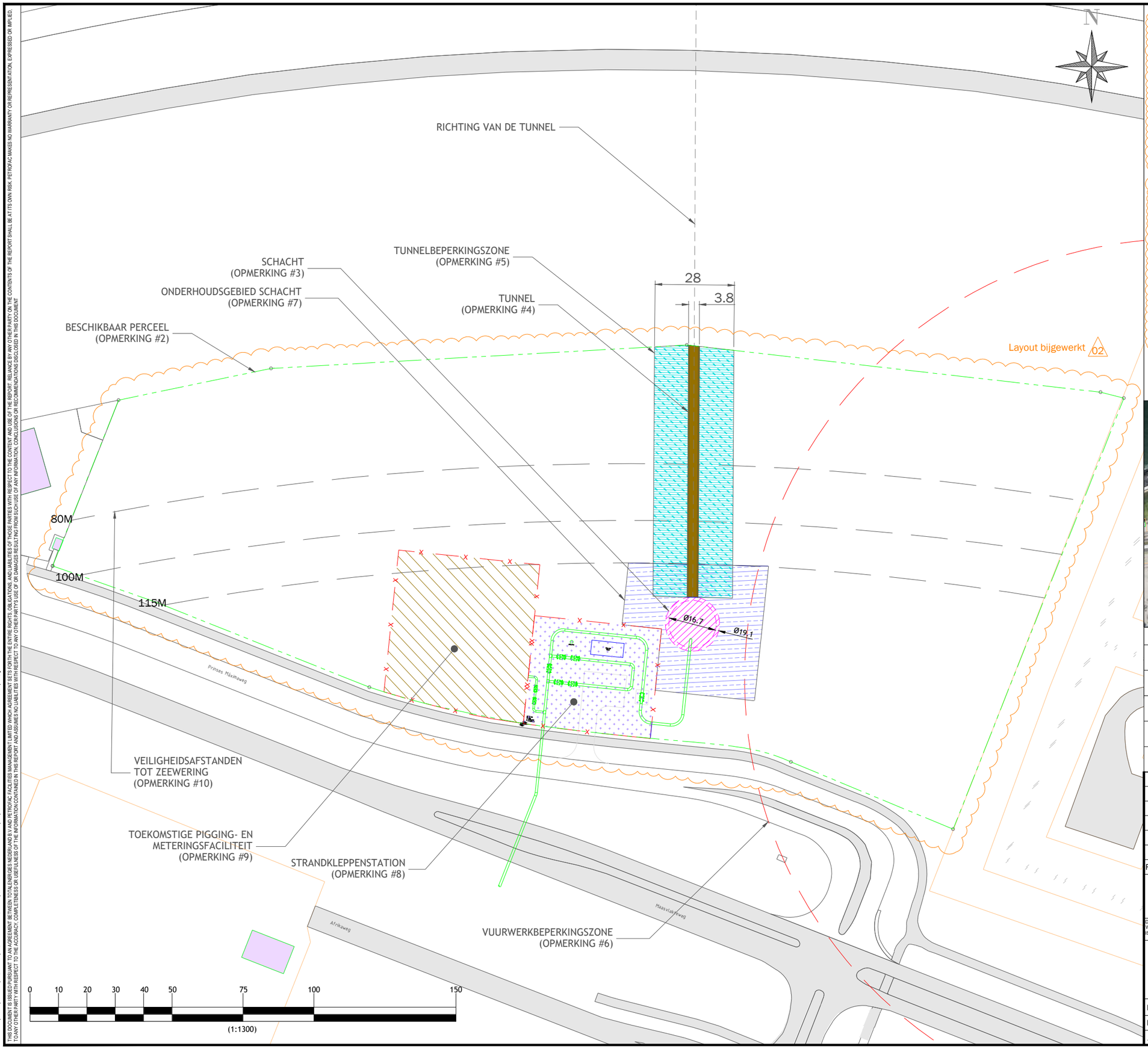
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

HAAIENVIN BOUWPLAATSINRICHTING
BOUWPLAATS VOORBEREIDING

Doc Type : LAY	Syst / S-Syst :N/A	Discipline : CIV	Electronische best.naam NL-ARM-040-PTC1-110261.dwg		
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-110261	Rev:	01	Schaal:	1:1400
Aannemer Doc. N°:		Formaat:	A3	Folio:	2 of 6

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

C:\Users\924067\Downloads\Vee Prodom downlood\NL-ARM-040-PTC1-110261\03\NL-ARM-040-PTC1-110261_03_rFD_20240816_02\1.dwg



OPMERKINGEN:

Opmerkingen bijgewerkt 02

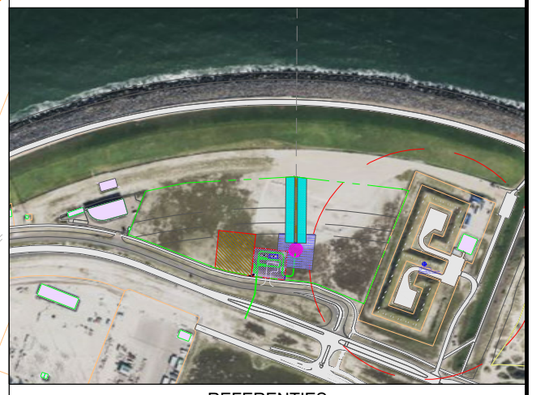
1. Alle afmetingen zijn in meters, tenzij anders aangegeven.
Coordinaten systeem: Onshore - CRS Amersfoort / RD New (EPSG:28992).
2. Beschikbare terreingrenzen zoals gedefinieerd in NL-ARM-040-PTC1-TQ0003_Rev2.
3. Schacht Buiten Ø = 19.1, Binnen Ø = 16.7m. Ref. #4
4. Tunnel Buiten Ø = 3.8m, Binnen Ø = 3.0m. Ref. #4
5. Tunnelbeperkingszone (gebied voor beperkte toekomstige graafwerkzaamheden) wordt gedefinieerd door 14m vanaf de tunnelmiddellijn aan elke kant. Ref. #2
6. Vuurwerkbeperkingszone NL-ARM-ARM1_ONPLN-CR_PORITS-000003. Binnen dit aangewezen gebied zijn geen permanente gebouwen en tijdelijke kantoren toegestaan.
7. Onderhoudsgebied schacht, strekt zich uit over circa 15 m rond de schacht. Ref. #2
8. Strandklepfaciliteit circa 1740m². Ref. #3
9. Toekomstige pigging- en meetfaciliteit circa 2695m². Ref. #3
10. Veiligheidsafstanden van Zeewering. Ref. #1

LEGENDA:

Legenda bijgewerkt 02

- Beschikbaar perceel
- Tunnel
- Tunnelbeperkingszone
- Vuurwerkbeperkingszone
- Schacht
- Onderhoudsgebied schacht
- Toekomstige pigging- en meteringsfaciliteit
- Strandkleppenstation

KEYPLAN:



REFERENTIES

NO.	DOCUMENT TITEL	DOCUMENTNUMMER
1	VEILIGHEIDZONE BEREKENING ZEEBESCHERMING	NL-ARM-040-PTC1-114043
2	BOUWPLAATSINRICHTING GOEDKEURINGSNOTA	NL-ARM-040-PTC1-110262
3	STRANDKLEPPENSTATION PLATTEGROND	NL-ARM-040-PTC1-115028
4	TUNNEL FEED – VOORLOPIG ONTWERPRAPPORT	NL-ARM-040-ARU1-110302

REVISIES

Rev.	Datum	Status	Revisie Beschrijving	Iss.	Check.	Appr.
02	23/07/2024	IFC	Uitgegeven voor Ontwerp			
01	31/05/2024		Uitgegeven voor Klant Review			
00	07/03/2024	IFR	Uitgegeven voor Klant Review			
A	22/02/2024		Uitgegeven voor Inter. Discipl. Check			

ARAMIS

ARAMIS PROJECT

Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

HAAIENVIN BOUWPLAATSINRICHTING
EINDINRICHTING NA DE BOUW EN EERSTE GEBRUIK

Doc Type : LAY	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV	Electronische best.naam NL-ARM-040-PTC1-110261.dwg			
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-110261	Rev:	02	Schaal:	1:1300	
Aannemer Doc. N°:		Formaat:	A3	Folio:	1 of 6	

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTAL ENERGIES GERMAN PLANT AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

C:\Users\924067\Downloads\New Prodom downloads\NL-ARM-040-PTC1-110261\03\NL-ARM-040-PTC1-110261_03_IFD_20240816_02\3.dwg

N

RICHTING VAN DE TUNNEL

VOORGESTELDE ENERGIECENTRALE (OPMERKING #5)

INDICATIEVE ELEKTRISCHE KABELROUTES (OPMERKING #6)

BEDRIJFS- EN AANNEMERSFACILITEITEN (OPMERKINGEN #4)

ALLE WERKZAAMHEDEN EN ACTIVITEITEN BINNEN DEZE ZONE ZIJN ONDERWORPEN AAN OVEREENKOMST MET RIJKSWATERSTAAT

Layout bijgewerkt 01

x=61782.40 y=445093.88
x=61827.51 y=445100.41
x=61887.52 y=445105.33
x=61926.00 y=445106.87
x=61947.65 y=445106.95
x=61971.05 y=445106.54
x=62002.82 y=445105.11
x=62022.20 y=445103.51
x=62073.12 y=445096.45
x=62116.34 y=445089.37
x=62132.85 y=445085.63
x=61763.82 y=445047.20
x=61847.57 y=445056.26
x=61963.96 y=445056.60
x=62109.98 y=445049.08
x=62117.92 y=445047.91

Uitgegraven grond (2760m²)

TIJDELIJKE SUBSTATION EN AANSLUITING (OPMERKING #5)

Werkplaats (480m²)

Bentoniet apparatuur (300m²)

Geprefabriceerde wapeningsopslag (200m²)

Opslag (2800m²)

Lasinrichting (300m²)

Welzijnsvoorzieningen (300m²)

Rupskraan

D-wand heistelling

Tijdelijke verhoogd platform

x=61740.63 y=444988.79
x=61727.32 y=444975.96
x=61852.12 y=444946.12
x=61906.37 y=444933.30
x=62000.41 y=444919.23
x=62057.77 y=444896.10

Prinses Máximaweg

Afrikaweg

Haaiervlakteweg

TOEKOMSTIGE DRINKWATERAANSLUITING

TOEKOMSTIGE RIOOLAANSLUITING

TOEGANGSPOORT VOOR VOERTUIGEN

BESTAANDE WATERLEIDING

BESTAANDE GEMENGE AFVALWATERRIOLERING

INDICATIEVE LOOPPAD (OPMERKING #6)

TOEGANGSPOORT VOOR VOERTUIGEN

INDICATIEVE WEG (OPMERKING #6)

VUURWERKBEPERKINGSZONE (OPMERKING #3)

X-RD: 621
Y-RD: 44
Easting UT
Northing U

0 10 20 30 40 50 75 100 150

(1:1300)

OPMERKINGEN:

Opmerkingen bijgewerkt 01

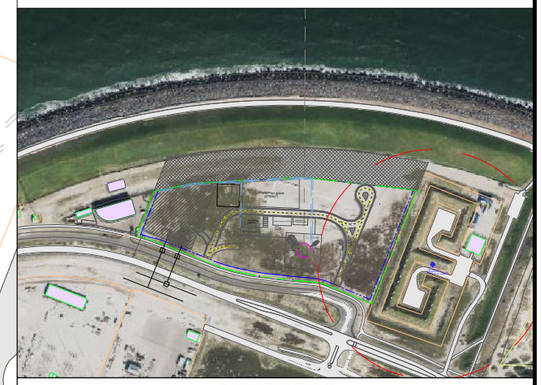
1. Alle afmetingen zijn in meters, tenzij anders aangegeven. Coördinatensysteem: Onshore - CRS Amersfoort / RD New (EPSG:28992).
2. Schacht Buiten Ø = 19.1, Binnen Ø = 16.7m Ref.#2
3. Vuurwerkbeperkingszone NL-ARM-ARM1_ONPLN-CR_PORITS-000003. Binnen dit aangewezen gebied zijn geen permanente gebouwen en tijdelijke kantoren toegestaan.
4. Maximale omvang v.d. grond dat wordt voorzien v.d. faciliteiten v.h. bedrijf en de aannemer, incl. een tijdelijke controlekamer zoals beschreven in Ref.#5
5. Stroomvoorziening en substations worden indicatief weergegeven. Substations bevinden zich buiten de bouwomheining.
6. Routes van elektr. kabels, wegen en paden worden indicatief weergegeven
7. Indicatieve schacht constructie-indeling onder voorbehoud van Tunnel FEED. Ref.#4
8. Bouwmaterieel en -faciliteiten worden indicatief weergegeven.
9. Infrastructuur interfacepunten worden indicatief weergegeven. Ref.#6

LEGENDA:

Legenda bijgewerkt 01

- Beschikbaar Perceel
- Bouwhek
- Vuurwerkbeperkingszone
- Schacht
- Indicatieve elektrische kabelgeleiding
- Indicatieve routegeleiding
- Bedrijfs- en aannemersfaciliteiten
- Zone afhankelijk van overeenstemming met Rijkswaterstaat

KEYPLAN:



REFERENTIES

NO.	DOCUMENT TITEL	DOCUMENTNUMMER
1	BOUWPLAATSINRICHTING GOEDKEURINGSNOTA	NL-ARM-040-PTC1-110262
2	TUNNEL FEED – VOORLOPIG ONTWERPRAPPORT	NL-ARM-040-ARU1-110302
3	TUNNEL FEED - INRICHT.PLAN	NL-ARM-040-ARU1-110339
4	VOORLOPIG BOUWUITVOERINGSPLAN	NL-ARM-040-ARU1-110315
5	KANTOREN & FACILITEITEN - FUNCTIONELE BESCHRIJVING EN ARCHITECTONISCHE SPECIFICATIES	NL-ARM-020-PTC1-110264
6	KAVELVOORBEREIDING LAYOUT	NL-ARM-030-PTC1-110251

REVISIES

Rev.	Datum	Status	Revisie Beschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	23/07/2024	I	Uitgegeven voor Design			
00	31/05/2024		Uitgegeven voor Client Review			

ARAMIS

ARAMIS PROJECT

Petrofac

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

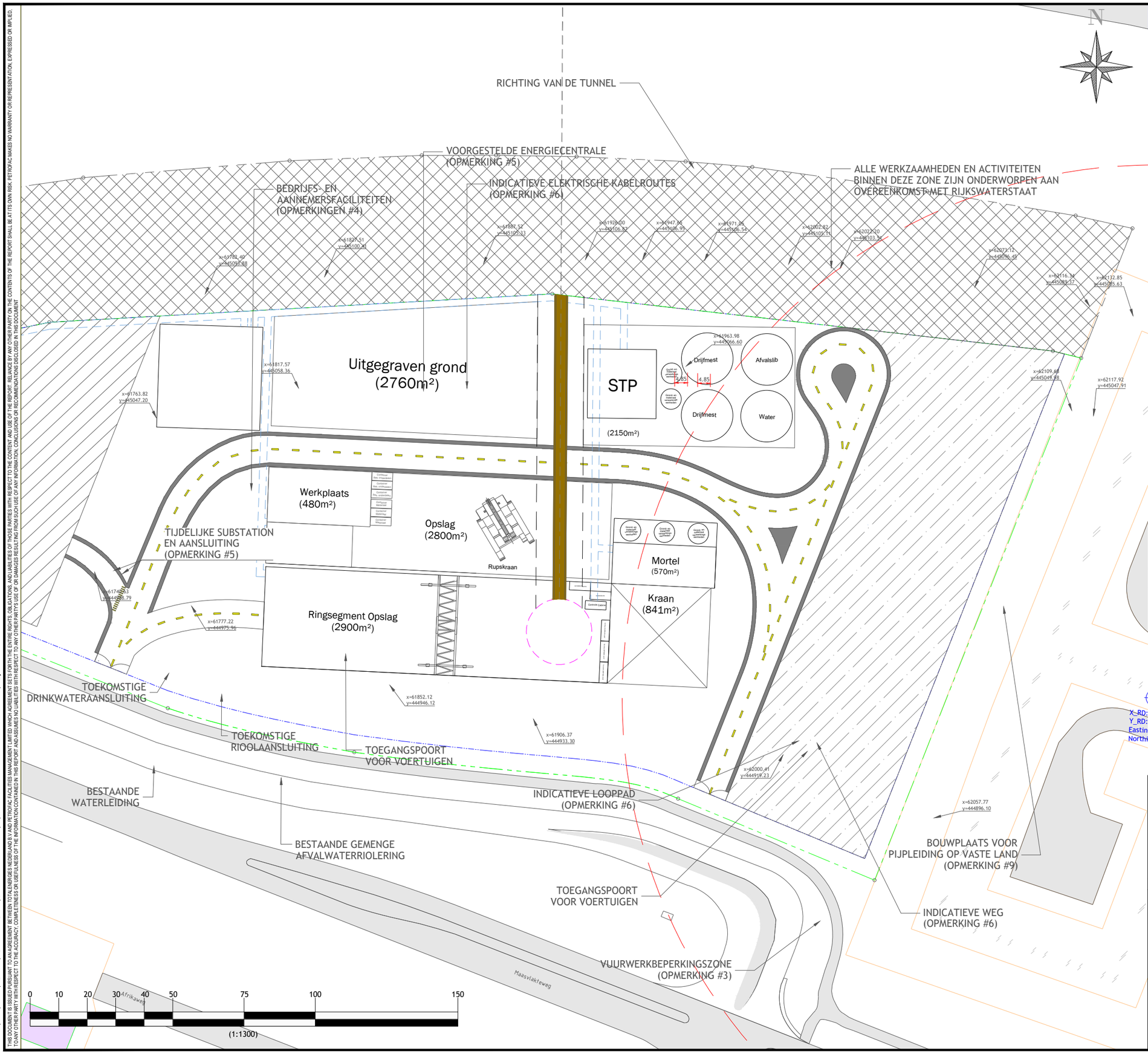
HAAIENVIN BOUWPLAATSINRICHTING

BOUWPLAATSINRICHTING SCHACHT

Doc Type : LAY	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV	Electronische best.naam NL-ARM-040-PTC1-110261.dwg		
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-110261	Rev:	01	Schaal:	1:1400
Aannemer Doc. N°:		Formaat:	A3	Folio:	3 of 6

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. NEITHER PETROFAC NOR ANY OF ITS EMPLOYEES MAKES ANY WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT, AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

C:\Users\924067\Downloads\Vee Prodom download\NL-ARM-040--PTC1--110261\03\NL-ARM-040--PTC1--110261_03_IFD_20240816_02\4.dwg



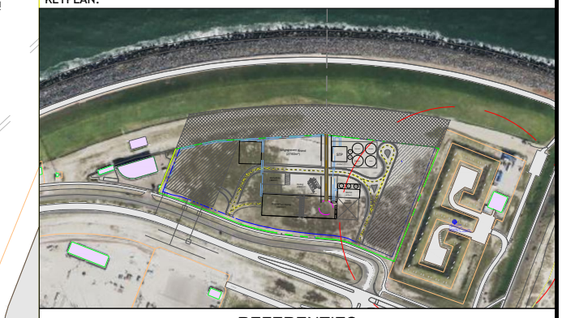
OPMERKINGEN:

1. Alle afmetingen zijn in meters, tenzij anders aangegeven.
Coördinatensysteem: Onshore - CRS Amersfoort / RD New (EPSG:28992).
2. Schacht Buiten Ø = 19.1, Binnen Ø = 16.7m Ref.#2
3. Vuurwerkbeperkingszone NL-ARM-ARM1_ONPLN-CR_PORITS-000003. Binnen dit aangewezen gebied zijn geen permanente gebouwen en tijdelijke kantoren toegestaan.
4. Maximale omvang v.d. grond dat wordt voorzien v.d. faciliteiten v.h. bedrijf en de aannemer, incl. een tijdelijke controlekamer zoals beschreven in Ref.#5
5. Stroomvoorziening en substations worden indicatief weergegeven.
Substations bevinden zich buiten de bouwomheining.
6. Routes van elektr. kabels, wegen en paden worden indicatief weergegeven
7. Indicatieve schacht constructie-indeling o.v.v. Tunnel FEED. Ref.#4
8. Bouwmaterieel en -faciliteiten worden indicatief weergegeven.
Opmerkingen bijgewerkt 02
9. Het aangewezen gebied voor de onshore pijpleidingconstructie van 6742m2 is mogelijk slechts voor een beperkte periode beschikbaar, aangezien dit gebied momenteel gepland is om te worden vrijgemaakt en beschikbaar te worden gesteld voor pre-commissioning-activiteiten wanneer de offshore pijpleiding is voltooid. Mocht de aannemer die verantwoordelijk is voor de onshore pijpleidingconstructie voor een langere periode ruimte op de haaienvin nodig hebben, dan zal de aannemer die verantwoordelijk is voor de bouwplaatsindeling en operaties, de bouwplaats optimaliseren i.s.m. relevante aannemers om aan dit verzoek te voldoen.
10. Infrastructuur interfacepunten worden indicatief weergegeven. Ref.#6

LEGEND:

- Beschikbaar Perceel
- Bouwhek
- Tunnel
- Vuurwerkbeperkingszone
- Schacht
- Indicatieve elektrische kabelgeleiding
- Indicatieve routegeleiding
- Onshore pipeline construction area
- Bedrijfs- en aannemersfaciliteiten
- Zone afhankelijk van overeenstemming met Rijkswaterstaat

KEYPLAN:



REFERENTIES

NO.	DOCUMENT TITEL	DOCUMENTNUMMER
1	BOUWPLAATSINRICHTING GOEDKEURINGSNOTA	NL-ARM-040-PTC1-110262
2	TUNNEL FEED – VOORLOPIG ONTWERPRAPPORT	NL-ARM-040-ARU1-110302
3	TUNNEL FEED - INRICHT.PLAN	NL-ARM-040-ARU1-110339
4	VOORLOPIG BOUWUITVOERINGSPLAN	NL-ARM-040-ARU1-110315
5	KANTOREN & FACILITEITEN - FUNCTIONELE BESCHRIJVING EN ARCHITECTONISCHE SPECIFICATIES	NL-ARM-020-PTC1-110264
6	KAVELVOORBEREIDING LAYOUT	NL-ARM-030-PTC1-110251
7	OPTIONELE BOUWPLAATS VOOR PIJPLEIDING OP VASTE LAND	NL-ARM-030-PTC1-114065

REVISIES

Rev.	Datum	Status	Revisie Beschrijving	Iss.	Check.	Appr.
02	16/08/2024		Uitgegeven voor Design			
01	23/07/2024		Uitgegeven voor Design			
00	31/05/2024		Uitgegeven voor Client Review			

ARAMIS PROJECT

Petrofac

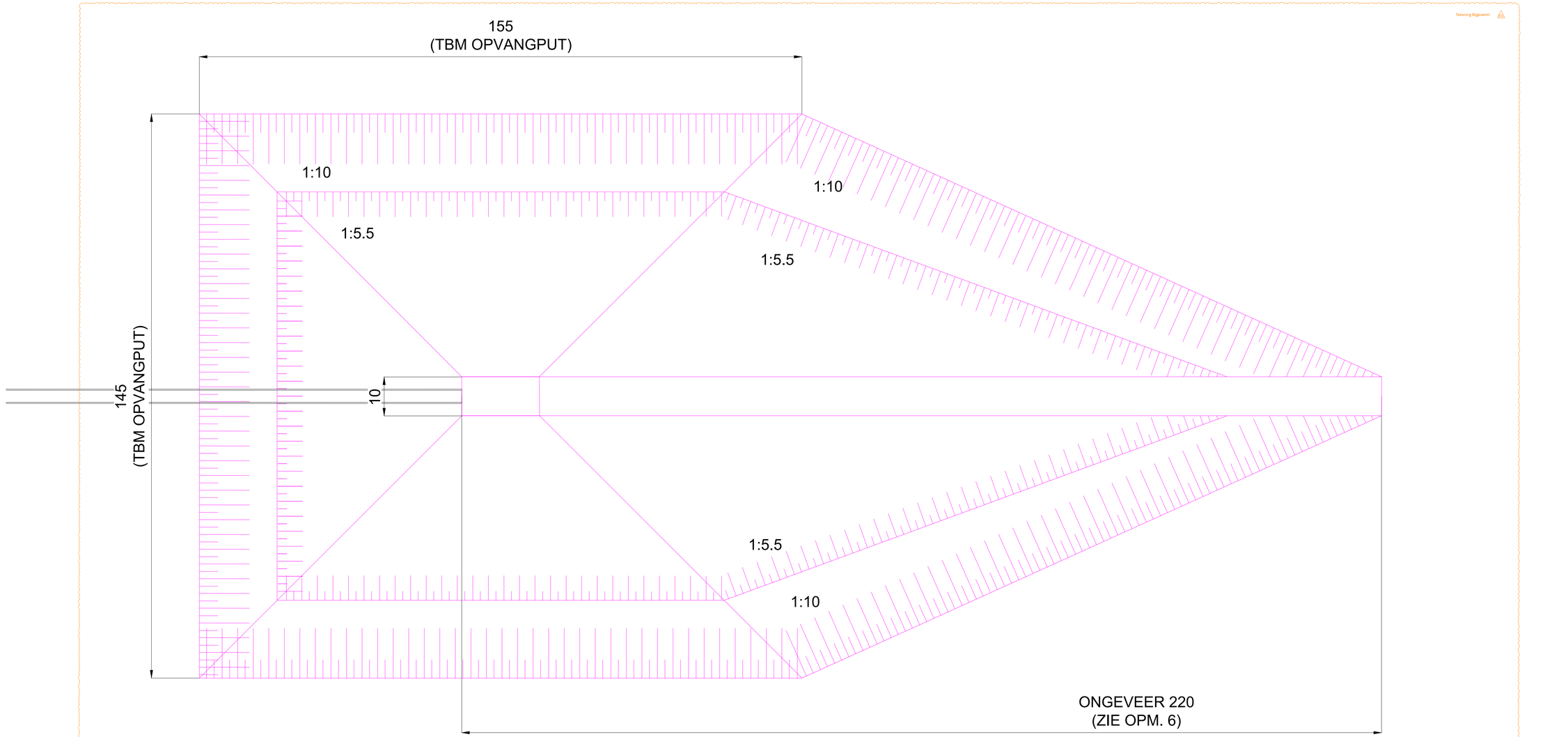
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

HAAIENVIN BOUWPLAATSINRICHTING

BOUWPLAATSINRICHTING TUNNEL EN VASTE LAND

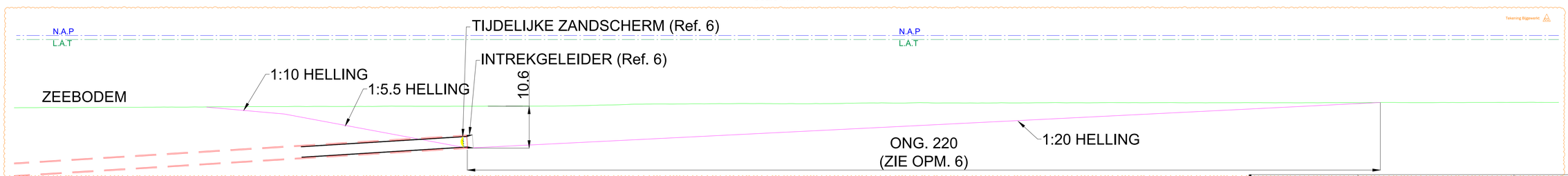
Doc Type : LAY	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : CIV	Electronische best.naam NL-ARM-040-PTC1-110261.dwg		
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-110261	Rev:	02	Schaal:	1:1400
Aannemer Doc. N°:		Formaat:	A3	Folio:	4 of 6

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTAL ENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT



Plan View

Scale 1:550



Zijaanzicht

Schaal 1:550

OPMERKINGEN

1. Alle afmetingen zijn in meters, tenzij anders vermeld.
2. LAT ligt 1,03 meter onder NAP.
3. De ontvangstput voor de TBM wordt gepresenteerd in Referentie 1.
4. Het pijpdeel dat zich buiten de intrekgleuf bevindt, dient na het graven te worden getrenchd, Ref 4.
5. Boorputgegevens zijn beschikbaar in Referentie 5.
6. De zeebodemniveaus variëren binnen het voetafdruk van het ontvangstputje, daarom is de getoonde geometrie schematisch en bij benadering.
7. Voor een beoordeling van de sedimentatie wordt verwezen naar Referentie 2.
8. De tekening is ontwikkeld op basis van een basisscenario, waarbij het ontvangstputje voor de TBM en de overgangszone voor het intrekken van de pijp tegelijkertijd worden uitgebaggerd.

LEGENDA

- NAP
- LAT
- ZEEBODEMNIVEAU
- TUNNELWAND PLATTEGROND/AANZICHT
- TBM OPVANGPUT

REFERENTIE DOCUMENTEN

NO	DOCUMENTNUMMER	TITEL
1	NL-ARM-040-ARU1-110329	Tunnel FEED - Tunnel - Ontvangstput - Algemene indeling
2	NL-ARM-040-ARU1-110306	Tunnel FEED Ontwerp Rapport
3	NL-ARM-040-ARU1-110323	Tunnel FEED - Tunnel Plattegrond en lengteprofiel
4	NL-ARM-050-PTC1-113905	Uitlijningsblad - Offshore Pipeline KP0 naar KP5
5	NL-ARM-100-ARM1-100013	Aramis Landaanleg en nabije kustpijpleiding Route Gemeten en afgeleide geotechnische parameters en eindresultaten
6	NL-ARM-040-PTC1-114088	Offshore Pijpleiding intrekwerkzaamheden tekeningen - Tijdelijk zandscherm bij Ontvangstput - Algemene indeling

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
01	20/08/24	[redacted]	Uitgegeven voor Ontwerp	[redacted]	[redacted]	[redacted]
00	12/06/24	[redacted]	Uitgegeven ter Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
A	21/05/24	[redacted]	Uitgegeven voor Inter. Discipl. Check	[redacted]	[redacted]	[redacted]

ARAMIS

ARAMIS

Petrofac — Offshore Independents Rotterdam

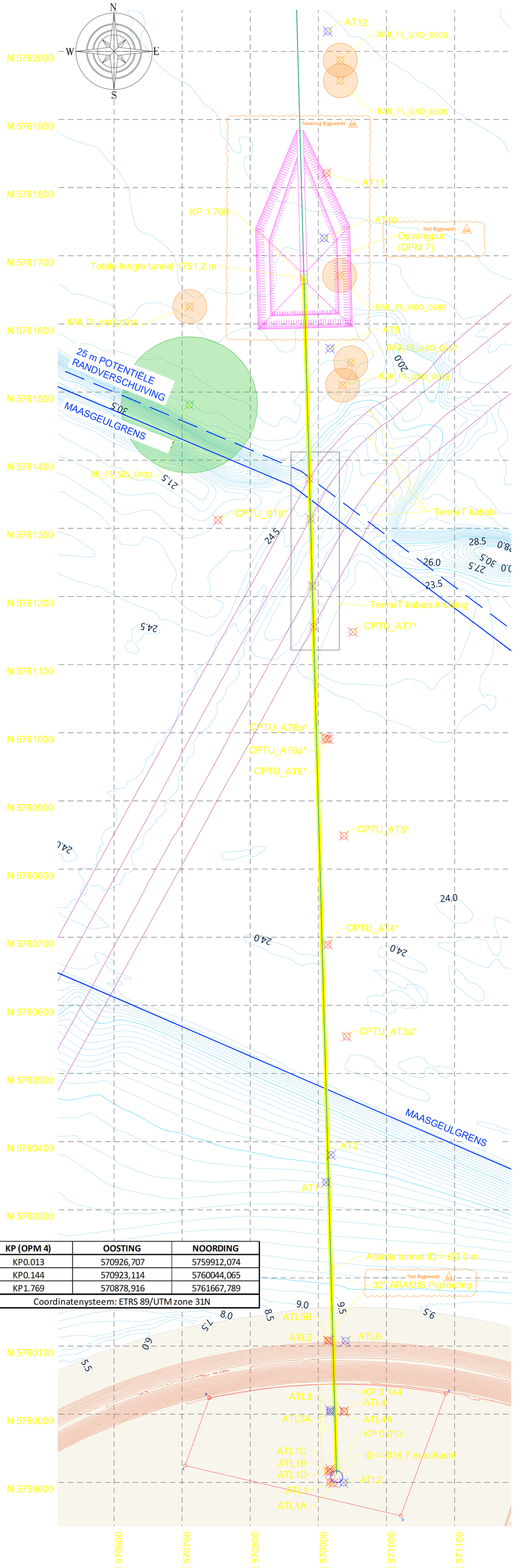
DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Offshore Tunnel Exit Drawings

Reception Pit for Pull-in Operations

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : PLR	NL-ARM-040-PTC1-113855.dwg
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-113855	Rev: 01	Schaal: 1:550
Aannemer Doc. N°:		Formaat: A1	Folio: 1 of 1

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT



KP (OPM 4)	OOSTING	NOORDING
KP0.013	570926,707	5759912,074
KP0.144	570923,114	5760044,065
KP1.769	570878,916	5761667,789
Coordinatenysteem: ETRS 89/UTM zone 31N		

OPMERKINGEN

Opmerkingen bijgewerkt 02

1. Alle afmetingen zijn in meters, tenzij anders vermeld.
2. Alle hoogtes zijn in meters ten opzichte van LAT, tenzij anders aangegeven.
3. De ontvangstput wordt schematisch weergegeven.
4. De kettinglijn van de offshore pijp begint bij KP0.013, waarbij deze samenvalt met de ankerflens in de schacht. De KP's van de offshore pijp en de tunnel zijn uitgelijnd en gelijk.
5. Alleen de afmetingen van locaties binnen het bereik van de baggerwerken zijn getabelleerd.
6. De uitsluitingszone voor magnetische anomalieën werd verkleind tot 25 meter, zoals vermeld in Ref 6.
7. De afmetingen van de ontvangstput zijn ontleend aan Referentie 7.

LEGENDA

- WERKLOCATIE HAAIENVIN
- PIPELINE ROUTE
- TENNET KABELS
- MAASGEUL
- TENNET KABELS KRUISING
- CONUSPENETRATIETEST
- SONISCHE KERNBORING
- SAMENVATTING ARCHEOLOGIE (Straal 100 m)
- MAGNETISCHE ANOMALIE > 500 nT (straal 25 m) (Opm. 6)

AFKORTINGEN

CPT	CONUSPENETRATIETEST
SNC	SONISCHE KERNBORING

REFERENTIE DOCUMENTEN

Referenties bijgewerkt 01

NO	DOCUMENTNUMMER	TITEL
1	NL-ARM-100-ARM1-100013	Aramis Landfall en nabije kustpijpleidingroute: Gemeten en afgeleide geotechnische parameters en eindresultaten
2	22A030-01	Aramis pijpleiding – Een archeologische evaluatie van geofysische surveydata
3	NL-ARM-040-ARU1-110323	Tunnel FEED – Tunnel plattegrond en longitudinaal profiel met hybride graafoplossing
4	NL-ARM-050-PTC1-113998	Algehele veldindeling
5	NL-ARM-050-PTC1-113909	TEKENING VAN DE TUNNELUITGANGSAANPAK
6	NL-ARM- 050-PTC1-113904	RAPPORT OVER DE ROUTEKEUZE
7	NL-ARM-040-PTC1-113955	TEKENINGEN VAN DE OFFSHORE TUNNELUITGANG

Locatie exploratieve boring	Boor methode	UTM31N - ETRS89		Vrijwaringsafstand tot de pijpleiding [m]	Vrijwaringsafstand tot de tunnel [m]	Vrijwaringsafstand tot baggerwerkzaamheden [m] (Opm. 5)
		Oosting [m]	Noording [m]			
ATL1	CPT	570.917,31	5.759.900,18	9,72	-	-
ATL1A	CPT	570.921,80	5.759.898,56	5,27	-	-
ATL1B	CPT	570.914,42	5.759.916,27	12,17	-	-
ATL1C	CPT	570.917,24	5.759.919,60	9,26	7,23	-
ATL1D	CPT	570.917,95	5.759.915,37	8,66	-	-
ATL2	SNC	570.937,04	5.759.899,50	9,99	-	-
ATL3	SNC	570.917,42	5.760.006,20	6,72	4,72	-
ATL3A	SNC	570.917,43	5.760.003,44	6,79	4,79	-
ATL4	CPT	570.937,54	5.760.004,96	13,36	11,36	-
ATL4A	CPT	570.937,88	5.760.003,37	13,65	11,65	-
ATL5	CPT	570.915,51	5.760.107,41	5,88	3,88	-
ATL5B	CPT	570.913,41	5.760.108,38	7,95	5,95	-
ATL6	SNC	570.939,98	5.760.107,67	18,59	16,59	-

Locatie exploratieve boring	Boor methode	UTM31N - ETRS89		Vrijwaringsafstand tot de pijpleiding [m]	Vrijwaringsafstand tot de tunnel [m]	Vrijwaringsafstand tot baggerwerkzaamheden [m] (Opm. 5)
		Oosting [m]	Noording [m]			
AT1	SNC	570.911,35	5.760.340,38	3,7	1,7	-
AT2	SNC	570.918,55	5.760.380,57	4,59	2,59	-
CPTU_AT3a*	CPT	570.941,50	5.760.554,33	32,26	30,26	-
CPTU_AT4*	CPT	570.913,93	5.760.689,09	8,37	6,37	-
CPTU_AT5*	CPT	570.937,34	5.760.848,96	36,12	34,12	-
CPTU_AT6*	CPT	570.915,10	5.760.990,89	17,75	15,75	-
CPTU_AT6a*	CPT	570.912,42	5.760.990,39	15,06	13,06	-
CPTU_AT6b*	CPT	570.910,10	5.760.992,87	12,81	10,81	-
CPTU_AT7*	CPT	570.950,86	5.761.147,72	57,77	55,77	-
CPTU_BT6*	CPT	570.752,54	5.761.312,31	136	134	-
AT8	SNC	570.917,27	5.761.563,80	35,51	33,51	12,82
AT10	SNC	570.908,68	5.761.725,88	31,33	-	binnen werkgebied
AT11	CPT	570.911,89	5.761.821,19	37,14	-	binnen werkgebied
AT12	SNC	570.913,67	5.762.029,23	44,58	-	-

Archeologische locatie referentie	UTM31N - ETRS89		Vrijwaringsafstand tot de pijpleiding [m]	Vrijwaringsafstand tot de tunnel [m]	Vrijwaringsafstand tot baggerwerkzaamheden [m] (Opm. 5)
	Oosting [m]	Noording [m]			
BB_FS_SSS_0433	570.710,63	5.761.481,22	173,30	171,3	-
BAB_FS_UXO_0618	570.935,80	5.761.510,10	52,75	50,75	67,00
BAB_FS_UXO_0657	570.947,60	5.761.542,80	65,26	63,26	34,64
BAB_FS_UXO_0010	570.711,30	5.761.625,40	168,71	166,71	81,12
BAB_FS_UXO_0599	570.931,10	5.761.671,10	52,25	50,25	within work area
BAB_FS_UXO_0605	570.932,50	5.761.956,70	61,43	59,43	90,83
BAB_FS_UXO_0603	570.932,20	5.761.986,90	61,95	59,95	116,24
BB_FS_SSS_0683	570.384,00	5.762.003,00	485,61	483,61	-

SCHAALLIJN

SCHAAL 1:4000 (OP A1 ORIGINEEL PAGINAGROOTTE)

0 50 100 200 300 400 500metres

0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25nautical miles

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
02	13/08/24		Uitgegeven ter info			
01	15/07/24		Uitgegeven ter info			
00	17/05/24		Uitgegeven ter info			
A	07/05/24		Uitgegeven voor interdiscip. controle			

ARAMIS

ARAMIS

-

Petrofac

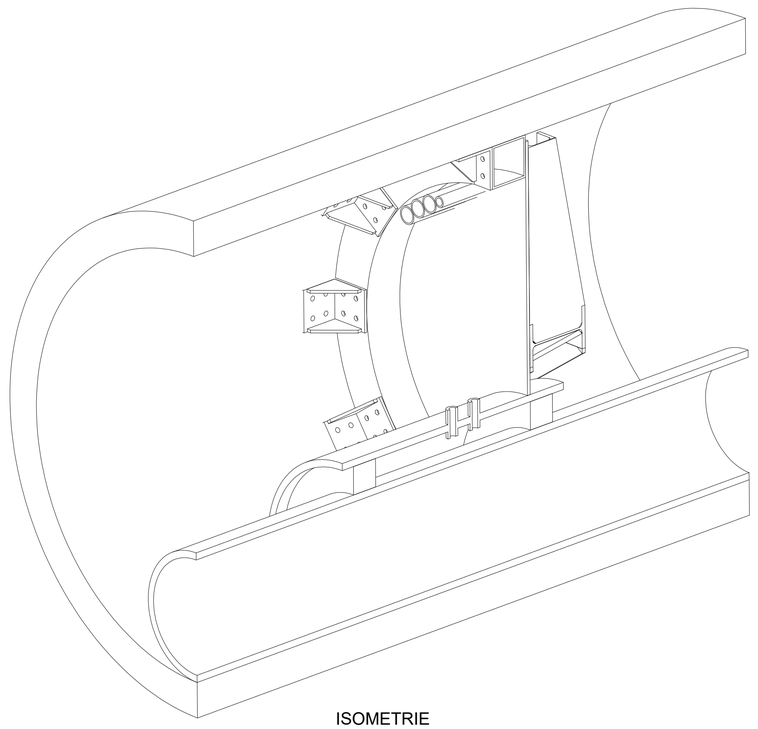
Offshore Independents Rotterdam

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

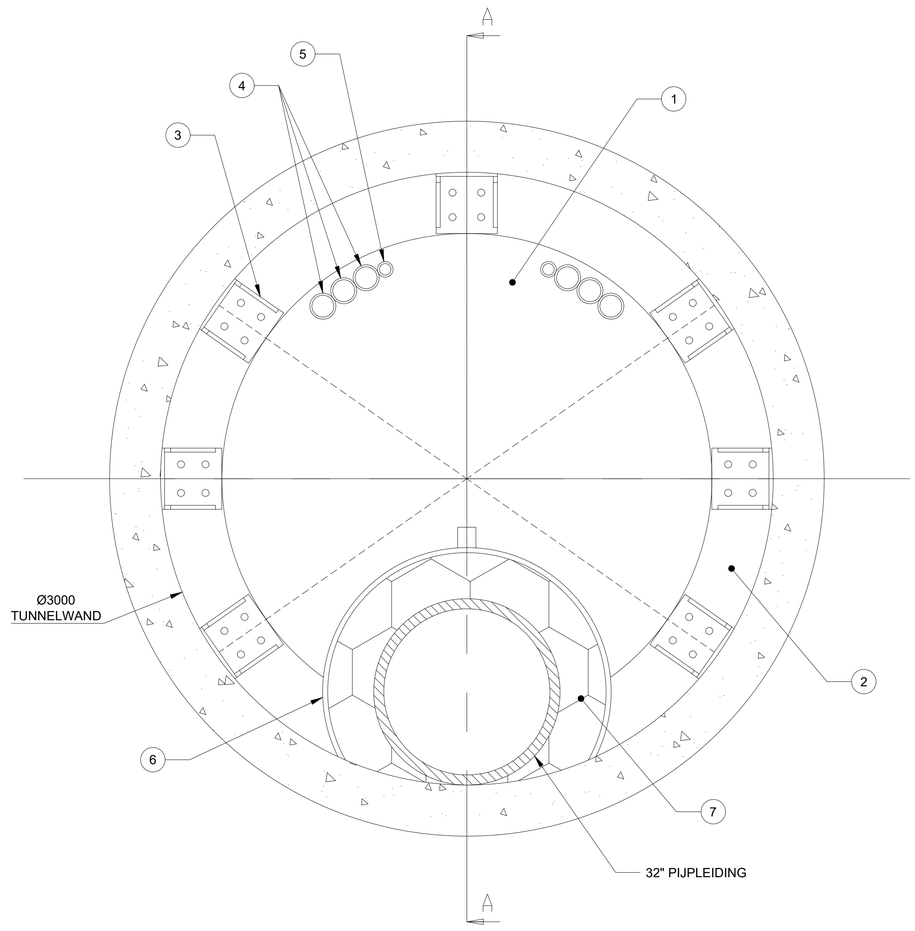
Plattegrond van de tunnelroute

Doc Type : DRW	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : PLR	Electronische best.naam NL-ARM-040-PTC1-113858.dwg		
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-113858	Rev:	02	Schaal:	1:4000
Aannemer Doc. N°:	.	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1

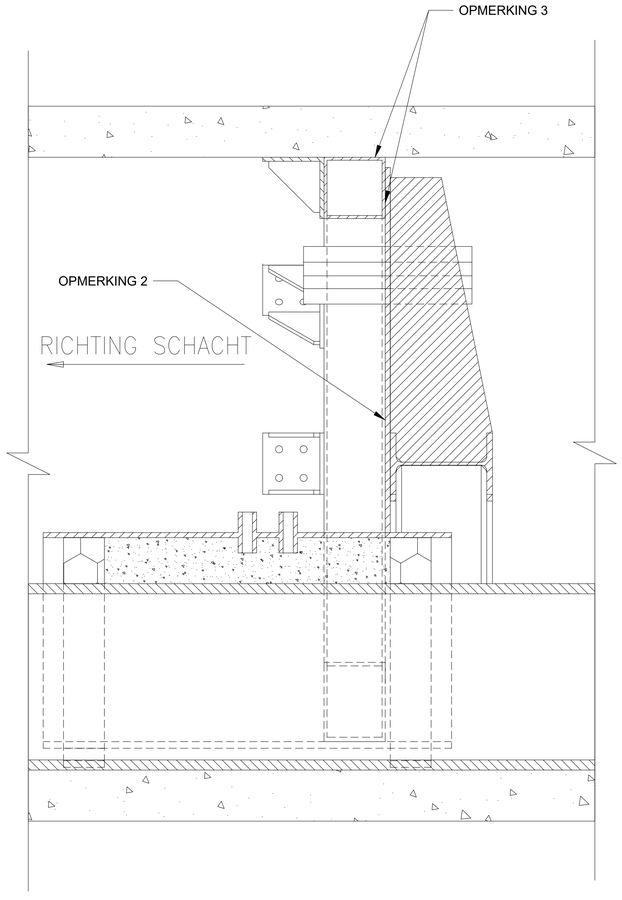
Item nu.	Aantal	Beschrijving	Afmetingen	Gewicht per stuk (kg)	Totaal gewicht (kg)	
1	1	Verstevigd stalen schot van plaatbalk (HEB500 S355J)	t = 25 mm	2800	2800	
2	1	Ondersteunende ring met afdichting tegen tunnelwan	L = 8.5 m RHS 300x300x15	950	950	
3	7	Stalen schotondersteuningen met 4x M30 8.8 bouten	t = 20 mm 300x300x300	37	259	
4	6	Injectielijn doorvoer 4 inch	L = 800 mm	N.V.T.	-	
5	2	Ventilatielijn doorvoer 2 inch	L = 800 mm	N.V.T.	-	
6	1	Injectiedoos met vullijn en overloop	Ø 1.4 m, L = 2000 mm	1125	1125	
7	2	Opblaasbare injectiepackers	$V = 2\ m^3$ Gewijzigd 01	N.V.T.	-	
				TOTAAL	5,1	ton



ISOMETRIE
Schaal 1:20



PLATTEGROND
Schaal 1:15



DOORSNEDE A-A
Schaal 1:15

NOTES

1. Alle afmetingen zijn in millimeters, tenzij anders aangegeven.
2. De afstand van het schot tot het tunnelmondpunt in de schacht dient tijdens het gedetailleerde ontwerp te worden bepaald.
3. Waterdichte pakkingen dienen in de gedetailleerde ontwerpfase te worden ontworpen.
4. Stalen schotondersteuningen dienen door de tunnelcontractor aan de tunnelwand te worden gebolt en gemorteld.
5. Mortel- en ventilatielijnen dienen te worden aangesloten op de pijpenpenetratiepunten en te worden getest voordat de tunnel wordt gevuld.
6. De mortelbox dient tijdens de gedetailleerde ontwerpfase verder te worden ontworpen.
7. De mortelbox is gedimensioneerd voor een pijpinduwspeling van 250 mm rondom.
8. Het schot is waterdicht wanneer de pijp is ingetrokken en de mortelpluginstallatie is voltooid.

LEGENDA

BETON

OPBLAASBARE MORTELPACKER

MORTEL

AFKORTINGEN

Opmerkingen bijgewerkt 01

REFERENTIE DOCUMENTEN

No	DOCUMENTNUMMER	TITEL
1	NL-ARM-040-ARU1-110302	Tunnel FEED - Voorlopig Ontwerp Rapport
2	NL-ARM-040-PTC1-114070	Landbouwconstructieconcept oplossing Technische notitie

Rev.	Datum	Status	Revisie omschrijving	Iss.	Check.	Appr.
.	.	.	.	.	.	.
01	08/08/24	■	UITGEGEVEN TER INFO	■	■	■
00	04/07/24	■	UITGEGEVEN TER INFO	■	■	■

ARAMIS

ARAMIS
-

Petrofac
Offshore Independents Rotterdam

DIT DOCUMENT IS GEGENEREERD DOOR EEN ELEKTRONISCH DOCUMENTBEHEERSYSTEEM. WANNEER HET WORDT AFGEDRUKT, WORDT HET BESCHOUWD ALS EEN KOPIE DIE UITSLUITEND TER INFO IS. DE GECONTROLEERDE KOPIE IS DE SCHERMVERSIE EN HET IS DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE HOUDER DAT HIJ/ZIJ DE LAATSTE GELDIGE VERSIE BEZIT.

Waterdichte Tunnelschot

Algemeen Ontwerp

.

Doc Type : GEA	Syst / S-Syst : N/A	Discipline : PLR	Electronische best.naam NL-ARM-040-PTC1-114090..dwg		
Bedrijf Doc. N°:	NL-ARM-040-PTC1-114090	Rev:	01	Schaal:	1:15
Aannemer Doc. N°:	.	Formaat:	A1	Folio:	1 of 1

THIS DOCUMENT IS ISSUED PURSUANT TO AN AGREEMENT BETWEEN TOTALENERGIES NEDERLAND B.V AND PETROFAC FACILITIES MANAGEMENT LIMITED WHICH AGREEMENT SETS FORTH THE ENTIRE RIGHTS, OBLIGATIONS, AND LIABILITIES OF THOSE PARTIES WITH RESPECT TO THE CONTENT AND USE OF THE REPORT. RELIANCE BY ANY OTHER PARTY ON THE CONTENTS OF THE REPORT SHALL BE AT ITS OWN RISK. PETROFAC MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION, EXPRESSED OR IMPLIED, TO ANY OTHER PARTY WITH RESPECT TO THE ACCURACY, COMPLETENESS OR USEFULNESS OF THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND ASSUMES NO LIABILITIES WITH RESPECT TO ANY OTHER PARTY'S USE OF OR DAMAGES RESULTING FROM SUCH USE OF ANY INFORMATION, CONCLUSIONS OR RECOMMENDATIONS DISCLOSED IN THIS DOCUMENT

C:\Users\924067\Downloads\New Project download\NL-ARM-040-PTC1-114090\01\NL-ARM-040-PTC1-114090_01_IFI_20240808_02.dwg

Bijlage 3

Uitgangspunten en document constructie

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Toelichting Gevolgklasse Bepaling Pijplijntunnel				Document Number **NL-ARM-010-ARM1-100128**	
				Revision: 01	Step:
Document Type:	Family Equip.:	Discipline: **HSE**	Class:	Date: 18-**Okt-2024**	
CONTRACTOR Reference: NA				Page 1 of 14	

ARAMIS	ARAMIS PROJECT	

Rev.	Step	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
01		23-Sept-2024	First Issue – FEED	[redacted]	[redacted]	[redacted]
02		18-Okt-2024	Updated after meeting	[redacted]		

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

TABLE OF CONTENT

1 INTRODUCTIE 3

2 BESCHRIJVING VAN DE SITUATIE 4

2.1 Pijpleiding verankering 5
2.2 Objecten in de omgeving van de tunnel 6
2.3 Aard en hoeveelheid van stoffen 8

3 CONSEQUENTIES VAN EEN FALENDE CONSTRUCTIE 9

3.1 Consequenties van een falende Launch Shaft 9
3.2 Consequenties van een falende tunnel 9
3.3 Consequenties van een falende pijpleiding verankering 9
3.3.1 Gevolgen voor mensenlevens 10
3.3.2 Gevolgen voor milieu 10
3.3.3 Economische gevolgen 11
3.4 Risicobeoordeling gevolgklasse 11
3.4.1 Gevolgklasse omschrijving 11
3.4.2 Launch Shaft gevolgklasse 12
3.4.3 Tunnel gevolgklasse 12
3.4.4 Pijpleiding verankering gevolgklasse 12

4 CONCLUSIE 13

4.1 Launch Shaft en Tunnel 13
4.2 Pijpleiding verankering 13

5 REFERENTIES 14

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

1 INTRODUCTIE

Het Aramis project focust op het verminderen van de CO_2 uitstoot van moeilijk te vermijden industrieën. Dit doet het project door CO_2 transport beschikbaar te stellen om opslagcapaciteit voor de industrie open te stellen. Als onderdeel van Carbon Capture &Storage (CCS) wordt dense phase CO_2 vanaf de Maasvlakte in Rotterdam door een pijpleiding naar boorplatforms op zee getransporteerd, waarna het in lege gasvelden wordt geïnjecteerd.



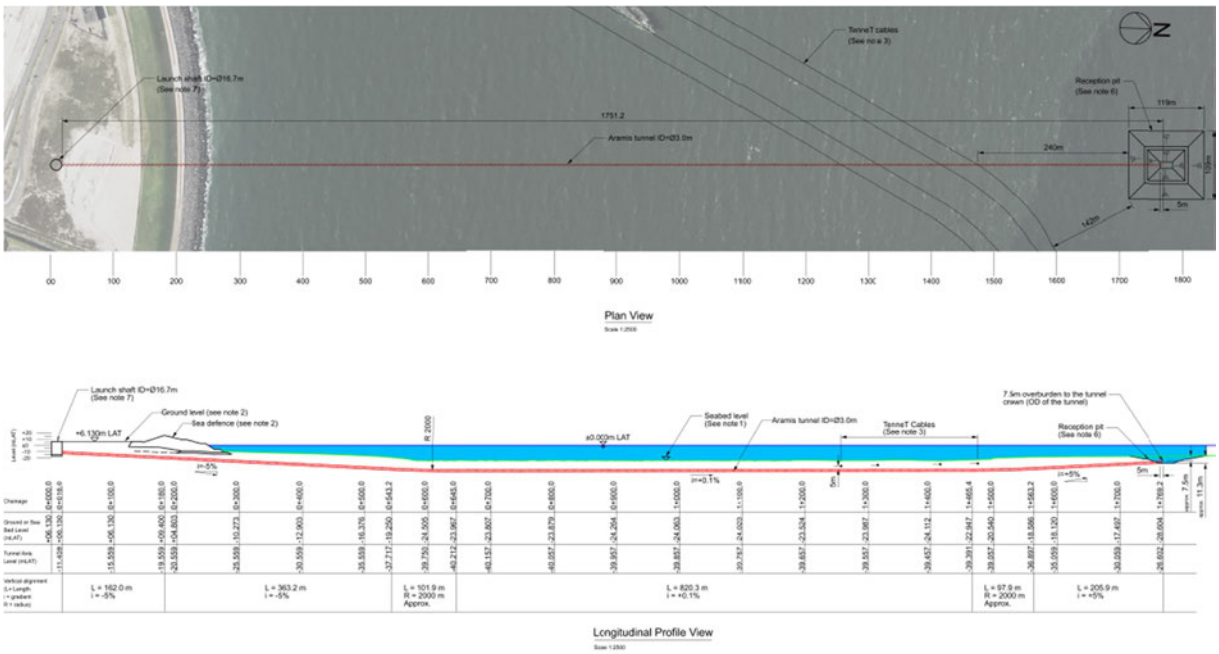
Figuur 1-1: Overzicht van het Aramis project locatie

Voor het project is een Wabo-bouwvergunning vereist voor het tunnelgedeelte bij de kust. Er moet worden voldaan aan de eisen uit het Bouwbesluit en NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019. De norm zelf bevat eisen over de constructieve betrouwbaarheid (RC) van bouwwerken. Deze bouwwerken moeten worden ontworpen in lijn met een bepaalde gevolgklasse, afhankelijk van de schade als gevolg van het (deels) bezwijken van het bouwwerk. De gevolgklassen zijn ingedeeld van CC1 (geringe/ verwaarloosbare gevolgen) tot CC3 (grote gevolgen), waar de gevolgen betrekking hebben op mensenlevens, milieu, externe economie en het sociale vlak.
De standaardregel is dat industriële gebouwen met gevaarlijke stoffen volgens CC3 ontworpen moeten worden. Dit kan worden gereduceerd als duidelijk kan worden aangetoond dat de daadwerkelijke gevolgen bij het bezwijken van de constructie minder ernstig zijn.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

2 BESCHRIJVING VAN DE SITUATIE

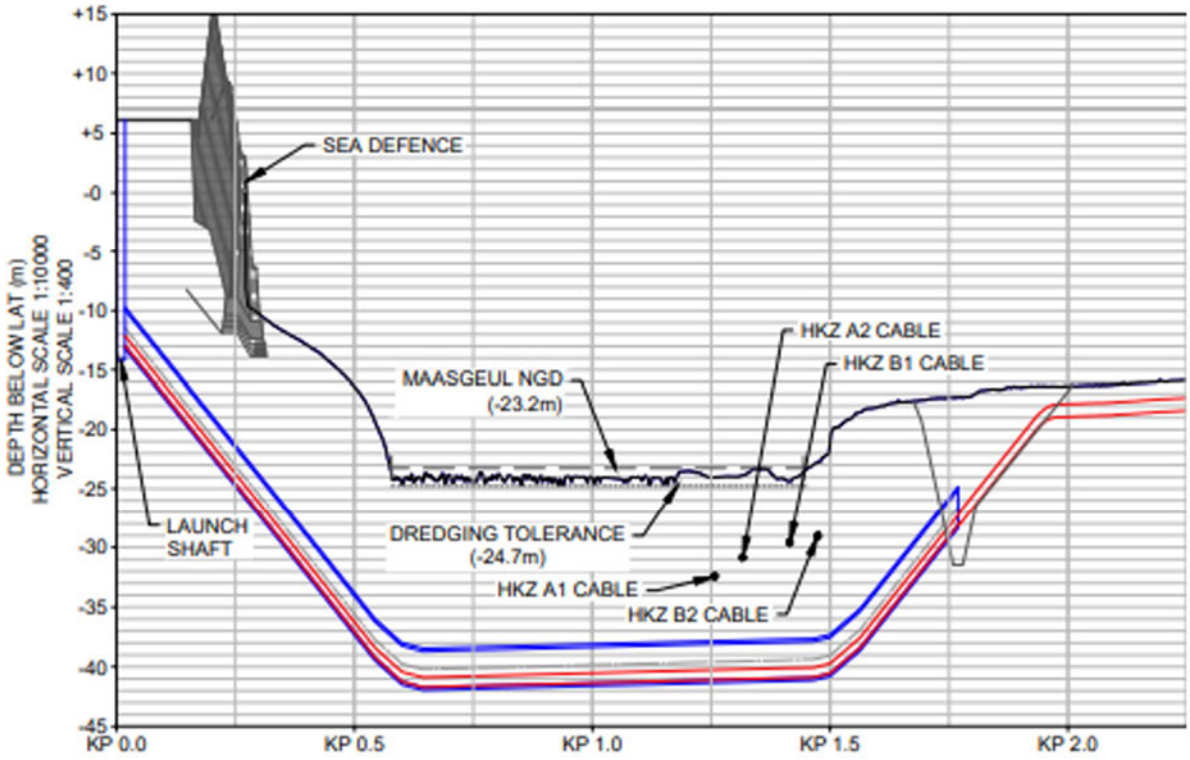
Het eerste onderdeel van de zeeleiding wordt vanaf de Maasvlakte onder de maasgeul gelegd. Om de maasgeul over te steken is ervoor gekozen een tunnel te gebruiken waar de leiding in ligt. In Figuur 2-1 wordt een boven en zijaanzicht van de tunnel weergegeven.



Figuur 2-1: Boven- en zijaanzicht van de tunnel

In de Edisonbaai zal de pijpleiding, gelegen in een tunnel, beginnen in de “Launch Shaft” en 1750 m uitstrekken tot aan de “reception pit” waarna de leiding verder gaat zonder tunnel. De tunnel ligt ongeveer 14 m onder het zeebed en is bedekt met zand zoals te zien is in Figuur 2-2.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.



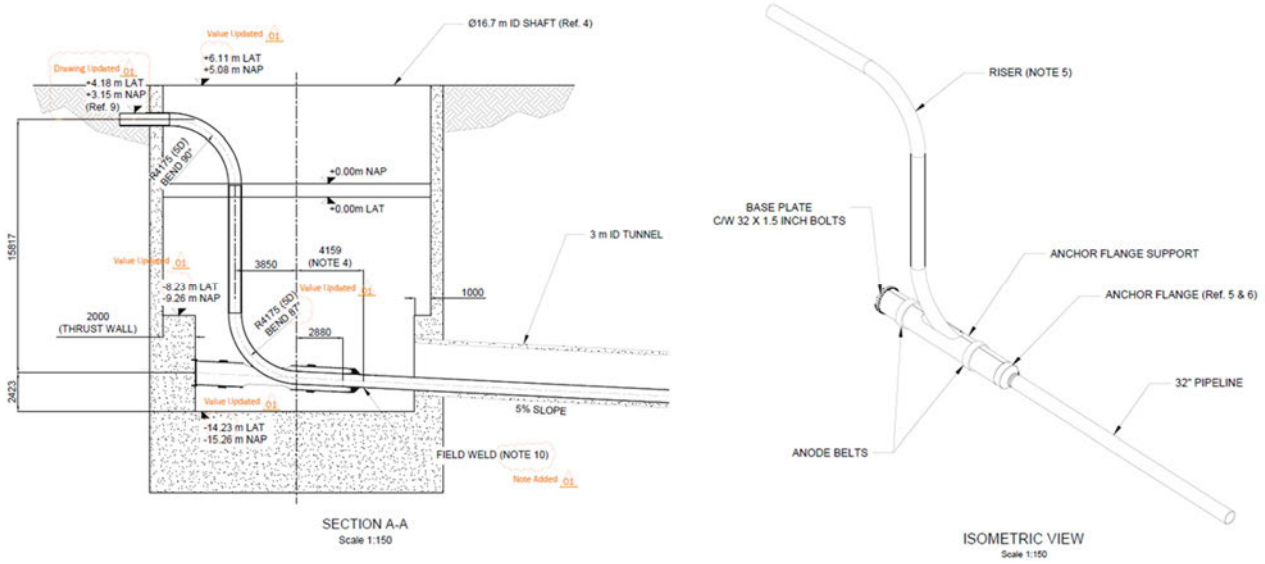
Figuur 2-2: Schematische weergave van de diepte van de tunnel.

De Launch Shaft worden na het in bedrijf stellen van de pijpleiding opgevuld met zand en de tunnel wordt opgevuld met cement.

2.1 Pijpleiding verankering

Naast de Launch Shaft en de tunnel is er ook een pijpleiding verankering op de bodem van de Launch Shaft. Deze verankering zorgt ervoor dat wanneer het metaal van de pijpleiding door warmte uitzet dit niet in de richting van de Launch Shaft kan en geen beweging in de pijpleiding optreed in de Launch Shaft. In Figuur 2-3 zijn de tekeningen van het verankeringspunt weergegeven. De constructie zit vast aan de pijpleiding en is verankerd aan de stuwmuur.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.



Figuur 2-3: Links het zijaanzicht van de Launch Shaft waar onderin de verankering naar de stuwmuur is weergegeven. Rechts een overzicht van de pijpleiding met het verankering systeem.

2.2 Objecten in de omgeving van de tunnel

In Figuur 2-4 wordt de lokale omgeving rond de tunnel weergegeven. Het strand van Hoek van Holland ligt op een afstand van 4.2 km bij de tunnel vandaan, buiten de effectafstanden van een eventueel incident met daarbij het vrijkomen van CO_2 van de pijpleiding.
In de directe omgeving op de Maasvlakte zelf zijn verschillende gebouwen waar potentieel mensen aanwezig zijn:

1 Brandweer Kazerne Pr Maximaweg (gele stip);
2 Euromax terminal kantoor en distributiecentrum (groene stip);
3 Euromax terminal kantoor 2 (roze stip); en
4 Snackbar (oranje stip).

Daarnaast zijn er nog opslaglocaties waar mogelijk mensen aanwezig zijn:

5 Euromax terminal (blauw);
6 Maasvlakte Olie terminal (lichtgroen);
7. Toekomstige locatie 1 (oranje); en
8. Toekomstige locatie 2 (paars)

Ook zijn er regelmatig mensen aanwezig die het strand bij de havenmond bezoeken. Dit is in de omgeving van de snackbar.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.



Figuur 2-4: Populatie in de omgeving van de tunnel. De rode lijn is de locatie van de tunnel.

In de vaargeul naar de Rotterdamse haven varen gemiddeld rond de 7 schepen (voornamelijk vracht) per uur langs de Maasvlakte [Ref 1]. De tunnel bevindt zich onder deze vaargeul. De schepen mogen hier niet voor anker en bevinden zich dus een beperkte tijd in de buurt van de tunnel.

Voor de gebouwen en locaties in de omgeving zijn de populatiegegevens toegepast als weergegeven in Tabel 2-1. De getallen komen uit de QRA (Quantitative Risk Assessment) van het project [Ref 2].

Tabel 2-1: Populatiegegevens in omgeving van de Launch Shaft

Locatie	Omschrijving	Aantal personen dag	Aantal personen nacht
Brandweer Kazerne		10	10
Euromax terminal kantoor 1 en 2	Middelgroot kantoor	98	0
Euromax terminal logistiek centrum	Werknemers in het logistiek centrum	10	10
Snackbar	Lokale snackbar	10	0
Euromax Terminal	Container opslag en verlading van 74 ha	200	0
Maasvlakte Olie Terminal[a]	Olie opslag tank met oppervlak van 112 ha	560	112
Strand		50	0
Toekomstige locatie 1[a]	Locatie van 92 ha	460	92
Toekomstige locatie 2[a]	Locatie van 25 ha	125	25

a) 5 personen per ha tijdens de dag en 1 personen per ha tijdens de nacht zoals per PGS1 deel 6 [Ref 3]

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

2.3 Aard en hoeveelheid van stoffen

In de Aramis pijpleiding stroomt superkritische (dense phase) CO_2 en wanneer dit vrijkomt zal het CO_2 gasvormig zijn. CO_2 is een lucht verdringend, toxisch gas en bij te hoge concentraties kan er verstikking optreden. De concentraties die horen bij verschillende Lethal Concentration (LC) waardes voor 10 minuten zijn weergegeven in Tabel 2-2. Dit zijn de waarden voor de personen buitenshuis.

Tabel 2-2: Letaliteit waarden gebruikt voor de Safeti-NL modellering.

Materiaal	LC50% (10min)	LC10% (10min)	LC1% (10min)
CO_2 concentratie	105.000 ppm	89.900 ppm	79.000 ppm
Letaliteit equivalent	100%	10%	1%

Het CO_2 bevindt zich in een pijpleiding met een diameter van 32” en een totale lengte van 200 km. De CO_2 stroomt door de leiding met een druk van 190 bar en een temperatuur van 60°C.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

3 CONSEQUENTIES VAN EEN FALENDE CONSTRUCTIE

Er zijn drie specifieke constructieonderdelen van de tunnel die apart van elkaar omschreven worden omdat de consequenties van het falen van deze onderdelen verschillend zijn:

1. Launch shaft
2. Tunnel
3. Pijpleiding verankering

3.1 Consequenties van een falende Launch Shaft

Tijdens de operationele fase is de Launch Shaft gevuld met zand of cementslurry. Doordat de Launch Shaft compleet gevuld is met cementslurry kan schade hiervan niet leiden tot instorten en het falen van de pijpleiding. Het bouwwerk heeft geen functie tijdens de operationele fase.

Hierdoor is er geen additioneel risico voor mensen, omgeving en economie door eventuele schade aan de Launch Shaft.

3.2 Consequenties van een falende tunnel

De functie van de tunnel is het plaatsen van de pijpleiding. Tijdens de operationele fase is de tunnel gevuld met zand en cementslurry en heeft het bouwwerk geen functie meer. Door het vullen van de tunnel kan de tunnel niet instorten en escalatie veroorzaken aan het leidingwerk, omdat de vulling in de tunnel de potentiële vallende objecten tegenhoud. Mocht de tunnel schade oplopen, dan leidt dit niet tot schade aan de pijpleiding.

De pijpleiding in de tunnel is gebouwd met hetzelfde materiaal en dezelfde ontwerpstandaard als de CO_2 pijpleiding die eerder in het tracé onder de dijk door gaat. De pijpleiding in de tunnel is ontworpen volgens de NEN3651 met hogere ontwerpeisen dan de pijpleiding op de zeebodem die downstream van de tunnel ligt in open water. Eventueel water wat in de tunnel kan lekken wanneer deze schade oploopt zal geen problematische externe corrosie veroorzaken op de CO_2 pijpleiding.

Hierdoor is er geen additioneel risico voor mensen, omgeving en economie door eventuele schade aan de tunnel.

3.3 Consequenties van een falende pijpleiding verankering

Wanneer de pijpleiding verankering schade oploopt kan door de expansie van het metaal in de pijpleiding bij temperatuurverschillen de pijpleiding bij de Launch Shaft gaan bewegen. Dit zorgt voor spanning in het stuk pijpleiding in de Launch Shaft en wanneer dit boven de tolerantie van het materiaal uitkomt kan dit leiden tot schade en lekkage van CO_2 in de Launch Shaft. Om dit scenario weer te geven is er een modellering met Safeti-NL versie 8.8 gedaan [Ref 4]. Hierbij is een toxische CO_2 wolk gemodelleerd die vrijkomt vanuit de Launch Shaft. Voor de effecten zijn de volgende uitgangspunten genomen:

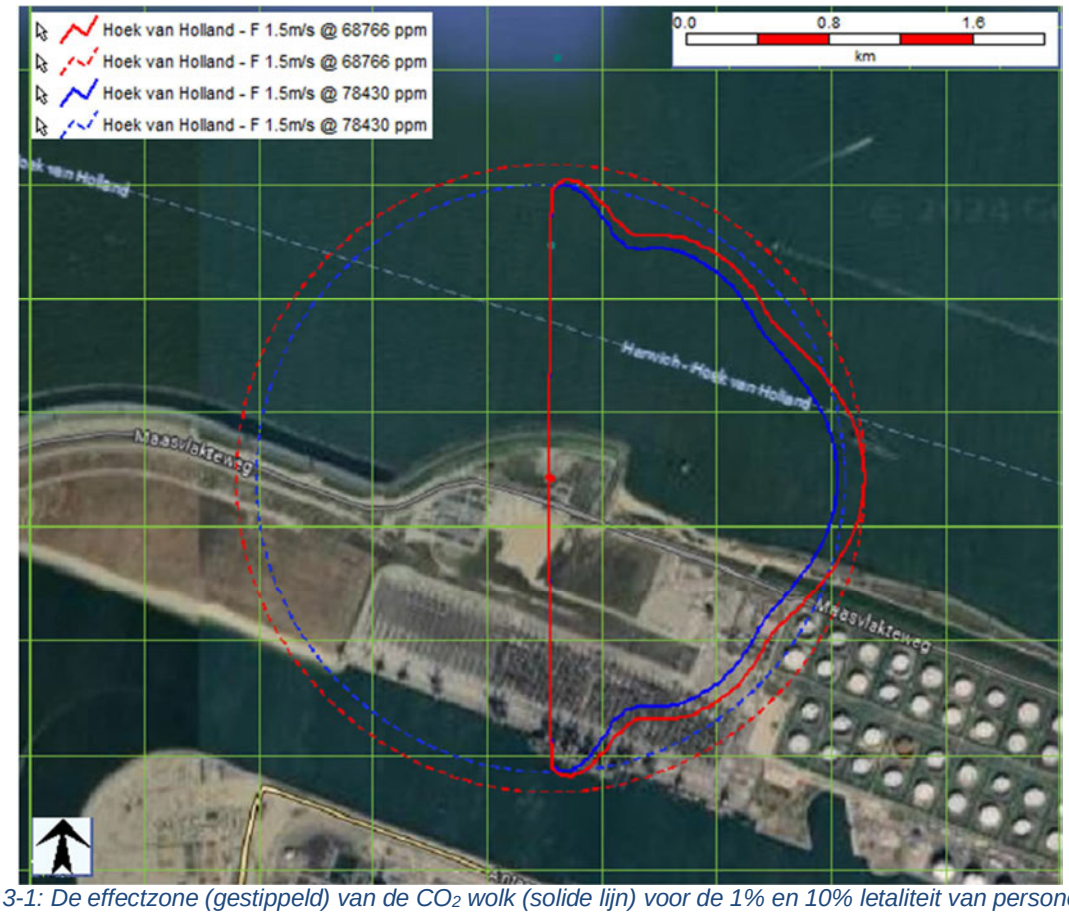
- Het CO_2 dat uit de pijpleiding komt wordt gemodelleerd volgens de BEVB rekenmethodiek;
- Voor de toxiciteit van CO_2 is de standaard probit waarde van het RIVM meegenomen;
- Breuk van de gehele 32'' pijpleiding (Full Bore Rupture) – leidt tot de grootste consequenties.

Omdat de wolk in alle richtingen kan drijven, afhankelijk van de wind, is de effectzone van de wolk weergegeven. Voor de toxiciteit zijn de volgende waarde weergegeven:

- 1% letaliteit voor personen in de buitenlucht - LC1% (30 min blootstelling)
- 10% letaliteit voor personen in de buitenlucht - LC10% (30 min blootstelling)

De resultaten zijn te zien in Figuur 3-1.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.



Figuur 3-1: De effectzone (gestippeld) van de CO_2 wolk (solide lijn) voor de 1% en 10% letaliteit van personen in de buitenlucht.

Binnen de effectzone van het vrijgekomen CO_2 via de Launch Shaft staan verschillende gebouwen en locaties waar mensen werken/verblijven zoals aangegeven in sectie 2.2.

De locatie van de verankering is onshore en de consequentie is zodanig gemodelleerd.[1]

3.3.1 Gevolgen voor mensenlevens

Door alle populatiegegevens in Safeti-NL software mee te nemen, kan bepaald worden wat de grootste potentiële impact is van het vrijkomen van CO_2 bij de Launch Shaft met betrekking tot het verlies van mensenlevens. Uit het Safeti-NL model blijkt dat het aantal slachtoffers mogelijk kan oplopen tot 56 in de omgeving van de Maasvlakte door een breuk van de leiding bij de Launch Shaft na het falen van de verankering.

3.3.2 Gevolgen voor milieu

CO_2 is een broeikasgas, maar het vrijkomen heeft geen significante directe gevolgen voor het milieu in de omgeving van de Maasvlakte. De CO_2 zal zich verdunnen in de lucht en verspreiden in de atmosfeer.

[1] Mocht er om andere redenen dan het falen van het bouwwerk een lek optreden in de pijpleiding offshore, dan kan er een gas bubbel in het water ontstaan. Doordat de waterdiepte in de buurt van de pijpleiding laag is ontstaat er een relatief kleine bubbel. Volgens onderzoek [7] is de verwachting dat het drijvend vermogen van grote zeeschepen voldoende is zodat ze niet zullen zinken door deze gas bubbel.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

3.3.3 Economische gevolgen

Er zijn significante economische gevolgen voor Aramis door de schade aan de pijpleiding.
Echter kan de CO_2 wolk zelf geen schade aanrichten op gebouwen en/of andere structuren, waaronder de zeewering die op grote afstand van de verankering ligt. De pijpleiding voldoet aan de NEN 3651 [5]. Hierdoor zijn de economische gevolgen voor de omgeving minimaal.

3.4 Risicobeoordeling gevolgklasse

Voor de beoordeling van de gevolgklasse van industriële bouwwerken waar een bouwvergunning voor nodig is, krijgt de tunnel als uitganspunt de CC3 gevolgklasse identificatie. Omdat de pijpleiding in de tunnel van het Aramis project CO_2 bevat, wat is geclassificeerd als een giftige stof, is de tunnel initieel ook ingedeeld in gevolgklasse CC3.

Het is mogelijk om de gevolgklasse te reduceren door aan te tonen dat eventuele catastrofale gevolgen na het bezwijken van de constructie lager liggen dan wat er bij CC3 geassocieerd wordt.

De reductie is onderbouwd aan de hand van tabel NB.23 van de NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2019.

3.4.1 Gevolgklasse omschrijving

De criteria van elke gevolgklasse zijn in tabel NB.23 als volgt beschreven:

Gevolgklasse[a]	Omschrijving
CC3	**Grote** gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens[b], en/of **zeer grote** economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.
CC2	**Middelmatige** gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of **aanzienlijke** economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.
CC1	Nader onderverdeeld in:
CC1b	**Geringe** gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en **kleine** of **verwaarloosbare** economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.
CC1a	**Nagenoeg uitgesloten** verlies van mensenlevens en **zeer kleine** of **verwaarloosbare** economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

a Project specifieke indeling mag worden gedaan op basis van risicoanalyse, volgens 2.2 van NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019. Voorbeelden voor de toepassing van de gevolgklassen staan in Tabel NB.24 – B1.

b Bedoeld zijn situaties van openbare bouwwerken, waarin zich tegelijkertijd veel mensen kunnen ophouden en waarbij bij bezwijken van een essentieel onderdeel ineens een groot aantal mensen kan worden getroffen.

Figuur 3-2: gevolgklasse omschrijving als per 1990+A1+A1/C2/NB:2019

De classificatie “grote gevolgen” is bedoeld voor het falen van gebouwen met >500 slachtoffers, zoals evenementenlocaties of gebouwen nabij grote concentraties mensen. Op basis van de bovenstaande criteria is beoordeeld wat de gevolgen zijn van het (deels) bezwijken van de constructie met gevaarlijke stoffen.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

3.4.2 Launch Shaft gevolgklasse

Het falen van de launch Shaft tijdens normale operatie heeft “nagenoeg uitgesloten verlies van mensenlevens en zeer kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving” aangezien schade aan de launch Shaft niet leidt tot schade aan de pijpleiding.

3.4.3 Tunnel gevolgklasse

Het falen van de tunnel tijdens normale operatie heeft “nagenoeg uitgesloten verlies van mensenlevens en zeer kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving” aangezien schade aan de tunnel niet leidt tot schade aan de pijpleiding.

3.4.4 Pijpleiding verankering gevolgklasse

Het falen van de tunnel en de pijpleiding verankering tijdens normale operatie heeft “middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en zeer kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving” aangezien schade aan de pijpleiding verankering kan leiden tot schade aan de pijpleiding.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

4 CONCLUSIE

Voor de beoordeling van de gevolgklasse van industriële bouwwerken waar een bouwvergunning voor nodig is, krijgt deze als uitganspunt de CC3 gevolgklasse identificatie. Omdat de pijpleiding in de tunnel van het Aramis project CO_2 bevat, wat is geclassificeerd als een giftige stof, is de tunnel initieel ook ingedeeld in gevolgklasse CC3.

Het is mogelijk om de gevolgklasse te reduceren door aan te tonen dat eventuele catastrofale gevolgen na het bezwijken van de constructie lager liggen dan wat er bij CC3 geassocieerd wordt. Voor de tunnel is met behulp van de NEN-EN-1990-NB2019 een risicobeoordeling uitgevoerd, waarbij is nagegaan onder welke gevolgklasse de tunnel valt.

4.1 Launch Shaft en Tunnel

Op basis van de risicoanalyse, kan geconcludeerd worden dat voor de launch Shaft en de tunnel geldt dat:

- Verlies van mensenlevens nagenoeg uitgesloten is;
- Economische of sociale gevolgen verwaarloosbaar zijn; en
- Gevolgen voor de omgeving en milieu verwaarloosbaar zijn.

Met deze analyse en op grond van NEN-EN-1990-NB2019, tabel NB.23, is geconcludeerd dat voor de civiele constructies voor de Launch Shaft en de tunnel gevolgklasse CC2 toereikend is.

4.2 Pijpleiding verankering

Op basis van de risicoanalyse, kan geconcludeerd worden dat voor de pijpleiding verankering geldt dat:

- Middelmatige gevolgen qua verlies van mensenlevens zijn geïdentificeerd;
- Economische of sociale gevolgen verwaarloosbaar zijn; en
- Gevolgen voor de omgeving en milieu verwaarloosbaar zijn.

Met deze analyse en op grond van NEN-EN-1990-NB2019, tabel NB.23, is geconcludeerd dat voor de civiele constructies voor de pijpleiding verankering gevolgklasse CC2 toereikend is.

Door de combinatie van de potentiële gevolgen voor mensenlevens en de economische schade voor het Aramis project zelf, is gekozen om de constructie van de pijpleiding verankering desondanks volgens de eisen van CC3 te ontwerpen.

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

5 REFERENTIES

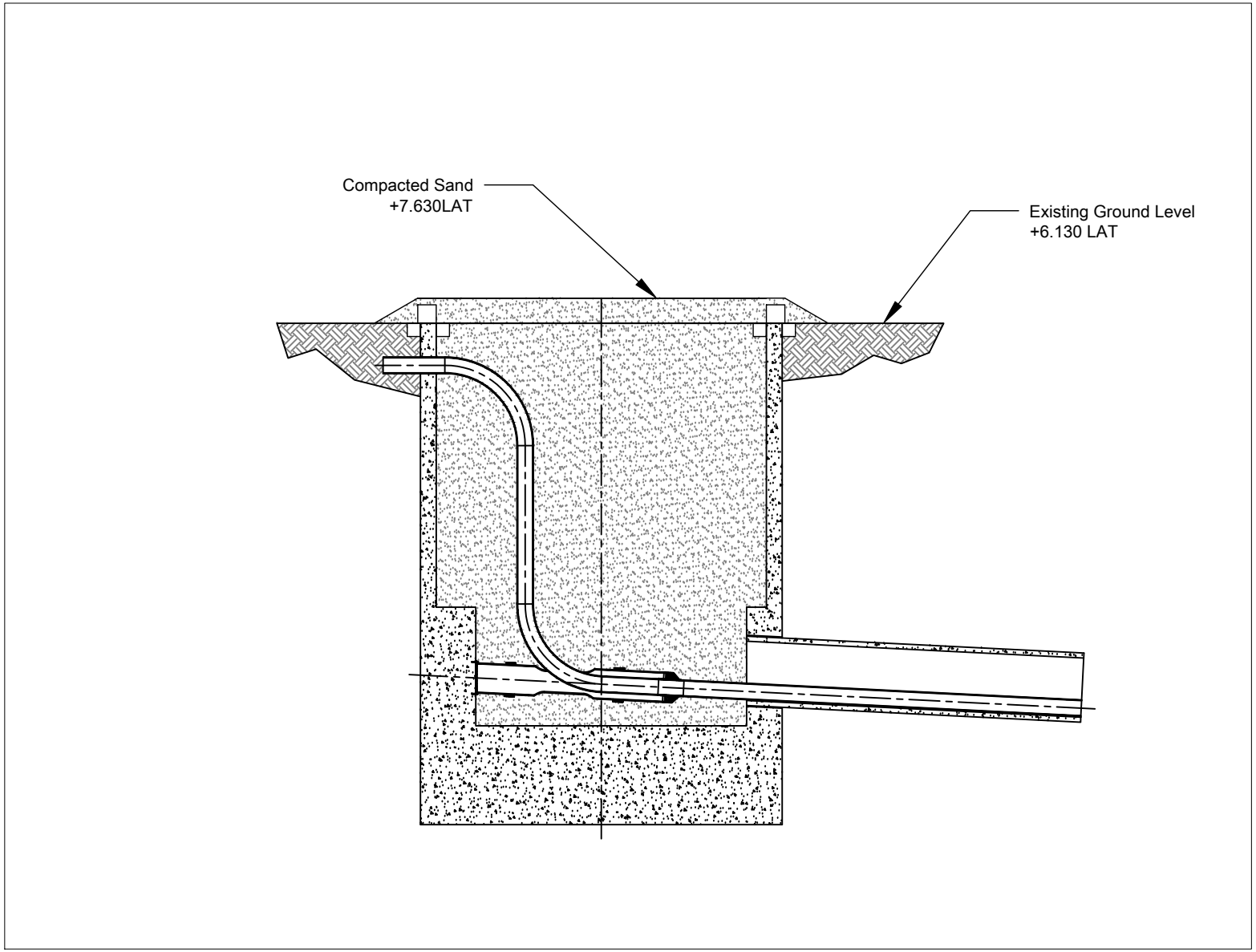
Reference	Title
1	Nautische jaarcijfers 2023 port of Rotterdam, September 2024, Geraadpleegd via website: https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/nautische-jaarcijfers-2023
2	ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2006, External safety report zeeleiding onshore, Februari 2024, Royal HaskoningDHV,
3	PGS1 deel 6: Aanwezigheidsgegevens, December 2003, VROM
4	Softwarepakket Safeti-NL, versie 8.8, DNV
5	Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid – Module V – Buisleidingen, Oktober 2020, RIVM
6	NEN, “NEN 3651: 2020 (en), Additional requirement for pipelines in or nearby important public works.,” NEN, 2020.
7	J. Milgram, P.R. Erb, How floaters respond to subsea blowouts, 1984

This document has been developed by EBN, Gasunie, Shell and TotalEnergies under the terms of the Cooperation Agreement of the Aramis Project.
Its content is protected under the confidentiality obligations of said agreement.

Bijlage 4

Doorsnede eindsituatie

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together


Compacted Sand
+7.630LAT
Existing Ground Level
+6.130 LAT

Bijlage 5

Flora en fauna

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

> Retouradres Postbus 40225 8004 DE Zwolle

TotalEnergies EP Nederland B.V.
Postbus 93280
2509 AG 's-Gravenhage

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Prinses Beatrixlaan 2
Den Haag

Postbus 40225
8004 DE Zwolle
www.rvo.nl

T 088 042 42 42
omgevingswetnatuur@rvo.nl

Onze referentie
2024070201397

Relatienummer
208488324

Datum 3 juli 2024
Betreft Ontvangstbevestiging aanvraag flora- en fauna-activiteit

Geachte heer/mevrouw,

Op 2 juli 2024 heb ik uw aanvraag ontvangen. U wilt graag een omgevingsvergunning voor een flora- en fauna-activiteit voor het project "BH8744 ARAMIS flora en fauna activiteit". In deze brief leest u wat u van ons kunt verwachten.

Aanvraag behandelen
Heb ik geen aanvullende informatie van u nodig? Dan kan ik uw aanvraag behandelen en neem ik voor 27 augustus 2024 een beslissing. Is uw aanvraag niet compleet, of is er door een andere reden meer tijd nodig dan 8 weken? Dan neem ik contact met u op per brief.

Alleen na betaling van de leges kunnen wij ons besluit afgeven.

Meer informatie
Heeft u vragen? Kijk dan op www.rvo.nl/voorwaarden-flora-en-fauna-activiteit voor meer informatie. Chat met ons op www.rvo.nl/contact. Of bel ons op: 088 042 42 42 (lokaal tarief). Uw aanvraag is bij ons bekend onder referentienummer 2024070201397. Gebruik dit nummer als u contact met ons heeft.

Met vriendelijke groet,

De Minister voor Natuur en Stikstof,
namens deze:

[redacted]

Dit bericht is automatisch gegenereerd en bevat daarom geen handtekening.

Bijlage 6

Geotechnisch onderzoek

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Tunnel FEED - Ground Investigation Report				Document Reference NL-ARM-040-ARU1-110303	
				Revision: 02	**Step**: IFD
				Date: 21-06-2024	
Document Type: REP	**Family Equip:** n/a	**Discipline:** CIV	**Class:** 2	**Page** 1 of 178	

ARAMIS

ARAMIS PROJECT

Petrofac

Rev	Step	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
00	IFR	04-03-2024	Issue for Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
01	IFD	21-05-2024	Issued for Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]
02	IFD	21-06-2024	Issued for Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]

This document is issued pursuant to an Agreement between TotalEnergies Nederland B.V and Petrofac Facilities Management Limited which agreement sets forth the entire rights, obligations, and liabilities of those parties with respect to the content and use of the report. Reliance by any other party on the contents of the report shall be at its own risk. Petrofac makes no warranty or representation, expressed or implied, to any other party with respect to the accuracy, completeness or usefulness of the information contained in this report and assumes no liabilities with respect to any other party's use of or damages resulting from such use of any information, conclusions or recommendations disclosed in this document.

Contents

CONTENTS **2**

ABBREVIATIONS **6**

HOLDS **7**

1 INTRODUCTION **8**

1.1 Background 8

1.2 Purpose of Document 8

1.3 Description of anticipated works 9

1.4 Other relevant information 9

2 EXISTING INFORMATION **11**

2.1 General 11

2.2 Topography and Bathymetry 11

2.3 Geological maps, papers and memoirs 13

2.4 Site history 17

2.5 Archaeology 22

2.6 Previous investigations 23

2.7 Flood risk and flood defences 23

2.8 Contamination 23

2.9 Hydrogeology 24

2.10 Unexploded Ordnance (UXO) 25

2.11 Subsidence 25

3 FIELD AND LABORATORY STUDIES **27**

3.1 Ground investigations in sequence order 27

3.2 Fugro (2023) ground investigation 28

3.2.1 Exploratory Holes 28

3.2.2 Laboratory Testing 33

4 GROUND PROFILE SUMMARY **35**

4.1 Geology 35

4.2 Stratigraphy 37

4.3 Groundwater 37

4.4 Man-made features 38

5 GEOTECHNICAL PROPERTIES **39**

5.1 Notes on test interpretation 39

5.2 CPT comparison with boreholes 39

5.3 Made Ground 40
5.4 Naaldwijk Formation 45
5.5 Kreftenheye Formation 51
5.6 Winterton Shoal Formation 55
5.7 Soil Abrasivity 60
5.8 Ground Aggressivity 60
6 GEOTECHNICAL PARAMETERS 62
6.1 Parameter Derivation 62
6.1.1 Unit weight, γ 62
6.1.2 Relative density, D_r 62
6.1.3 Friction angle, φ 63
6.1.4 Effective cohesion, c' 64
6.1.5 Undrained Shear Strength, S_u 64
6.1.6 Poisson's Ratio, v 65
6.1.7 Small Strain Shear Modulus, G_0 65
6.1.8 Drained Young's Modulus, E' 66
6.1.9 Undrained Young's Modulus, E_u 66
6.1.10 Permeability, k 67
6.1.11 In-situ earth pressure coefficient, K_0 68
6.2 Summary of CPT parameters 69
6.2.1 Made Ground – CPT parameters 69
6.2.2 Naaldwijk Formation– CPT parameters 72
6.2.3 Kreftenheye Formation– CPT parameters 75
6.2.4 Winterton Shoal Formation– CPT parameters 77
6.3 Summary of Geotechnical Characteristic Parameters 78
6.3.1 Made Ground – coarse soils 78
6.3.2 Made Ground – fine soils 80
6.3.3 Naaldwijk Formation – coarse soils 81
6.3.4 Naaldwijk Formation – fine and peat soils 83
6.3.5 Kreftenheye Formation – coarse soils 84
6.3.6 Winterton Shoal Formation – coarse soils 86
6.3.7 Winterton Shoal Formation – fine soils 87
6.4 Soil profiles 88
6.4.1 Shaft site 88
6.4.2 Sea defence site 90

6.4.3 Offshore (shipping channel) 91
6.4.4 Reception pit 92
6.5 Groundwater levels 93
7 RISK REGISTER 94
8 REFERENCES 96

List of Figures

Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure 8
Figure 2-1 General site location (Google Earth, 2024) 11
Figure 2-2 Onshore Topography of the Shark Fin site (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2024) 12
Figure 2-3 Shipping Channel Bathymetry (Fugro, 2023) 13
Figure 2-4 Geological Map of Maasvlakte and Surrounding Area (DINOloket, DINOloket Substrate Models, 2024) 14
Figure 2-5 North Sea Supergroup Stratigraphy (Rijsdijk. K. F, 2005) 15
Figure 2-6 Maasvlakte Site History (Kadaster, 2024) 18
Figure 2-7: Salient Chronology of Maasvlakte Sea Defence (Kadaster, 2024) 19
Figure 2-8 Cross Section of Sea Defence (Rotterdam Port Authority, 2015) 20
Figure 2-9 TenneT Power Cable HDDs (Deltares, 2018) 20
Figure 2-10 Historical Satellite Imagery (Google Earth, 2024) 22
Figure 2-11 Hydrogeological Profile of Launch Shaft Site (DINOloket, DINOloket Substrate Models, 2024) 25
Figure 2-12 Shark Fin Subsidence Map (SkyGeo, 2024) 26
Figure 3-1 Shark Fin onshore and nearshore exploratory hole locations (Fugro, 2023) 32
Figure 3-2 Shipping Channel and Offshore Exploratory Hole Locations (Fugro, 2023; Fugro, 2019) 33
Figure 4-1. Simplified geological section with indicative shaft and tunnel alignment 36
Figure 6-1: Histogram of friction angles from shear box and triaxial tests for all sand, silty sand and gravelly sand samples 63
Figure 8-1: CPT to borehole cross-correlation, CPT AHL2 / BH AHL1A 185
Figure 8-2: CPT to borehole cross-correlation, CPT AHL4A / BH AHL3 185

List of Tables

Table 3-1: Fugro 2023 Ground Investigation Exploratory Hole Summary 28
Table 3-2: Fugro 2019 and 2023 Ground Investigation Exploratory Hole Details 28
Table 3-3: Fugro (2023) Number of Reported Tests 34
Table 4-1: Summary of strata thickness and levels 37
Table 4-2: Fugro (2023) Groundwater Strikes 38
Table 5-1 Made Ground index test results – coarse soils. 42
Table 5-2 Made Ground laboratory test results - coarse soils. 43
Table 5-3 Naaldwijk Formation index test results – coarse soils. 46

Table 5-4 Naaldwijk Formation index test results – fine and peat soils. 47
Table 5-5 Naaldwijk Formation laboratory test results - coarse soils. 49
Table 5-6 Naaldwijk Formation laboratory test results - fine soils. 50
Table 5-7 Naaldwijk Formation consolidation test results 51
Table 5-8 Kreftenheye Formation index test results - coarse soils. 52
Table 5-9 Kreftenheye Formation laboratory test results - coarse soils. 53
Table 5-10 Winterton Shoal Formation index test results - coarse soils. 55
Table 5-11 Winterton Shoal Formation index test results - fine soils. 56
Table 5-12 Winterton Shoal Formation laboratory test results - coarse soils. 58
Table 5-13: Winterton Shoal Formation Consolidation Test Results 59
Table 6-1: Assumed Drained Poisson Ratio 65
Table 6-2 Estimates of permeability from CPT Soil Behaviour Type (Lunne, Powell, & Robertson, 1997) 68
Table 7-1: Geotechnical Risk Matrix 94
Table 7-2 – Geotechnical Risk Register 94

ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
AGS	Association of Geotechnical and Geo-environmental Specialists
CCS	Carbon Capture and Storage
EPB	Earth Pressure Balance
GI	Ground Investigation
HDD	Horizontal Directional Drilling
LAT	Lowest Astronomical Tide (survey vertical datum)
NAP	Normaal Amsterdams Peil (Amsterdam Ordnance Datum)
SAT™	Soil Abrasion Test™
SBT	Soil Behaviour Type
TBM	Tunnel Boring Machine
Geological Units:	
MGR	Made Ground
NLD	Naaldwijk Formation
KR	Kreftenheye Formation
WN	Winterton Shoal Formation

HOLDS

No.	Section	Hold

1 INTRODUCTION

1.1 Background

The Aramis project is a cooperation between Shell, TotalEnergies (TTE), Gasunie and EBN to utilise depleted gas fields and potentially aquifers in the Dutch North Sea to establish an open-access CCS infrastructure for transport and storage, targeting hard-to abate industrial emissions in the Netherlands and Europe.

This part of the project provides the transport of CO_2 from the onshore terminal to an offshore platform, which is used as distribution hub (D-Hub). Other parts of the project are provided by CO2next and Porthos, while the actual storage in the depleted offshore gas fields under the North Sea is performed by Shell and TotalEnergies as part of their offshore operations.

In Figure 1-1 below an overview of the envisaged CCS infrastructure is given. The left panel illustrates the trunkline that transports the CO_2 from the Maasvlakte to the offshore storage. The middle panels illustrate the Maasvlakte Hub with the Porthos compressor station and the CO_2 next Terminal. The right panel shows the platforms of TTE and Shell.

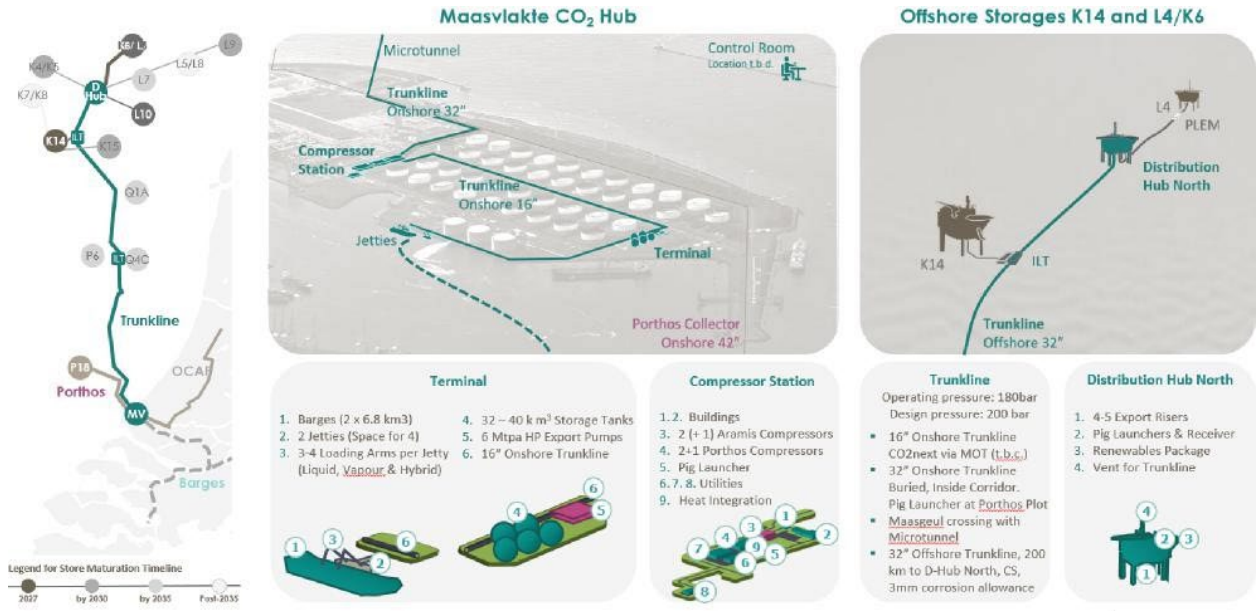


Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure

1.2 Purpose of Document

This document is a review of historic data from previous ground investigations, geological literature and other publicly available data. The aim is to provide a set of guide parameters for geological materials and provide an initial assessment of risks from the ground to proposed design and construction of the onshore and nearshore infrastructure.

The interpretation of the geotechnical parameters presented in this version of the Ground Investigation Report are “characteristic” for use in “design by calculation” in accordance with Section 2.4 of NEN9997-1+C1:2012.

1.3 Description of anticipated works

At the time of preparation of this report, the works broadly comprise:

- Launch shaft for tunnel (structural form of shaft not yet determined), within the Maasvlakte ‘shark fin’ site, plus associated construction infrastructure to support tunnel construction;
- Approximately 3.0m internal diameter tunnel which passes beneath the sea wall and is predominantly beneath the North Sea / Maasgeul. It is anticipated to be a jacked tunnel extending from the shaft and under the sea wall, switching to segmental Tunnel Boring Machine (TBM) on a ‘flying start’ at an intermediate sub-sea point on the tunnel (not yet determined);
- Reception pit for the TBM approximately 2km from the launch shaft, beyond the shipping channel (structural form of pit not yet determined).
- Continuation of the tunnel or pipeline works beyond the retrieval shaft is not within the scope of this report.

1.4 Other relevant information

This report has been produced by Arup for the anticipated Works in connection with the Maasvlakte Hub and first 2km of tunnel within the Aramis project, to support nearshore pipeline works. It takes into account the particular instructions and requirements of our Client. It is not intended for and should not be relied upon by any third party and no responsibility is undertaken to any third party.

This report is based on the sources detailed within the report text and believes them to be reliable but cannot and does not guarantee the authenticity or reliability of third-party information. Note that the ground Investigation design, specification and supervision of ground investigation has been undertaken by others. Notwithstanding the efforts made by the professional team in undertaking the ground investigation, it is possible that ground conditions other than those potentially indicated by this report may exist at the site.

The results of the ground investigations have been interpreted taking into account the groundwater table, ground type, drilling method, transport, handling and specimen preparation. Where data has been interpreted the assumptions made in the interpretation are stated.

The geotechnical investigations and design contained in this report are based upon the assumptions listed in NEN 9997-1+C1:2012 (referencing EN 1990:2002),, para. 1.3 which are repeated below for clarity:

- data required for design are collected, recorded and interpreted by appropriately qualified personnel;
- structures are designed by appropriately qualified and experienced personnel;
- adequate continuity and communication exist between the personnel involved in data-collection, design and construction;

- adequate supervision and quality control are provided in factories, in plants, and on site;
- execution is carried out according to the relevant standards and specifications by personnel having the appropriate skill and experience;
- construction materials and products are used as specified in this standard or in the relevant material or product specifications;
- the structure will be adequately maintained to ensure its safety and serviceability for the designed service life; and
- the structure will be used for the purpose defined for the design.

2 EXISTING INFORMATION

2.1 General

The site is located in the Maasvlakte region of Rotterdam, a man-made extension of Europoort Rotterdam, with construction beginning in the 1960s (Maasvlakte 1) and continuing into the 2000s (Maasvlakte 2). The Shaft location is situated within an area known as the 'Shark Fin' within the wider area of the Maasvlakte, adjacent to the Kazerne Prinses Maximaweg Fire Station. Figure 2.1 highlights the Shark Fin site and approximate tunnel alignment.

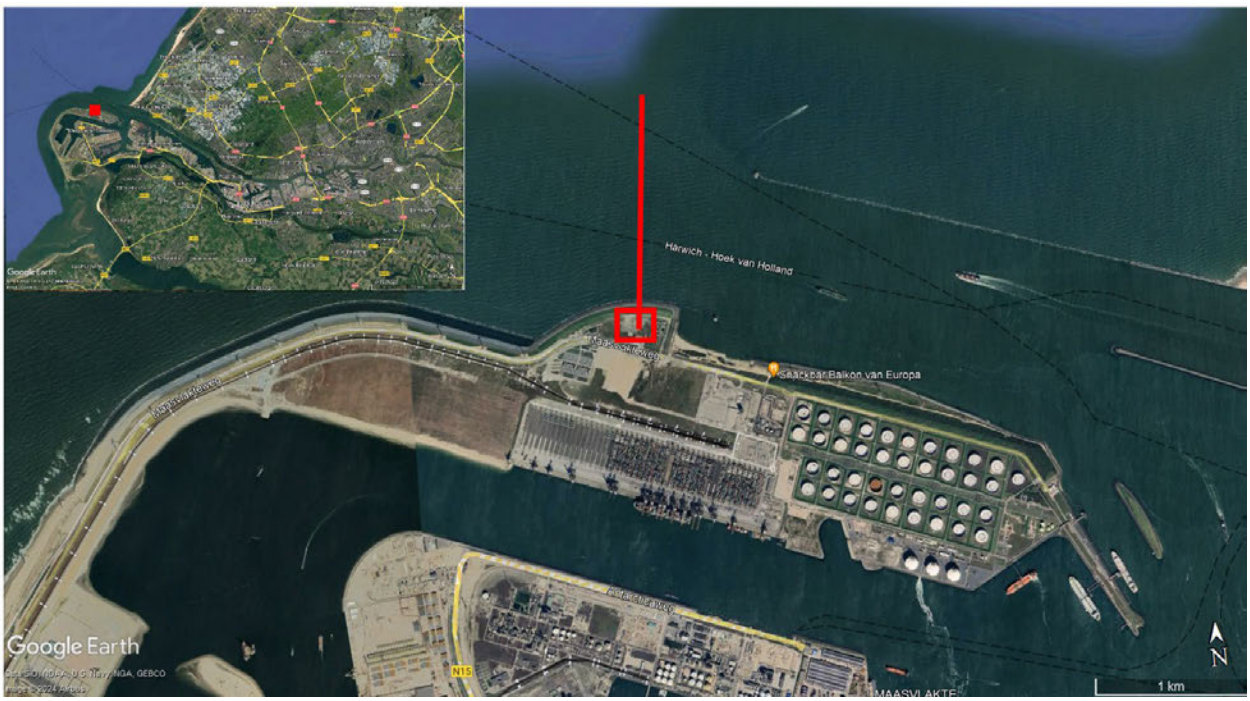


Figure 2-1 General site location (Google Earth, 2024)

The proposed tunnel alignment extends approximately 2km north, beneath the Maasgeul shipping channel to an offshore reception pit in open water.

2.2 Topography and Bathymetry

For consistency with other parts of the design and previous reports, all elevation data is presented in metres to Lowest Astronomical Tide datum (mLAT). which is the designated offshore chart datum in the Netherlands as per NLLAT2018 (Dutch Ministry of Defence, 2020). The Shark Fin site LAT is given as 1.03m below NAP (Mott MacDonald, 2023) which has been used wherever NAP to LAT conversions were required.

The land around the Shark Fin and surrounding areas of Maasvlakte has been reclaimed from the North Sea and is at a consistently low elevation of approximately +4mLAT. Figure 2.2, an open-source LiDAR topography map created by Actueel Hoogtebestand Nederland (2024) shows the elevations of the Shark Fin site. Sea defence embankments around the Shark Fin represent localised rises in elevation to approximately +13.5mLAT (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2024). The elevations are defined using Lowest Astronomic Tide (LAT).

The bathymetric survey of the Maasmond shipping channel conducted as part of the Fugro Nearshore Geophysical Survey (Fugro, 2022) is presented in Figure 2.3, with a plan view of seabed bathymetry and cross-sectional profile of seabed topography as of November 2022 shown. Bathymetric assessments indicate the shipping channel has experienced frequent dredging activities, as shown by the numerous linear features on the channel bed, and currently has an approximate ground level of -25mLAT based on the most recent bathymetric survey of the Maasmond shipping channel (Figure 2.3) (Fugro, 2022).

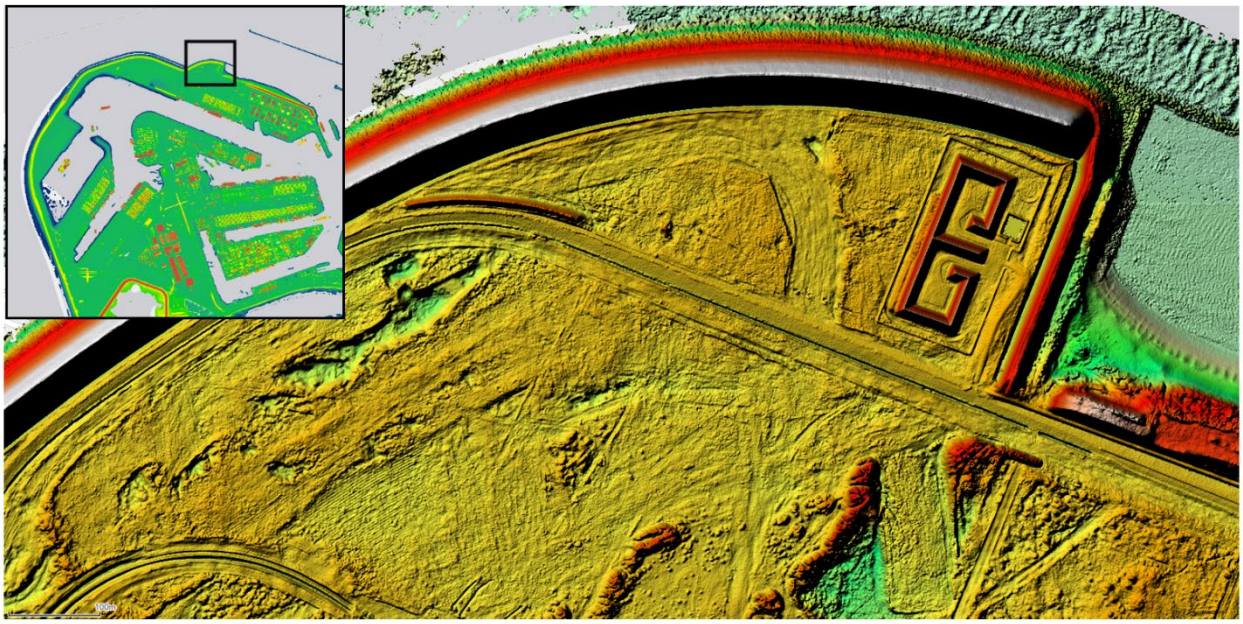


Figure 2-2 Onshore Topography of the Shark Fin site (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2024)

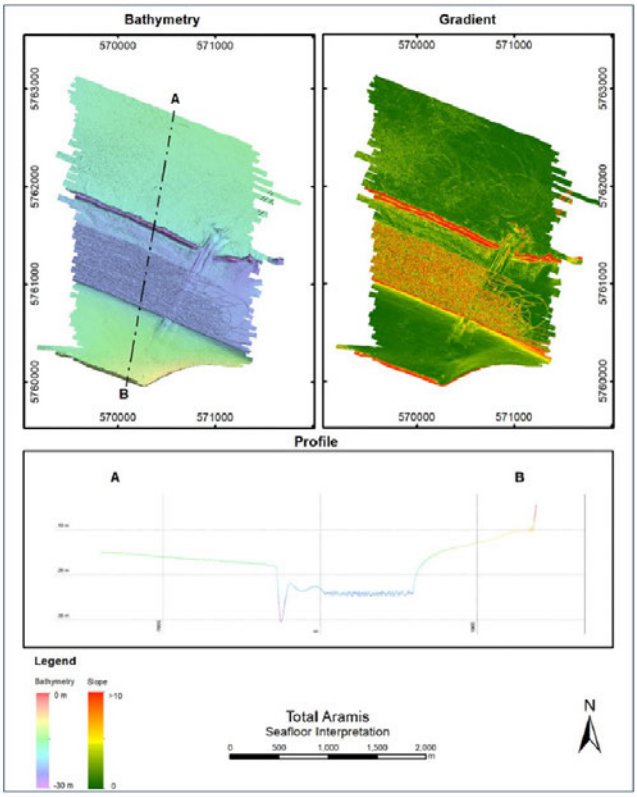


Figure 2-3 Shipping Channel Bathymetry (Fugro, 2023)

2.3 Geological maps, papers and memoirs

Subsurface geological models sourced from DINOloket (2024) have been reviewed and highlight extensive coverage of the Naaldwijk Formation tidal deposits around the site, with a narrow corridor of river deposits belonging to the Kreftenheye Formation immediately offshore of the Shark Fin in the Maasmond shipping channel, likely due to the removal of Naaldwijk deposits from frequent dredging activities. A geological map of Maasvlakte and the surrounding offshore area sourced from DINOloket (2024) is shown in Figure 2.4 with Table 2.1 describing the associated stratigraphic nomenclature of the formations encountered during the previous ground investigations (DINOloket, Stratigraphic Nomenclature, 2024).

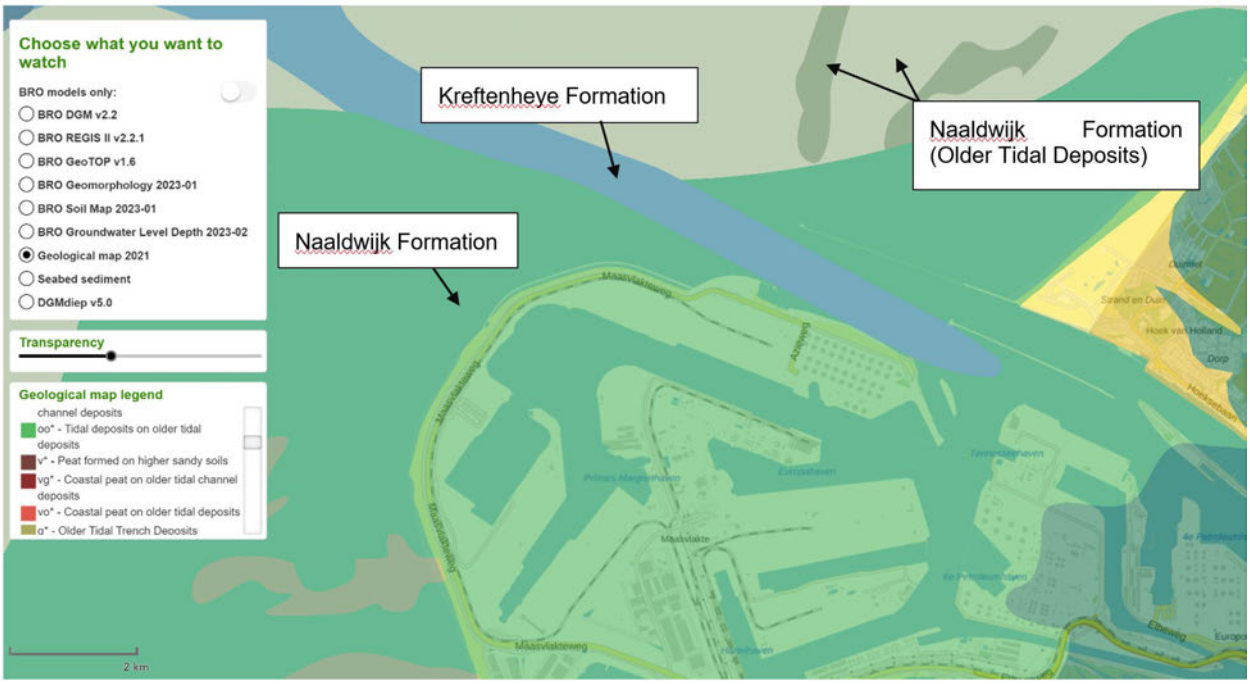


Figure 2-4 Geological Map of Maasvlakte and Surrounding Area (DINOloket, DINOloket Substrate Models, 2024)

The stratigraphy of the North Sea Supergroup using the lithostratigraphic framework of Rijkdijk *et al.,* (2005) is defined in Figure 2.5; the Maasvlakte site is noted to be near-shore in the conceptual model, underlain by the Naaldwijk and Kreftenheye Formations. A large unconformity is noted between the upper to mid-Kreftenheye (noting that basal clays / peat are absent) and the Winterton Shoal Formation.

A 2021 presentation by Van Oord on the design and installation of the high voltage TenneT offshore power cables makes reference to a dredge disposal area comprised of extremely soft soils requiring 2m of pre-dredging to facilitate cable installation works (Van Oord, 2021). Available information, including drawings and exploratory hole data, indicates the spoil area, suspected to be the Kunst Fundament, does not encroach on the reception pit or other offshore areas of the proposed site.

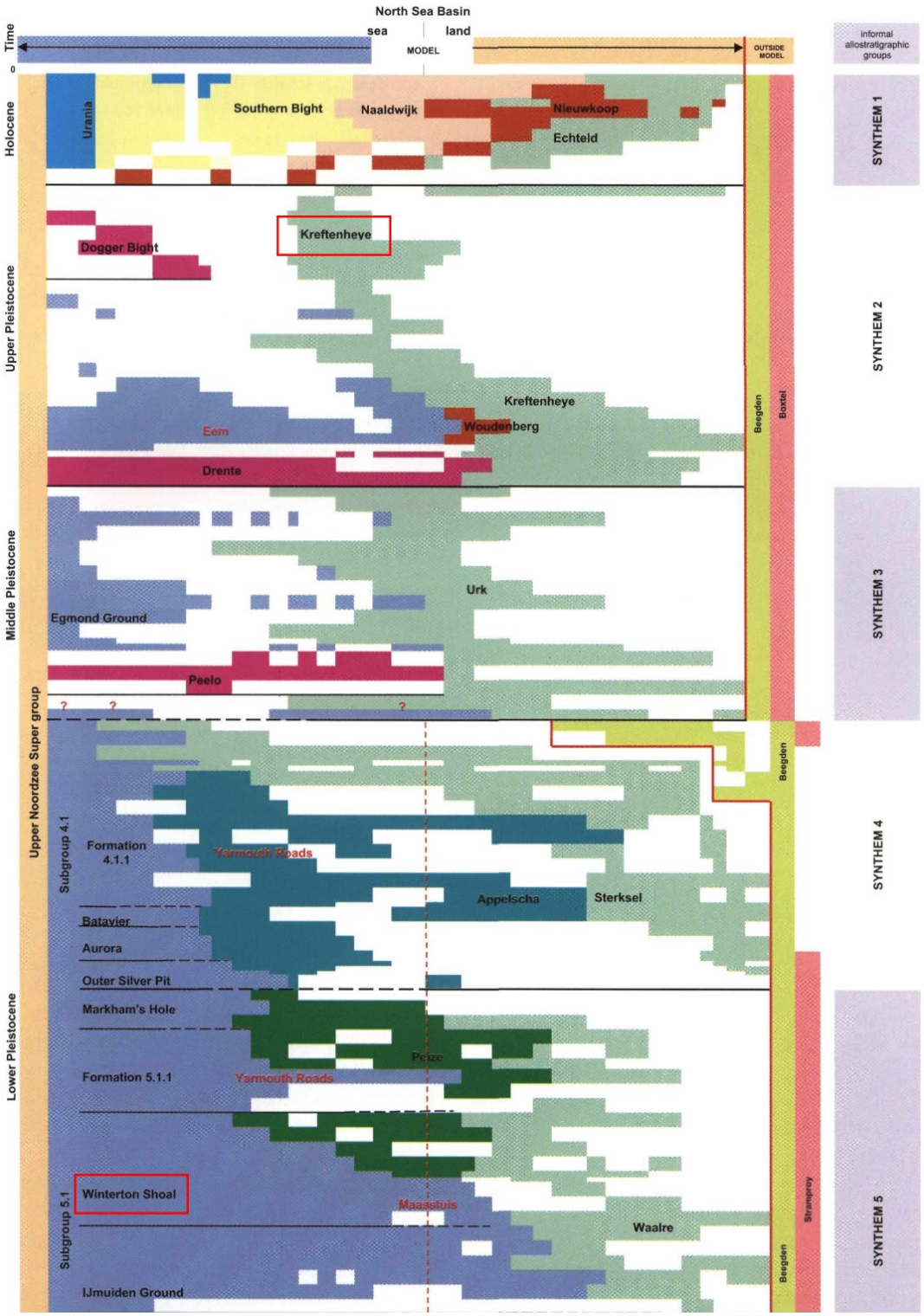


Figure 2-5 North Sea Supergroup Stratigraphy (Rijsdijk. K. F, 2005)

Table 2.1: Maasvlakte Lithostratigraphy **and Stratigraphic Nomenclature (DINOloket, Stratigraphic Nomenclature, 2024)**

Geological Formation	Age	Depositional Setting	Lithological Description
Naaldwijk Formation	Holocene	Tidal marine comprising littoral, coastal dune, washover, and tidal basin deposits	Very fine to very coarse sand deposits, partly clayey, silty, or calcareous. Grey to blue clay and silt layers present along with relatively thin, discontinuous peat layers. Uncomfortable or gradual transition to Nieuwkoop (Base Peat) or Kreftenheye Formation.
Kreftenheye Formation	Late Pleistocene to Early Holocene	Fluvioglacial, fluvial, and river plain deposits	Medium to coarse sand, moderate to very high gravel content. Localised fine to coarse gravel and occasional silty clay.
Winterton Shoal Formation	Early Pleistocene	Primarily low energy open marine deltaic or delta and fluvial deposits	Predominantly fine-grained deposits however full lithostratigraphy undetermined

The site is on the southern edge of the subsiding Southern North Sea Basin, and a thick sequence (>200m) of Lower Pleistocene Fluvial and marine deposits have accumulated. The Winterton Shoal Formation is the uppermost representative of this sequence. The remainder of the Lower Pleistocene and the whole of the Middle Pleistocene is absent, with the Upper Pleistocene Kreftenheye Formation resting unconformably on the Lower Pleistocene deposits, see Figure 2.5.

During the later part of the Middle Pleistocene, the Saalian ice sheet advanced to just north of the site, and diverted the course of the River Rhine, which previously had crossed the middle part of the Netherlands into the Zuiderzee Basin. The diverted course of the River Rhine, crossed the site area, possibly eroding any earlier deposits (Rijsdijk. K. F, 2005). The base of the Kreftenheye formation is irregular due to this process, and the existing information suggests that locally the top of the Winterton Shoal Formation may intersect the tunnel invert.

During the early Holocene in response to post glacial sea level rise, the Rhine valley became poorly drained due to a loss of gradient, and there was a period of peat accumulation on top of the fluvial sediments before the main Holocene marine transgression (Rijsdijk. K. F, 2005). As a result of this transgression, near shore marine and lagoonal deposits succeeded the peat layer. These deposits comprise the Naaldwijk Formation. The boundary between the Naaldwijk and the Kreftenheye Formations represents a change in depositional conditions due the early Holocene Marine Transgression, rather than an unconformity (Rijsdijk. K. F, 2005). The two Formations likely have varying geotechnical properties due to this change in depositional conditions.

The main part of the Naaldwijk Formation (where present and not disturbed by navigation channel dredging), is mainly a coastal and lagoonal deposit, strongly influenced by sediment transport along the Rhine tidal estuary (Rijsdijk. K. F, 2005). Tidal channels can be present as well as thin peaty layers representing temporary saltmarsh conditions. The coastal barrier that separates the lagoonal sediments from open marine deposits in the Netherlands is present to the north of the Rhine Channel to the east of the site area.

2.4 Site history

Maasvlakte 1 was a land reclamation project developed using sand sourced from both the North Sea and Lake of Oostvoorne, with construction using dykes and sand suppletion (Mott MacDonald, 2023). Historical maps of the site indicate that Maasvlakte 1 was constructed in the late 1960s to early 1970s, with the first anthropogenic developments in the form of paved roads and a suspected electrical station shown from 1973 onwards (Kadaster, 2024).

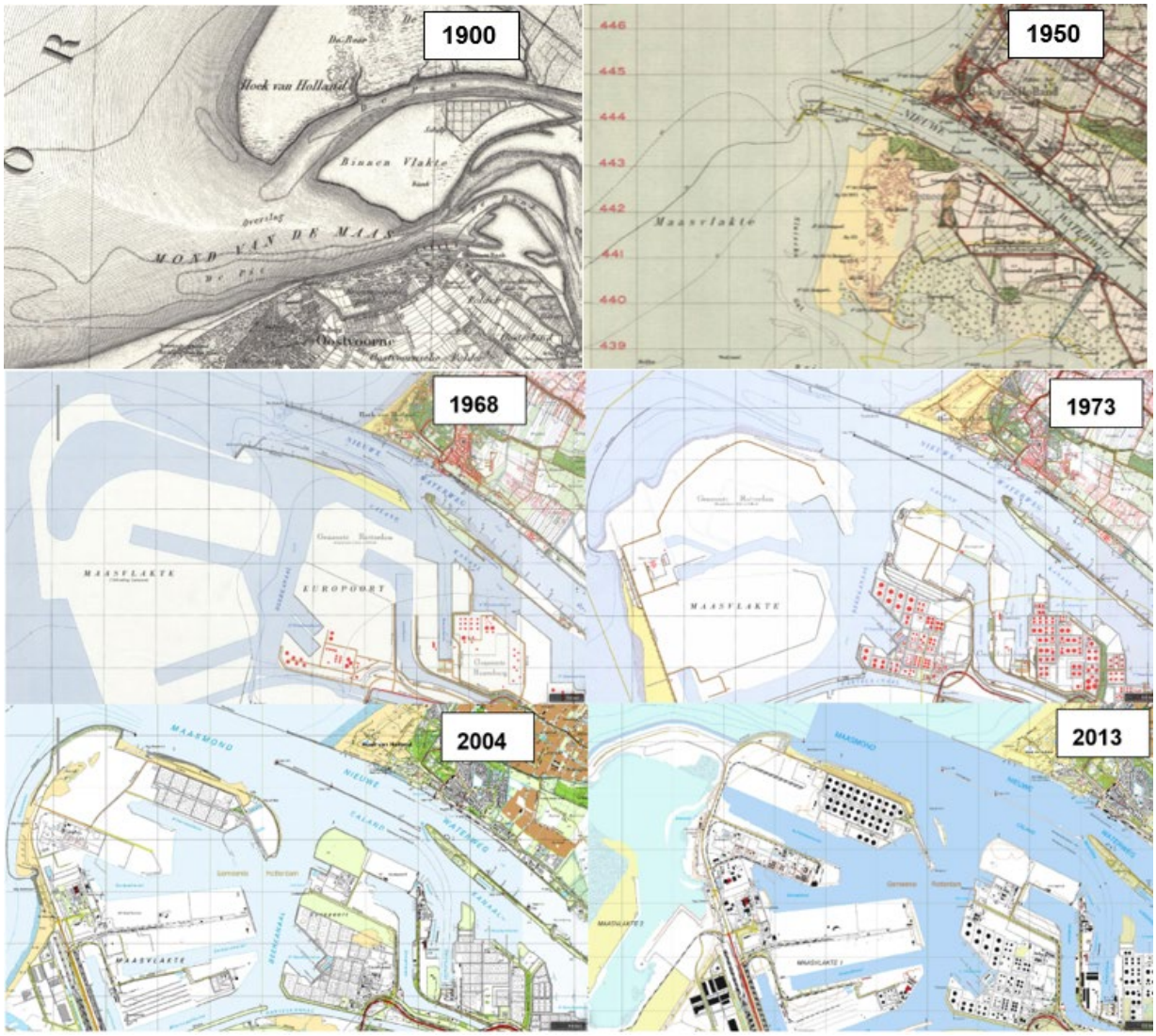


Figure 2-6 Maasvlakte Site History (Kadaster, 2024)

The expansion of port-related activities, such as petrochemical and Liquified Natural Gas (LNG) refineries continued into the 1980s, 90s, and 00s, with the Shark Fin site developed in the early 2000s as the breakwater was infilled (Kadaster, 2024). A second phase of land reclamation, known as Maasvlakte 2, was undertaken between 2008-2013, extending the reclaimed land by 2000 hectares (Port of Rotterdam, 2018)). Developments within Maasvlakte 2 are reported to be ongoing as of September 2023 (Mott MacDonald, 2023).

Development of the Maasvlakte Sea Defence commenced around 1968, with a period of temporary land reclamation and the construction of an offshore dyke facilitating the placement of a stone breakwater termed the ‘Zuiderdam’ (Kadaster, 2024). Breakwater construction began in 1973 and concluded around 1981, with the bay behind this breakwater subsequently infilled in 2004 to form the Shark Fin site as shown in Figure 2-7.

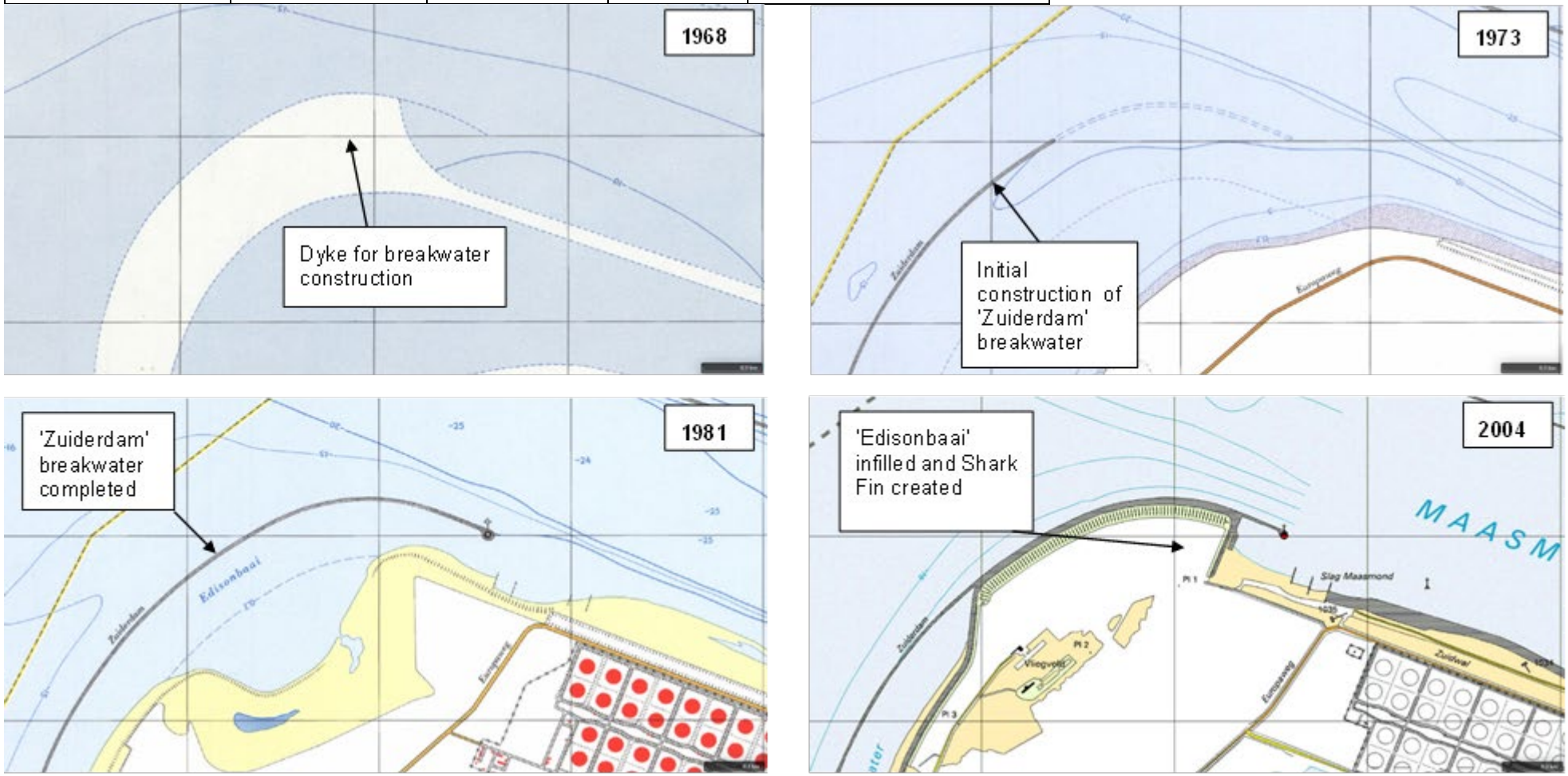


Figure 2-7: Salient Chronology of Maasvlakte Sea Defence (Kadaster, 2024)

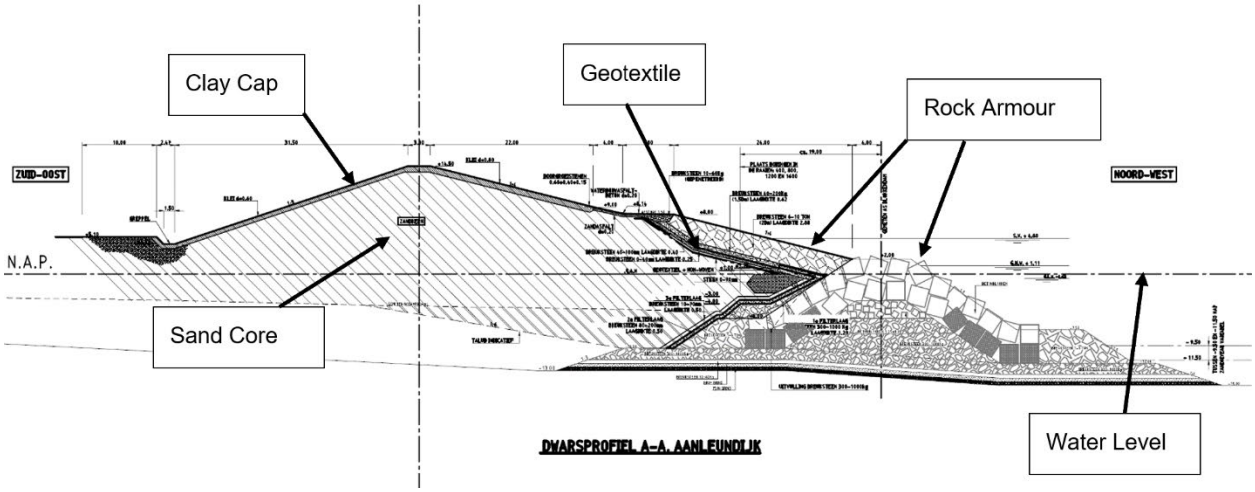


Figure 2-8 Cross Section of Sea Defence (Rotterdam Port Authority, 2015)

Record drawings of the sea-defence embankment and offshore breakwater have been provided to the authors highlighting dimensions and composition. Drawings indicate the embankment is of a sand core design with a 0.8m clay surface cap, with the offshore breakwater constructed from 6-10 tonne quarry boulders (Rotterdam Port Authority, 2015) as shown in Figure 2.8.



Figure 2-9 TenneT Power Cable HDDs (Deltares, 2018)

In 2018 Deltares conducted an assessment on the stability of the Maasvlakte sea-defence during the construction and installation of 4 HDD (Horizontal Directional Drilling) TenneT sheathed power cables (Figure 2.9). The entry and exit points of the HDDs are located southwest of the proposed Shark Fin shaft site, and pass beneath the same sea-defence embankment (Deltares, 2018).

The approximate vertical alignment of the TenneT HDDs directly beneath the sea-defence is -22mLAT (Deltares, 2018), resulting in a vertical clearance of approximately 9m. The stability assessment analysed circular slip failure mechanisms on both the land and sea-side of the embankment using Bishop's method and considered the potential influence of drilling fluid pressure and drilling vibration (Deltares, 2018).

The 2018 Deltares slope stability assessment summarises that shallow circular slips appear to be the predominant failure mechanism; however, suggests that no instability of the sea defence embankment should occur during Horizontal Directional Drilling (Deltares, 2018).

Figure 2.10 presents a sequence of historical satellite imagery of the Shark Fin site dating 2004-2024 (Google Earth, 2024). These images highlight an apparent shallow slip mobilisation on the landside of the sea-defence around 2004 (highlighted in red) with subsequent repair works in 2005 indicated by track marks and re-filling of the slip (Figure 2.10). Images from December 2005 onwards show the repaired embankment, with 2024 images suggesting possible targeted slope vegetation efforts around the previous slip location.



Figure 2-10 Historical Satellite Imagery (Google Earth, 2024)

2.5 Archaeology

The entirety of the Maasvlakte development is reclaimed land constructed from dredged marine and lacustrine sand (Mott MacDonald, 2023) and thus the likelihood of encountering material of archaeological interest within the onshore Shark Fin site is extremely low.

Due to the adjacent shipping channel and open waters the possibility of encountering shipwrecks or other maritime archaeology exists, although this is highly unlikely. The Aramis Archaeological Assessment (Periplus Archeomare, 2023) identified two records of shipwrecks within the nearshore and landfall area, although these wrecks are situated away from the proposed tunnel alignment. The Aramis Archaeological Assessment also highlights known items of potential archaeological interest near the offshore reception pit area, although the exact nature of the artifacts is unknown. No items of archaeological interest were identified in the launch shaft or wider shark fin site.

All archaeological finds, described by the Dutch Government as “A valuable object that has been hidden for centuries and whose owner is no longer alive” (translated), must be reported to the Minister for Education, Culture and Science, and this includes maritime artifacts (Netherlands, 2024). By law archaeologists are granted six months to study any artifacts (Netherlands, 2024) and thus this has the potential to delay works should an archaeological site be discovered.

2.6 Previous investigations

Mott MacDonald conducted an early geotechnical interpretation for the Pre-FEED studies for the Aramis project in September 2023. The Ground Investigation Report (GIR) produced by Mott MacDonald (100111091-RP-0003) sourced information from previous reports from Fugro (2022, 2019), Deltares (2018), and RPS Group (2022) and thus should be considered as Pre-FEED and previous. The 2023 Mott MacDonald Ground Investigation Report also referenced information from the 2023 Fugro Ground Investigation which was ongoing during the publication of the 2023 Mott MacDonald GIR and thus incomplete.

Data from the PORTHOS investigation (Fugro, 2019) has been reviewed in the context of proposed works; borehole BH1 (composite sonic borehole and CPT, around 180m laterally from the proposed tunnel alignment) has been included in geotechnical assessment. All other boreholes were considered too remote to be applicable to this GIR.

CPTs from the Normand Mermaid GI Campaign (Fugro, 2022a) have been incorporated into the geotechnical assessment of offshore subsurface conditions.

DINOloket, an open-source geological and geotechnical web viewer produced by the Geological Survey of The Netherlands contains web viewers and maps containing locations and summary information of previous exploratory holes, including hole type, depth, date of field work and any groundwater monitoring results. Geological maps and substrate models were also sourced from DINOloket.

The completed 2023 Fugro geophysical and geotechnical ground investigation was used in this report, with digital geological and geotechnical data provided to the authors in AGS format (Fugro, 2023).

2.7 Flood risk and flood defences

The sea defence on the shore of the Shark Fin is located approximately 150m from the proposed shaft location, with the tunnel alignment passing beneath. Previous reports indicate that the sea defence has undergone numerous phases of development and expansion, beginning with a boulder embankment constructed in the 1980s subsequently amalgamated with a larger sea defence constructed from ‘general fill’ in 1997 on the landward side of the original sea defence (Mott MacDonald, 2023). No as-built drawings for the sea defence have been provided to the authors at the time of writing. The maximum elevation of the sea defence is +14.5mNAP, (or approximately 13.5mLAT) (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2024)Refer to section 2.4 for details on flood defence composition and stability.

Erosion and siltation inspections and forecasts from 2013-2022 have been provided to the author, with deposition and erosion predictions focused west of the Shark Fin site (Puma, 2009). These predictions highlight pockets of both significant erosion and sedimentation, with sedimentation dominating nearshore areas (Puma, 2009). However, the northern shoreline of the Shark Fin site is not covered in the forecast and thus no information for the site is available.

2.8 Contamination

All geoenvironmental assessment in this report is based on testing undertaken by Fugro (2023) and that reported by Mott MacDonald (2023). Data from the PORTHOS investigation (Fugro, 2019) has been reviewed but does not provide any additional information relevant to geoenvironmental assessment.

Mott MacDonald conducted an early geoenvironmental assessment for the Pre-FEED studies for the Aramis project (Mott MacDonald, 2023). Any additional geoenvironmental test data used in the Mott MacDonald geo-environmental assessment (beyond sources cited herein) has not been made available to Arup. The results consist predominantly of Asbestos tests (Suite E2) which all report NAD (No Asbestos Detected) and indicate that asbestos is not likely to be encountered on site. These tests are supplemented by chloride and redox potential tests.

Fugro (2023) tested samples for metals and metalloids, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), BTEX compounds, Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) and chlorophenols. When screening the data against Arup's Generic Assessment Criteria (GAC) for commercial site usage, no exceedances of any contaminants were detected. It should be noted that a number of contaminants exceeded the limit of detection and should be considered for any further monitoring. This includes the metals molybdenum, magnesium and manganese, as well as long aromatic and aliphatic hydrocarbon chains (EC12 – EC35).

Based upon the findings of Fugro's 2023 ground investigations (Fugro, 2023),and the Mott MacDonald GIR (Mott MacDonald, 2023), the Made Ground and organic or peat layers of the Naaldwijk Formation are the most probable primary source of ground gas. CL:AIRE Research Bulletin 17 (RB17) provides a framework for the evaluation of the likely gas generation potential of Made Ground based upon the thickness, composition, and age of the materials. Made Ground was widely encountered across the site and generally greater than 5m in thickness. The composition mostly comprises grey sands dredged from the seabed with frequent organic matter. Due to the thickness of the deposit and presence of organic matter, the would likely result in a gas characteristic situation (CS) of CS2 or greater (CIRIA C655, 2007). Geophysical surveys (Fugro, 2022) noted acoustic blanking, likely as a result of shallow gas within the Naaldwijk Formation, further corroborating the findings of this gas assessment.

Further assessment is provided in a standalone geo-environmental report; NL-ARM-040-ARU1-110309.

2.9 Hydrogeology

The soil profile of both the shaft launch and offshore reception pit site is predominantly free-draining sands. Sands range from predominantly uniformly graded with uniformity coefficients (D_{60}/D_{10}) of 2, to silty and clayey sands with uniformity coefficients >100. Pockets of gravelly sand can be encountered in the Naaldwijk and Kreftenheye formations typically increasing permeability (depending on gravel content and uniformity). Silty sand is commonly encountered throughout the Naaldwijk and Kreftenheye, however permeability tests conducted by Fugro (2023) indicate that the permeability of silty sands can be relatively consistent with clean sand samples.

Onshore, relatively thin (1-2m) clay and peat layers are encountered at the base of the Naaldwijk Formation resulting in localised reductions in permeability. Within the shipping channel these deposits have been removed by the frequent dredging activities and peat is not encountered in boreholes around the reception pit site.

Maasvlakte is reclaimed land previously occupied by the North Sea, and as such groundwater is saline as opposed to freshwater, resulting in slightly increased unit weight (10.1kN/m3) and potential increase in corrosivity.

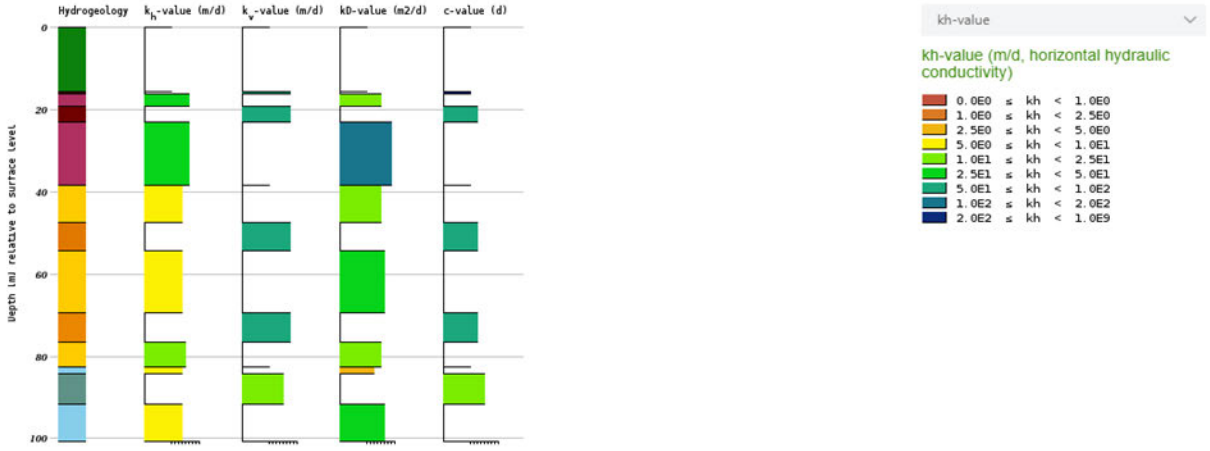


Figure 2-11 Hydrogeological Profile of Launch Shaft Site (DINOloket, DINOloket Substrate Models, 2024)

2.10 Unexploded Ordnance (UXO)

Mott MacDonald conducted a review of Unexploded Ordnance (UXO) surveys, including a geophysical survey by Fugro (Fugro, 2022) and UXO interpretation report of RPS report EES1328 R-01-05 (2023),and concluded that the proposed offshore reception pit contains substantial magnetic anomalies indicating the presence of potential unexploded ordnance (Mott MacDonald, 2023). The proposed launch shaft site is suggested to be of low UXO risk however Mott MacDonald identified the need for further works onshore and nearshore (Mott MacDonald, 2023). Due to the dredging activity the shipping channel is designated as low risk (Mott MacDonald, 2023). The proposed reception pit location has been designated as an area of medium UXO risk with potential presence of High-Explosive charges, torpedoes and sea mines (Mott MacDonald, 2023).

2.11 Subsidence

Open-source land subsidence map (SkyGeo, 2024) contains an extensive InSAR dataset of surface settlement across The Netherlands. The Shark Fin site has numerous datapoints showing linear displacement rates of approximately 4-6mm/year (SkyGeo, 2024), Figure 2.12.

These settlement values are updated approximately every 6-10 days, with data able to be downloaded and exported. These can be used to understand ongoing settlements around the Shark Fin site and sea defence, although where accurate measurement of settlement is critical (e.g. for the sea defences) then a topographical survey to establish an accurate baseline in advance of the works needs to be undertaken.

The land subsidence map indicates the Shark Fin site, in particular areas north of the Maasvlakteweg road is a region experiencing net subsidence, with the proposed shaft site and areas of the sea defence being locations of particularly high settlement (SkyGeo, 2024).

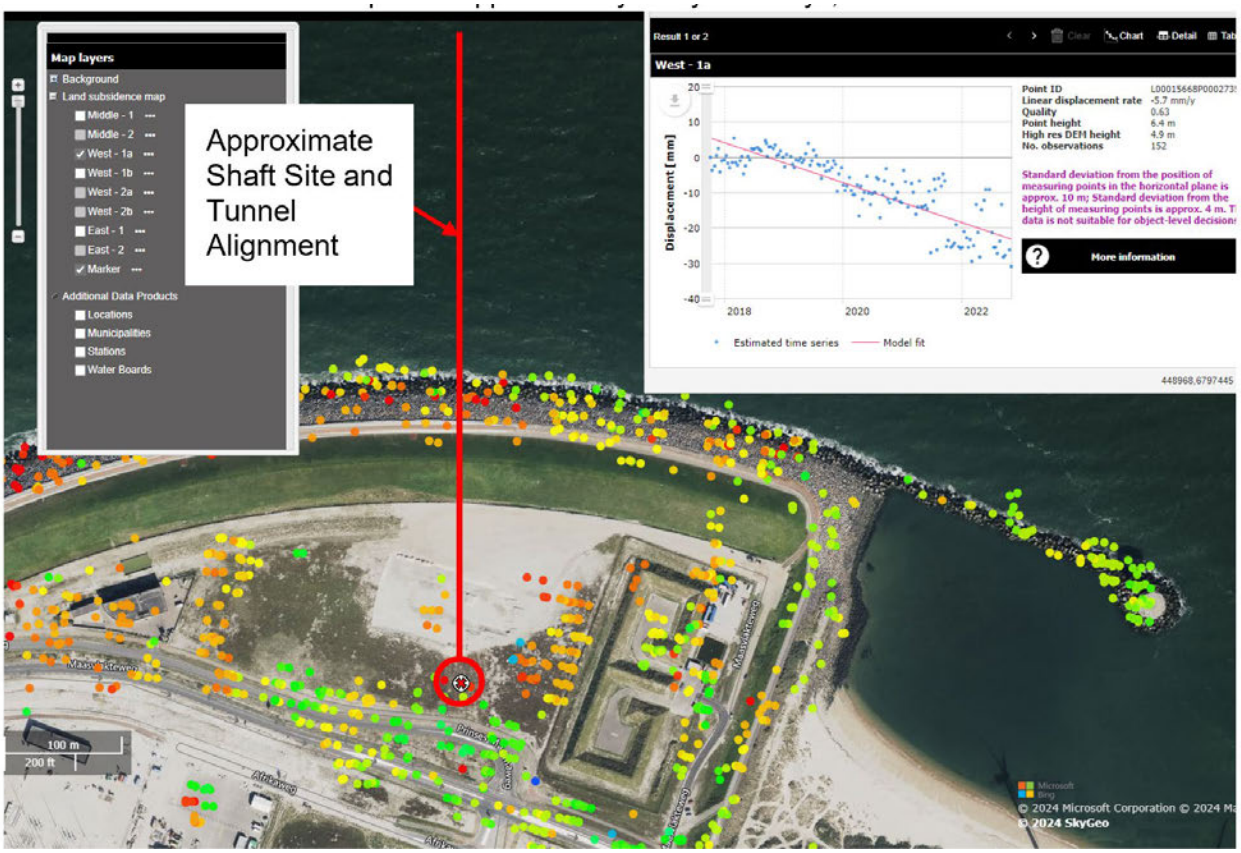


Figure 2-12 Shark Fin Subsidence Map (SkyGeo, 2024)

3 FIELD AND LABORATORY STUDIES

All field and laboratory studies presented herein are external and no Arup site walkover has taken place at the time of writing. The Pre-FEED GIR (Mott MacDonald, 2023), which assessed and collated previous information, has been reviewed. Geophysical survey (Fugro, 2022), Ground Investigation (Fugro, 2023) and associated digital data has been reviewed as the principal source of geotechnical information There was no digital data or individual borehole logs associated with earlier investigative works available during production of this report.

3.1 Ground investigations in sequence order

The sequence of previous ground investigation reports are highlighted below

- ARAMIS Ground Investigation Report, Mott MacDonald, September 2023 (Mott MacDonald, 2023)
- Fugro Geophysical Survey Results Report, F197217-REP-001, NL-ARM-100-ARM1-100007, November 2022
- Aramis Project –Geotechnical Site Investigation, Fugro, December 2023 (Fugro, 2023)
    - Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results, F212522-4, NL-ARM-100-ARM1-100013, November 2023
    - Field Report, F197217-REP-002, NL-ARM-100-ARM1-100008, January 2023
    - Environmental Baseline Study, F197217-REP-004, NL-ARM-100-ARM1-100010, July 2023
    - Nearshore Geophysical Survey Results – Seeker, F197217-REP-RES, November 2022
    - Biodiversity Observations Report, F197217-REP-003, NL-ARM-100-ARM1-100009, July 2023
    - eDNA, F197217-REP-005, NL-ARM-100-ARM1-100011, January 2023
- PORTHOS Project, Maasgeul Crossing, Dutch Sector, North Sea, Investigation Results, Geotechnics, P90572/01 Issue 2, September 2019 (Fugro 2019)
- Gronderonderzoekgegevens voor de aanleg van kabels door horizontal gestuurde boring, Maasvlakte, cruising met de zeewering, Deltares, 2018 (Deltares, 2018)

3.2 Fugro (2023) ground investigation

3.2.1 Exploratory Holes

The exploratory hole types used in the 2023 Fugro geotechnical and geophysical ground investigation were a mix of Sonic Core (SNC) boreholes and Cone Penetration Tests (CPTs). The 2023 Fugro ground investigation also collated information and presented PDF files of CPT traces from the 2022 Normand Mermaid Campaign, these have been used to assist the geological and geotechnical interpretation. The exploratory holes investigated Made Ground (MGR), Naaldwijk Formation (NLD), Kreftenheye Formation (KR), and the Winterton Shoal Formation (WN), with a maximum exploration depth of 96m below existing ground level.

From the PORTHOS Ground Investigation (Fugro, 2019), one borehole (BH1) was within the area of interest for the tunnel alignment and has been included in geotechnical assessment. This borehole was an open-hole rotary borehole with discrete open-tube push sampling and in-situ CPT tests at discontinuous intervals (RO-CPT).

A summary of the exploratory hole results is presented in Tables 3.1 and 3.2.

Table 3-1: Fugro 2023 Ground Investigation Exploratory Hole Summary

Hole Type	Number of Holes	Depths Probed (mBGL)
RO-CPT	1	35.8
SNC	13	30.0 – 96.0
CPT	14	2.38 – 59.97

Table 3-2: Fugro 2019 and 2023 Ground Investigation Exploratory Hole Details

Hole ID	Hole Type	Final Depth (mBGL)	Final Level (mLAT)	Units Encountered
BH1 (PORTHOS, 2019)	RO-CPT	35.8	(no reduced level given)	KR WN
AHL1	SNC	43.5	- 39.57	MGR NLD KR
AHL1A	SNC	57.0	- 52.0	MGR NLD KR WN
				MGR

Hole ID	Hole Type	Final Depth (mBGL)	Final Level (mLAT)	Units Encountered
AHL2	CPT	57.22	- 53.4	NLD KR WN
AHL3	SNC	62.5	- 55.46	MGR NLD KR WN
AHL4	CPT	18.65	- 11.59	MGR NLD
AHL4A	CPT	50.55	-43.48	MGR NLD KR
ATL1	CPT	27.99	-23.88	MGR NLD KR
ATL1A	CPT	46.62	-42.63	MGR NLD KR
ATL1B	CPT	2.38	1.57	MGR
ATL1C	CPT	3.44	0.56	MGR
ATL1D	CPT	59.97	-56.03	MGR NLD KR WN
ATL2	SNC	96.0	-91.0	MGR NLD KR WN
ATL3	SNC	30.0	-26.08	MGR NLD KR
ATL3A	SNC	96.0	-92.12	MGR NLD

Hole ID	Hole Type	Final Depth (mBGL)	Final Level (mLAT)	Units Encountered
				KR WN
ATL4	CPT	39.41	-35.51	MGR NLD KR
ATL4A	CPT	57.01	-53.04	MGR NLD KR
ATL5	CPT	18.32	-11.32	MGR NLD
ATL5B	CPT	43.48	-36.46	MGR NLD KR
ATL6	SNC	63.0	-56.06	MGR NLD KR WN
AH3	SNC	38.5	-51.32	NLD KR
AH4	CPT	37.26	-50.83	NLD KR
AT1	SNC	36.8	-51.01	NLD KR WN
AT2	SNC	35.4	-51.20	NLD KR WN
AT8	SNC	32.2	-50.27	NLD KR WN
AT10	SNC	32.6	-49.95	NLD KR WN

Hole ID	Hole Type	Final Depth (mBGL)	Final Level (mLAT)	Units Encountered
AT11	CPT	33.76	-50.43	NLD KR WN
AT12	SNC	34.0	-50.29	NLD KR WN

Locations of the sonic core boreholes (SNCs) and CPTs are shown in Figure 3.1 to 3.2. Holes ATL1 to ATL6 are located onshore within the Shark Fin site, with ATL1 and ATL2 holes around the proposed shaft site (Figure 3.1). AHL1 to AHL4 are situated onshore west of the Shark Fin site around the TenneT HDD launch site.

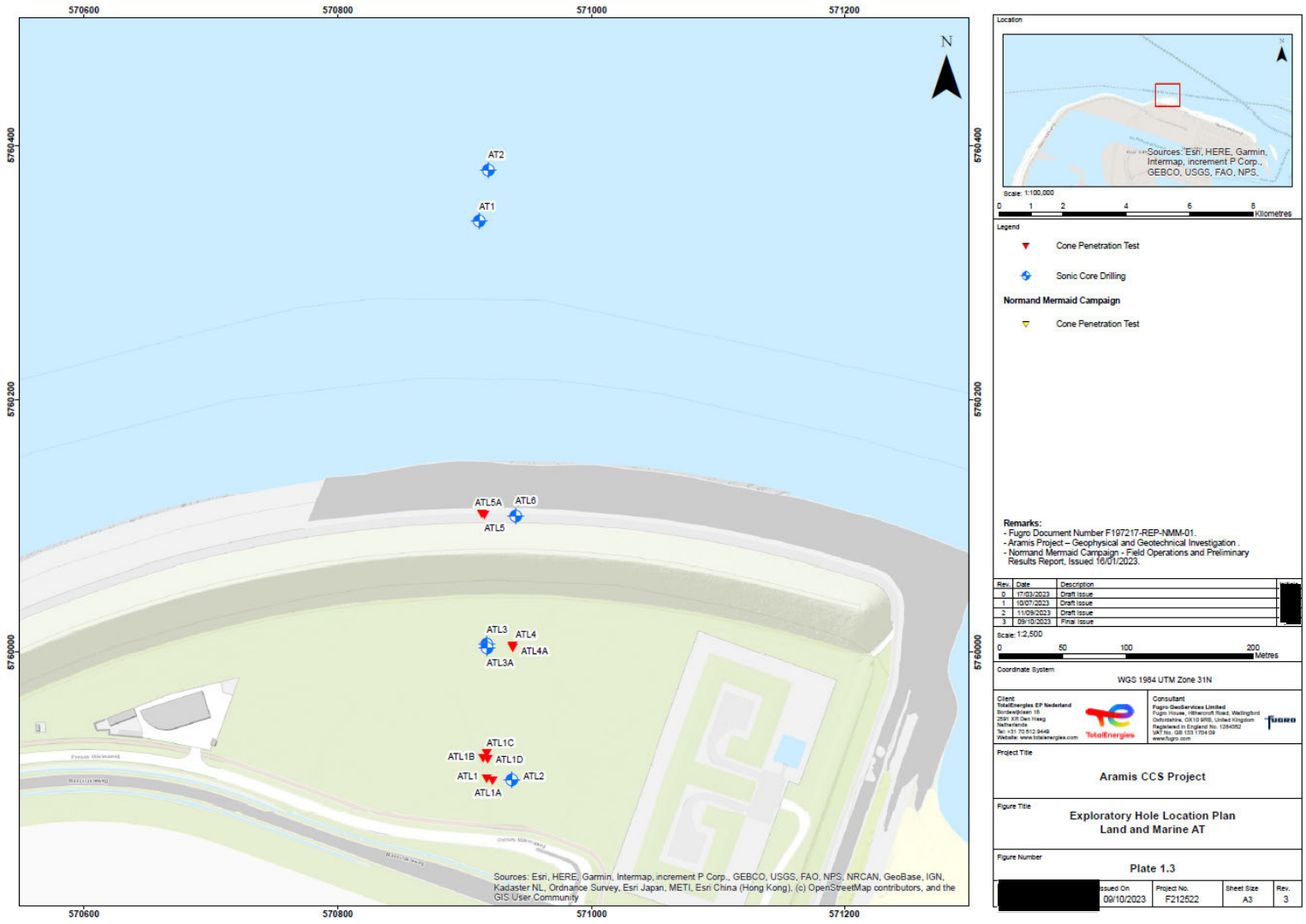


Figure 3-1 Shark Fin onshore and nearshore exploratory hole locations (Fugro, 2023)

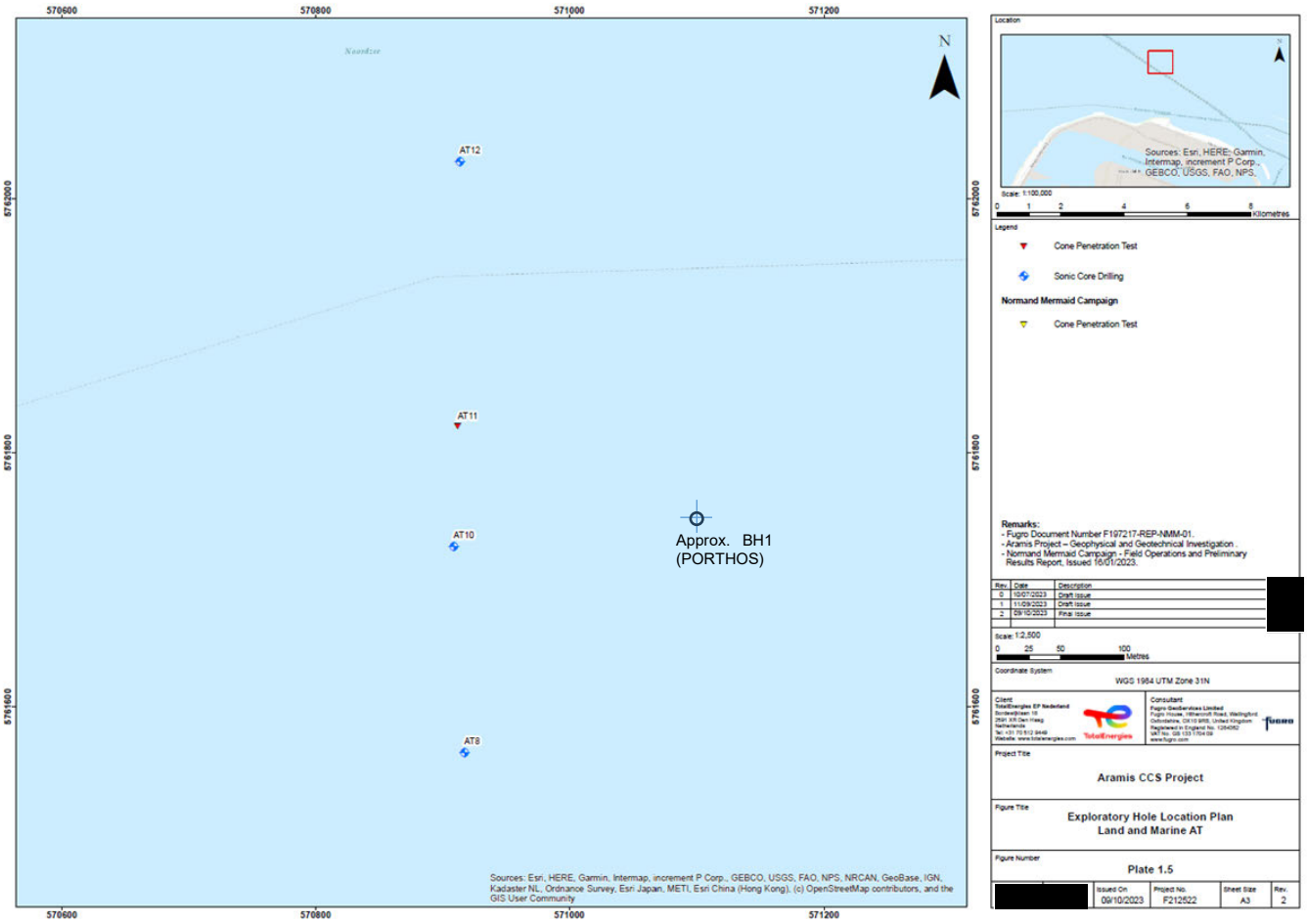


Figure 3-2 Shipping Channel and Offshore Exploratory Hole Locations (Fugro, 2023; Fugro, 2019)

3.2.2 Laboratory Testing

Within the 2023 Fugro investigation a number of geotechnical soil and rock laboratory tests were undertaken. The testing regime can broadly be broken down into the following: Index properties and classification, shear strength, permeability and consolidation, contamination and geochemical, and one sample of the sea defence recovered for rock UCS testing (Fugro, 2023). Digital data of laboratory test results has been provided to the author, with the number of reported tests conducted by Fugro (2023) shown in Table 3.3 below.

Table 3-3: Fugro (2023) Number of Reported Tests

Laboratory Test	Number of Reported Tests
Moisture Content	166
Atterberg Limits	43
Particle Size Distribution	197
Particle Density	130
Hand Vane	26
Pocket Penetrometer	30
Dry Density	99
Consolidation	8
Constant Head Permeability	53
Falling Head Permeability	15
CU Triaxial	1
CD Triaxial	39
Shear Box	71
Geotechnical Chemistry & Environmental Contamination	693
Rock UCS (sea defence blocks)	1

The geological distribution of laboratory tests in the 2023 Fugro ground investigation is varied, with test and result numbers differing between boreholes and strata. This investigation analysed the available data with a per borehole per stratum approach to identify the distribution of the testing. Distribution varied between exploratory hole; typically index property/classification and shear strength tests were relatively well distributed. Permeability and consolidation test numbers showed slightly greater geological disparity, although holes such as ATL2 and ATL3A, which are located in the shaft site, have numerous permeability tests in each of the four geological units encountered.

4 GROUND PROFILE SUMMARY

4.1 Geology

Made Ground is present around the shaft area and up to the sea defence. The Made Ground is understood to have largely been recovered from the North Sea. Made Ground may have been placed directly on top of the natural ground surface over the Maasvlakte site, which would result in long-term consolidation and creep settlements. Ground investigation close to the sea-defence and embankment implies a deeper thickness of Made Ground, which may indicate some dredging was undertaken to remove near-surface clays or other compressible strata and limit settlement.

The Naaldwijk Formation is present across the whole site, expected to have been lowered by dredging in the shipping channel as part of the port developments. The Kreftenheye Formation, followed by the Winterton Shoal Formation is encountered beneath the Naaldwijk Formation in all locations. A continuous basal peat bed, locally referred to as the Nieuwkoop Formation but often incorporated into the Naaldwijk Formation, overlies the Kreftenheye Formation in the onshore areas, with this being a characteristic basal peat layer in the area (DINOloket, Stratigraphic Nomenclature, 2024). A simplified schematic of geology along the line of the tunnel, with the shaft and tunnel alignment shown indicatively, is presented in Figure 4-1.

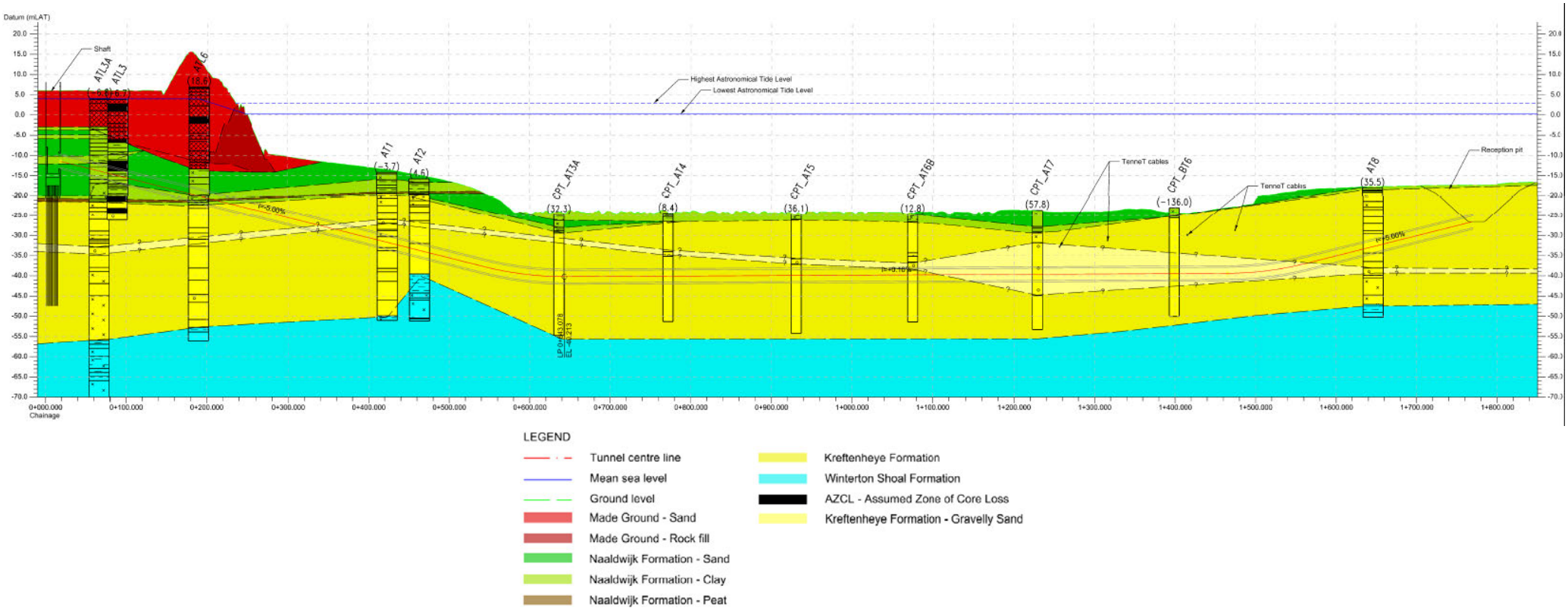


Figure 4-1. Simplified geological section with indicative shaft and tunnel alignment

4.2 Stratigraphy

A summary of the geological units and range of levels of top and base observed are presented in Table 4-1 to demonstrate the stratigraphic sequence and variations across the site. Composition of each unit and geotechnical properties is discussed further in Section 5.

Table 4-1: Summary of strata thickness and levels

Geological Unit	Exploration type	Top level (mLAT)	Base level (mLAT)	Thickness (m)
Made Ground*	Sonic borehole	+3.9 to +6.9	-3.0 to -13.4	7.0 to 20.3
	CPT	+3.8 to +7.1	-3.9 to -13.1	9.0 to 17.0
Naaldwijk Formation	Sonic borehole	-3.0 to -18.1	-19.2 to -23.1	1.1 to 18.6
	CPT	-3.9 to -13.1	-16.9 to -26.0	4.5 to 33.0
Kreftenheye Formation†	Sonic borehole	-19.2 to -23.1	-39.6 to -56.1	21.7 to 35.7
	CPT	-16.9 to -26.0	-44.2 to -53.1 where proven	48.0 to 57.0
Winterton Shoal Formation	Sonic borehole	-39.6 to -56.1	Not proven	Not proven
	CPT	-39.6 to -56.1	Not proven	Not proven

* Made Ground is only present around the Maasvlakte reclaimed land site. Note the sea defence embankment top level is higher than locations sampled and composition may vary.

† Base of Kreftenheye Formation not proven in all sonic boreholes. Generally the CPTs do not prove the base of the Kreftenheye Formation.

4.3 Groundwater

Three groundwater strikes were encountered during initial hand excavations of exploratory holes, yielding an upper and lower bound onshore groundwater level of 1.2 and 1.4mBGL (2.5 to 2.7mLAT) respectively, summarised in Table 4.2. Groundwater was not monitored and may have been masked by support fluid during drilling (Fugro, 2023). Groundwater is saline, with a salt concentration of 30,000ppm, yielding a unit weight of water of 1.03kg/l or 10.1kN/m^3.

Table 4-2: Fugro (2023) Groundwater Strikes

Exploratory Hole	Water Strike Depth (mBGL)	Water Strike Level (mLAT)
ATL3A	1.2	+2.68
ATL3	1.2	+2.72
ATL4	1.4	+2.50

4.4 Man-made features

The Maasvlakte development comprises reclaimed land, site development history discussed in Section 2.7. Settlement of the site is still ongoing, as noted per Section 2.11. Given the generally sandy nature of the natural ground and presence of organic materials, it is expected consolidation is largely complete and that settlement is related to creep / secondary compression.

The sea defences are expected to pre-date the Maasvlakte land reclamation, as is apparent from Section 2.7.

Ground levels are noted to have been lowered by dredging to form a shipping channel (Mott MacDonald, 2023). The natural seabed level across the shipping channel was typically -12mLAT to -18mLAT, whilst dredging has locally reduced the seabed level to around -24mLAT to -25mLAT.

5 GEOTECHNICAL PROPERTIES

The following section presents a summary of factual data presented in Fugro (2023) separated by geological unit and into coarse and fine soils, to aid more detailed stratigraphic interpretation.

5.1 Notes on test interpretation

Drained strength (i.e. friction angle) has been assessed through laboratory testing as well as insitu (CPT) testing. Reconstituted shear box and (isotropically) consolidated drained triaxial tests were performed on coarse samples; a small number of triaxial tests on clays were also performed.

Triaxial tests typically reached maximum strains of around 20%, demonstrating post-peak behaviour at maximum strain. The peak and minimum post-peak friction angle for all triaxial tests have been reported below, the latter being considered a reasonable approximation of the critical state. All shear box tests recorded peak friction angle; some shear boxes tests were also strained until a stable post-peak angle was reached. Similarly, to triaxial tests, this friction angle (referred to as 'residual') is considered as a critical state friction angle, as residual behaviour is more characteristic of clay soils and often requires larger strains to develop.

One-dimensional consolidation tests (8no.) have been performed on samples, 3no. of which are reconstituted from bulk samples mixed to 1.25 x Liquid Limit, i.e. reconstituted to a normally consolidated state. Reconstituted test results will not capture effects of ageing or over-consolidation in clays and are likely to be an underestimate of stiffness.

5.2 CPT comparison with boreholes

CPTs indicate soil behaviour and do not return physical samples, the composition of soil probed is not definitively known. Several sonic boreholes were conducted with CPTs adjacent or nearby, which allows comparison of soil behaviour type and cone testing characteristics (e.g. excess pore pressure measurement) to logs, i.e.:

- Borehole AHL3: CPTs AHL4 and AHL4A are adjacent. Located on land, away from the shaft site and tunnel alignment.
- Borehole AHL1A: CPTs AHL1 and AHL2 are adjacent. Located on land, away from the shaft site and tunnel alignment.
- Borehole ATL2: CPTs ATL1, 1A, 1B, 1C, and 1D are adjacent. Located on land, by the current shaft site.
- Borehole ATL3 and 3A: CPTs ATL4 and ATL4A are adjacent. Located on land, close to the current tunnel alignment.
- Borehole ATL6: CPTs ATL5 and ATL5B are adjacent. Located on land, close to the current tunnel alignment and the embankment and seawall (at the toe of the embankment). It is understood that CPT ATL5B is a re-drill of CPT ATL5 and continues from the lowest level probed in CPT ATL5. The two have been combined to give a composite of the full-depth CPT parameters to compare to ATL6.

- CPT AT11 is located between boreholes AT10 and AT12, offshore.

It is noted that CPTs are unlikely to be sensitive enough to provide a correlation between Soil Behaviour Type and soil plasticity or fines content; particle size distribution tests are also relatively few and insufficient to give a borehole-by-borehole profile of fines content against depth (i.e. only being sufficient to give a generalised understanding over a whole geological unit).

CPTs show more sudden and stratified changes in behaviour in the soils probed on site than is apparent from boreholes; it is likely sonic borehole soil samples are too disturbed to identify fine stratification, instead noting an increase in general fines content. Changes in soil composition noted in borehole logs frequently align with a local change in Soil Behaviour Type. The changes in CPT Soil Behaviour Type are often more sudden and over a thinner extent than the logs indicate, i.e. the Soil Behaviour Type may indicate multiple thin silt-like or clay-like materials stratified in a sand-like stratum rather than a distributed ‘average’ silty sand material.

Clayey strata also frequently align with rapid changes in excess pore water pressure. Clays which are sand-laminated are noted to sometimes show a change in Soil Behaviour Type but not excess pore water pressure, suggesting the higher lateral permeability of the sands may be influential to in-situ pore pressure response of the soil.

Thicker clay layers are more clearly identified by CPT tests, particularly the organic clay / peat layer at the base of the Naaldwijk Formation, which exhibits both a change in Soil Behaviour Type and excess pore water pressure.

The Made Ground and Naaldwijk Formation are noted to be highly variable and stratified in terms of CPT Soil Behaviour Type, encountering frequent silt/clay layers within units that are typically sand to silty sand Soil Behaviour Type.

The Kreftenheye’s Soil Behaviour Type is noted to be generally more ‘sand-like’ than the overlying units. Only CPTs ATL1D and AHL2 probe the Winterton Shoal Formation, but they indicate a more ‘silty’ Soil Behaviour Type than the Kreftenheye Formation and a significant (negative) excess pore water pressure generation.

5.3 Made Ground

The Made Ground is principally sandy, with typically low organic content, although it is likely to be highly variable both laterally and vertically. Clayey, silty sand and gravelly pockets are noted and may be more extensive than available ground investigation data suggests. CPTs indicate composition of the Made Ground to be vertically and laterally variable.

Sonic boreholes generally recovered the Made Ground as sand with clayey, silty and gravelly sand and gravelly clay pockets locally present, typically no thicker than 1.0m. Results from CPTs ATL4 and ATL4A imply more extensive clay or silty clay soils in the Made Ground between +1 mLAT and -12mLAT, both in terms of friction / cone resistance and excess pore pressure behaviour. CPT results may indicate a very loose granular stratum or may indicate a localised clay pocket, not intercepted by the nearby borehole due to high lateral variability expected in this deposit.

The granular Made Ground is typically poorly graded and with low silt content, but a few notable silty to very silty sand pockets are reported. Material logged as sand is typically medium and poorly graded, while material logged as silty sand can comprise fine to medium sand with little silt content or fine sand with significant silt content, demonstrating the difficulty of assessing composition of these soils visually. Logging of gravel content within the granular Made Ground is more reliable; generally, results indicate low gravel content within the Made Ground, although gravel pockets are infrequently encountered; the sole grading test on Made Ground gravel returned a gravel content of 74.7%.

Particle size distribution tests from samples logged as sands or gravelly sands indicate predominantly single-sized medium to fine sand (typically uniformity coefficients of 2 or less). Silty sands predominantly comprise fine to medium sand and typically <10% silt content, i.e. uniformity coefficient is not improved by silt content (remaining < 2) except in one sample (UC = 10). The single sandy gravel sample is noted to be well-graded (UC = 40).

Table 5.1 below summarises composition of coarse Made Ground soils, Table 5-2 summarises laboratory shear and permeability tests on the coarse Made Ground soils.

Table 5-1 Made Ground index test results – coarse soils.

Property		gravelly SAND*	SAND*	Silty SAND*
Fines (<63 micron) content (%)	Min	1	1	1
	Mean	2.25	4.66	9.5
	Median	2	2	4.5
	Max	4	11	38
	Count	**5**	**3**	**6**
Gravel (2-63mm) content (%)	Min	0.4	0	0
	Mean	6.7	0	0.7
	Median	6.8	0.43	0.6
	Max	12.7	1.3	1.5
	Count	**4**	**3**	**6**
Water content (%)	Min	8.2	14	21.1
	Mean	17.6	21.1	24.4
	Median	14.3	22	24.8
	Max	33.6	26.9	27
	Count	**4**	**6**	**4**
Organic content (%)	Min	0.2	0.2	0.4
	Mean	0.28	1.2	0.4
	Median	0.25	0.3	0.4
	Max	0.4	3.2	0.4
	Count	**4**	**3**	**2**
* Note that Made Ground subdivisions are based on Fugro borehole logging rather than amended to match results of grading tests.				

No index or shear strength tests (unit weight, undrained shear strength, friction angle, permeability etc.) were conducted on fine grained soils within the Made Ground. A single Atterberg limits test was undertaken (Sample 5 in hole AHL3) on a gravelly clay sample yielding the following results: Moisture Content = 61.5%, Plastic limit = 16%, Liquid limit = 150%, Plasticity index = 134%. This is a significantly higher plasticity than other natural clays on the site (although it is noted materials may not have been sourced locally) and may not be representative of localised clayey sand or clay strata encountered within the Made Ground.

A small number of shear and permeability tests were carried out on the Made Ground coarse soils (Table 5-2). Shear tests indicate high variability in friction angle and a difference between peak and critical friction angles, i.e. some dilatancy. There is not a clear difference in friction angle between sand and silty sand. A single unit weight test was performed on a sand sample, indicating loose consistency.

Permeability tests in the Made Ground (Table 5-2) indicate a high permeability, in the order of 1 x 10^{-4} m/s. There is approximately a 5-times variation in laboratory permeability performed on Made Ground samples, however it is noted that the tests were only performed on sand samples. Localised clay inclusions may locally reduce permeability, although based on the apparent lateral and vertical variation of the unit and predominance of sand these are unlikely to affect mass permeability.

Table 5-2 Made Ground laboratory test results - coarse soils.

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND
Friction angle (Direct shear box, peak)	Min	-	36	38
	Mean	-	39.5	39
	Median	-	40.5	39
	Max	-	41	40
	Count	**0**	**4**	**2**
Friction angle (Direct shear box, critical)	Min	-	33	-
	Mean	-	33	-
	Max	-	33	-
	Count	**0**	**1**	**0**
Friction angle (ICDC triaxial, peak)	Min	35	33	-
	Mean	38	33	-
	Median	38	-	-
	Max	41	33	-

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND
	Count	**2**	**1**	**0**
Friction angle (ICDC triaxial, critical)	Min	30	25	-
	Mean	32	25	-
	Median	32	-	-
	Max	34	25	-
	Count	**2**	**1**	**0**
Permeability (lab, m/s)	Min	5.7×10^{-5}	1.3×10^{-4}	3.0×10^{-4}
	Median	8.1×10^{-5}	-	-
	Max	1.2×10^{-4}	1.3×10^{-4}	3.0×10^{-4}
	Count	**3**	**1**	**1**
Dry Unit Weight (kN/m^3)	Min	-	17.17	-
	Mean	-	17.17	-
	Max	-	17.17	-
	Count	**0**	**1**	**0**

There are some strata in CPTs identified as clayey silt, silty clay or clay (by Soil Behaviour Type). In CPTs ATL1B, ATL1C and ATL1D, these clayey strata are very thin (less than 100mm) with a cone resistance of 0.5 to 1.5MPa, i.e. soft to firm (Lunne, Powell, & Robertson, 1997). Around the sea defence, in CPTs ATL4, ATL4A and ATL5B, more extensive strata that are predominantly clayey (by Soil Behaviour Type) are identified, 2.7m to 3.3m thick. Cone resistance in these strata range between 0.1 to 2.5MPa, i.e. very soft to stiff (Lunne, Powell, & Robertson, 1997), more typically between 0.2 and 1.0MPa (very soft to firm).

5.4 Naaldwijk Formation

The Naaldwijk Formation is principally sandy, but highly stratified with silty and clayey sand layers. Clay, silty clay and sandy clay strata are encountered within the Naaldwijk formation of 0.3m to 6.6m thickness in sonic boreholes and inferred from CPT Soil Behaviour Type. Changes in CPT Soil Behaviour Type also identify several thin clay-like strata of 100-200mm thick, generally not identified in sonic boreholes.

An organic clay / peat stratum is encountered at the base of the Naaldwijk Formation across the Maasvlakte site, at a thickness of 0.3m to 1.4m in sonic boreholes, typically within the range of -19 to -23mLAT, and often encountered within a thicker clay, silty clay or sandy clay stratum. Peat is not encountered within the shipping channel or offshore and may have been removed by dredging. Other clay strata are encountered in sonic boreholes, with thicknesses between 0.3m and 6.0m, typically 0.5m to 3.0m thick. The clay strata encountered above -19mLAT are not consistent in level across the site.

Within the shipping channel, the Naaldwijk Formation is typically encountered in boreholes and CPTs as very loose silty sand and sandy silt or soft silty clay. The formation may have been reworked by dredging operations.

The Naaldwijk Formation is anticipated to be relatively young, geologically: organic matter is noted regularly in logs and tests indicate organic content in clay and peat strata particularly. Beneath the Maasvlakte site, the clayey and organic strata may be prone to ongoing creep from the load increment due to land reclamation.

The sands within the Naaldwijk formation show closer correspondence to fines and gravel content from particle size distribution tests than Made Ground. Logged descriptions of gravel content are found to align closely with particle size distribution tests.

Particle size distribution tests from samples logged as sands or gravelly sands indicate predominantly single-sized medium to fine sand (typically uniformity coefficients of 2 to 3). Silty and clayey sands predominantly comprise fine to medium sand and typically <10% silt content, i.e. uniformity coefficient is only slightly improved by silt content (UC = 2-5) except in one sample (UC = 20). The single sandy gravel sample is noted to be well-graded (UC = 80).

Table 5-3 below summarises composition of coarse Naaldwijk Formation soils. Index tests on fine soils and peat Naaldwijk Formation soils are summarised in Table 5-4.

Table 5-3 Naaldwijk Formation index test results – coarse soils.

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Fines (<63 micron) content (%)	Min	0.7	2.5	2
	Mean	1.65	4.98	8.75
	Median	1.65	4.7	8.2
	Max	2.6	8.3	18.3
	Count	**2**	**5**	**11**
Gravel (2-63mm) content (%)	Min	1.2	0	0
	Mean	37.75	0.68	0.9
	Median	37.75	0	0.4
	Max	74.3	2.7	5.1
	Count	**2**	**5**	**11**
Water content (%)	Min	-	17	19
	Mean	-	26.6	26.5
	Median	-	22.0	25
	Max	-	55.3	44
	Count	**0**	**16**	**9**
Organic content (%)	Min	0.2	1.5	0.4
	Mean	0.2	1.55	1.5
	Median	-	1.55	0.9
	Max	0.2	1.6	3.7
	Count	**1**	**2**	**7**

Atterberg limit tests (Table 5-4) indicate a wide range of plasticity in the Naaldwijk Formation clays, from Intermediate (CI) plasticity materials to Extremely High (CE) plasticity materials. This may be related to the glacial origin of materials deposited in the Naaldwijk formation, which may have been derived from a large region and given rise to the observed variability. Borehole logs frequently note organic materials / odours within the Naaldwijk formation; there is significant organic content within the peat strata, clays are also noted to have a higher organic content than other strata.

Table 5-4 Naaldwijk Formation index test results – fine and peat soils.

Property		CLAY	Clayey PEAT / PEAT	Sandy CLAY / Silty CLAY	Sandy SILT / Clayey SILT
Fines (<63 micron) content (%)	Min	28.6	70.6	18.9	68
	Mean	65.8	70.6	66.34	75.2
	Median	63.7	-	80.7	69.7
	Max	95.5	70.6	94.4	87.9
	Count	**7**	**1**	**11**	**3**
Gravel (2-63mm) content (%)	Min	0	0	0	0
	Mean	0.13	0	2.04	0
	Median	0	-	0	0
	Max	0.7	0	20	0
	Count	**7**	**1**	**11**	**3**
Water content (%)	Min	24.9	-	28.6	-
	Mean	57.4	-	50.4	-
	Median	59.7	-	50.8	-
	Max	83.3	-	75	-
	Count	**10**	**0**	**16**	**0**
Organic content (%)	Min	4.2	37.9	0.2	3.9
	Mean	7.5	48.4	5.2	4.7
	Median	6.45	46.4	4.05	4.9
	Max	14.6	64.3	12.6	5.4

Property		CLAY	Clayey PEAT / PEAT	Sandy CLAY / Silty CLAY	Sandy SILT / Clayey SILT
	Count	**6**	**6**	**8**	**3**
Plastic Limit (%)	Min	22	-	13	22
	Mean	37.7	-	30.3	22
	Median	33.5	-	33	-
	Max	61	-	41	22
	Count	**10**	**0**	**9**	**1**
Liquid Limit (%)	Min	37	-	29	29
	Mean	82.7	-	71.6	29
	Median	86.5	-	74	-
	Max	130	-	110	29
	Count	**10**	**0**	**9**	**1**
Plasticity Index (%)	Min	15	-	6	7
	Mean	45	-	40.7	7
	Median	44	-	40	-
	Max	78	-	64	7
	Count	**10**	**0**	**9**	**1**

A small number of shear and permeability tests were carried out on the Naaldwijk coarse soils (Table 5-5). Shear tests indicate a smaller range of friction angles than the Made Ground, with shear box tests typically returning higher peak and critical friction angles than the triaxial tests. There is a small difference between peak and critical friction angles, i.e. indicating a small amount of dilatancy. Shear box peak friction angles in silty / clayey sands are noted to be lower than those in sands (the difference in critical state friction angle is unclear due to lack of data).

Permeability tests in the Naaldwijk Formation (Table 5-5) indicate a variable but relatively high permeability, in the order of 1×10^{-4} to 1×10^{-6} m/s. There is approximately a 120-times variation in laboratory permeability performed on Naaldwijk Formation sands and silty sands. Note that permeability testing does not include clay strata, which may significantly reduce local permeability; mass permeability may be governed by lateral flow through thin sand strata within the clays (as implied by some CPTs).

Table 5-5 Naaldwijk Formation laboratory test results - coarse soils.

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Friction angle (Direct shear box, peak)	Min	-	36.5	31.5
	Mean	-	37.5	33.5
	Median	-	37	34
	Max	-	39	35
	Count	**0**	**3**	**3**
Friction angle (Direct shear box, critical)	Min	-	34	29.5
	Mean	-	34	31.75
	Median	-	-	31.75
	Max	-	34	34
	Count	**0**	**1**	**2**
Friction angle (ICDC triaxial, peak)	Min	-	31	-
	Mean	-	32.7	-
	Median	-	33	-
	Max	-	34	-
	Count	**0**	**3**	**0**
Friction angle (ICDC triaxial, critical)	Min	-	28	-
	Mean	-	29.3	-
	Median	-	29.7	-
	Max	-	30	-
	Count	**0**	**3**	**0**
Permeability (lab, m/s)	Min	-	5.4×10^{-6}	9.3×10^{-7}
	Median	-	7.2×10^{-5}	2.0×10^{-5}
	Max	-	1.1×10^{-4}	3.3×10^{-5}
	Count	**0**	**3**	**3**

Hand vane shear strength tests were performed on clays and silts (Table 5-6), generally indicating soft and very soft consistencies. A single consolidated undrained (CU) triaxial and small shear box tests were performed on a silty clay specimen within the Naaldwijk Formation (Table 5-6),, returning a peak friction angle of 34.5° and a critical state friction angle of 31°.

Table 5-6 Naaldwijk Formation laboratory test results - fine soils.

Property		CLAY	Clayey PEAT / PEAT	Sandy CLAY / Silty CLAY
Undrained shear strength – hand vane	Min	41.5	-	10
	Mean	43.75	-	31.2
	Median	44	-	30.8
	Max	45.5	-	42.5
	Count	**4**	**0**	**10**

Consolidation tests were performed on reconstituted Naaldwijk Formation clays (Table 5-7) to determine compression, consolidation and creep parameters. A very high ratio between virgin consolidation (C_c) and swell-back (C_{sw}) of 23 and 61 in tests AHL1A-19 and ATL3A-B28 is noted, significantly larger than the typical ratio of 8-10 expected in consolidation tests.

Table 5-7 Naaldwijk Formation consolidation test results

	Level	C_c	C_{sw}	Mv					Cα (NEN)				
	(mLAT)	(-)	(-)	(MPa^{-1})					(-)				
Test pressure (kPa)				**40**	**80**	**160**	**320**	**640**	**40**	**80**	**160**	**320**	**640**
AHL1A-19	-7.5	0.1893	0.0082	1.4 E0	7.0 E-1	3.7 E-1	1.9 E-1	9.7 E-2	2.5 E-3	2.8 E-3	3.0 E-3	2.9 E-3	3.2 E-3
ATL3A-B11	-3.12	0.4259	0.0405	2.0 E0	1.2 E0	6.9 E-1	3.7 E-1	1.9 E-1	5.9 E-3	6.1 E-3	7.3 E-3	7.6 E-3	7.5 E-3
ATL3A-B28	-11.12	0.2628	0.0043	1.4 E0	8.1 E-1	4.4 E-1	2.4 E-1	1.3 E-1	4.0 E-3	4.6 E-3	4.7 E-3	4.8 E-3	5.1 E-3
Test pressure (kPa)				**25**	**50**	**100**	**200**	**-**	**25**	**50**	**100**	**200**	**-**
AT2-C10	-17.32	0.3615	0.0430	1.4E -0	8.1 E-1	7.6 E-1	4.9 E-1	-	8.3 E-4	4.9 E-3	5.4 E-3	5.9 E-3	-
Test pressure (kPa)				**66**	**130**	**230**	**520**	**-**	**66**	**130**	**230**	**520**	**-**
AH3-C13	-16.34	0.3284	0.0339	8.2 E-1	4.9 E-1	3.3 E-1	2.0 E-1	-	3.7 E-3	4.0 E-3	5.9 E-3	6.4 E-3	-

CPTs identify several clay-like strata (by Soil Behaviour Type) within the Naaldwijk Formation. The basal clay stratum is encountered with a thickness of 0.6 to 6.0m, within the range -19.5mLAT to -23.67mLAT, i.e. with good correlation with the sonic boreholes (note CPTs do not definitively discriminate between the peat and overlying clays). Similar to sonic boreholes, clayey strata are also encountered throughout the Naaldwijk Formation, with individual layers up to 2.2m thick. Clayey zones can be encountered at any depth, but may be more consistent between -5 and -10mLAT. Cone resistance varies between 0.2 and 6.0MPa, typically between 0.2 and 2.5MPa at -5mLAT and between 1.5 and 5.0MPa at -20mLAT, i.e. ranging from soft to very stiff (Lunne, Powell, & Robertson, 1997).

5.5 Kreftenheye Formation

The Kreftenheye Formation is a sandy deposit with typically low gravel content, typically with low silt content in the upper part of the Formation, becoming more silty towards the base. Fines content in sand silty sand is generally below 10% but may locally be between 20 and 25%. The organic content in this stratum is generally low. A rapid change in density is apparent at the top of the Kreftenheye Formation in CPT tests, potentially indicating a degree of overconsolidation. Organic content is typically below 1%, with a few tests returning up to 10% organic content.

Particle size distribution tests from samples logged as sands or gravelly sands indicate predominantly single-sized medium to fine sand for sands and coarse to medium sands for gravelly sands, with uniformity coefficients of 2 to 3. Silty and clayey sands predominantly comprise fine to medium sand and typically <10% silt content. While some silty sands are predominantly single-sized (UC = 2), a number of samples have increased uniformity coefficients, up to 100, as a result of higher fines content. The single sandy gravel sample is noted to be well-graded (UC = 80). Table 5-8 below summarises composition of coarse Naaldwijk Formation soils.

Table 5-8 Kreftenheye Formation index test results - coarse soils.

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Fines (<63 micron) content (%)	Min	0.8	1.3	1.7
	Mean	2.9	3.8	5.9
	Median	2.3	3.2	3.4
	Max	12.7	7.4	34.6
	Count	**21**	**16**	**64**
Gravel (2-63mm) content (%)	Min	0	0	0
	Mean	2.4	0.17	1.3
	Median	1.6	0	0.1
	Max	8	1	24.1
	Count	**21**	**16**	**64**
Water content (%)	Min	8.2	12	7.8
	Mean	16.5	18	18.2
	Median	16	18	18.3
	Max	27.5	21.6	32
	Count	**20**	**17**	**58**
Organic content (%)	Min	0.2	0.2	0.2
	Mean	0.43	0.74	0.7
	Median	0.3	0.3	0.4

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
	Max	3	4.5	9.4
	Count	**19**	**17**	**47**

No samples within fine grained soils are sampled within the Kreftenheye Formation and hence no index properties or shear strength parameters are presented.

A significant number of shear box and triaxial tests have been performed on samples from the Kreftenheye Formation (Table 5-9), particularly within silty and clayey sands. The shear box tests show, on average, a slightly higher peak and critical state friction angle in the silty sands than the triaxial tests. There is no clear difference in friction angles between gravelly sand, sand and silty / clayey sand. There is a more significant difference between peak and critical state friction angles (i.e. dilatancy) in the Kreftenheye than the overlying Naaldwijk formation. The small number of unit weight tests in the silty sands implies a loose consistency, i.e. in disagreement with CPT tests within the Kreftenheye Formation. The unit weight test results may have been affected by sample disturbance from sonic drilling.

Permeability tests in the Kreftenheye Formation (Table 5-9) indicate a high permeability, typically in the order of 1 x 10^{-4} to 1 x 10^{-5} m/s but with some low permeability (in the order of 10^{-8} m/s) results. There is a very large variation in laboratory permeability results performed on Kreftenheye Formation sands and silty sands, in the order of 70,000 times, potentially indicating very localised clayey or silty strata in the lowest-permeability samples. Mass permeability may be governed by lateral flow through the more permeable sand strata.

Table 5-9 Kreftenheye Formation laboratory test results - coarse soils.

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Friction angle (Direct shear box, peak)	Min	30	21	29.5
	Mean	35.2	34	35.4
	Median	36.5	37.5	36
	Max	39.5	37	41
	Count	**11**	**4**	**32**
Friction angle (Direct shear box, critical)	Min	31	31	30
	Mean	31.5	31	31.7
	Median	31	-	32

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
	Max	33	31	33
	Count	**4**	**1**	**13**
Friction angle (ICDC triaxial, peak)	Min	31	31	29
	Mean	34.7	34.5	34.4
	Median	35	34	34
	Max	38	39	38
	Count	**6**	**4**	**27**
Friction angle (ICDC triaxial, critical)	Min	26	29	24
	Mean	28.8	30.5	30.3
	Median	29	30.5	30
	Max	31	32	33
	Count	**6**	**4**	**27**
Permeability (lab, m/s)	Min	1.2×10^{-8}	4.9×10^{-5}	5.2×10^{-9}
	Median	1.1×10^{-4}	1.1×10^{-4}	8.0×10^{-5}
	Max	3.7×10^{-4}	3.4×10^{-4}	2.9×10^{-4}
	Count	**12**	**8**	**20**
Dry Unit Weight (kN/m^3)	Min	-	-	15.0
	Mean	-	-	15.7
	Median	-	-	15.7
	Max	-	-	16.4
	Count	**0**	**0**	**2**

Four CPTs (AHL2, ATL1, ATL1A and ATL4A) identify a small number of single thin, isolated clay-like strata (by Soil Behaviour Type) within the Kreftenheye Formation, of 0.5 to 1.4m thick. Elevations of clay-like strata vary between -21mLAT and -51mLAT, with three of the four layers located between -45mLAT and -51mLAT, i.e. towards the base of the Kreftenheye Formation. Cone resistance varies between 0.7 and 8.4MPa, typically between 1.0 and 4.0MPa, i.e. firm to very stiff consistency (Lunne, Powell, & Robertson, 1997).

5.6 Winterton Shoal Formation

The Winterton Shoal Formation is noted to be highly stratified silty sands, sandy silts and sandy / clayey silts and is distinguished from the Kreftenheye Formation by its lack of gravel content. Logging of the Winterton Shoal Formation does not consistently agree with particle size distribution tests, with some tests in sand and silty sand returning 35-80% fines content. Conversely, one of the two samples logged as sandy silt has a fines content of 20%.

Particle size distribution tests indicate sands to be predominantly fine or fine to medium. Sands are typically single sized (uniformity coefficient of 2 or less); increasing silt content tends to improve the uniformity coefficients (from 10 to >100).

Table 5-10 below summarises composition of coarse Naaldwijk Formation soils. Table 5-11 summarises index tests on fine Winterton Shoal Formation soils.

Table 5-10 Winterton Shoal Formation index test results - coarse soils.

Property		SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Fines (<63 micron) content (%)	Min	5.1	4.3
	Mean	29.3	17.4
	Median	8.3	9
	Max	74.6	80.7
	Count	**3**	**21**
Gravel (2-63mm) content (%)	Min	0	0
	Mean	0	0
	Median	0	0
	Max	0	0
	Count	**3**	**21**
Water content (%)	Min	17	0

Property		SAND	Silty SAND / Clayey SAND
	Mean	23.4	21.7
	Median	23.9	22.0
	Max	28.3	28.8
	Count	**6**	**20**
Organic content (%)	Min	0.6	0.4
	Mean	0.6	0.9
	Median	-	0.6
	Max	0.6	2.2
	Count	**1**	**8**

Atterberg limit tests (Table 5-11) indicate a relatively narrow range of plasticity in the Winterton Shoal Formation clays. Results indicate the clays are predominantly Low (CL) to Intermediate (CI) plasticity materials, with a single High (CH) plasticity sandy clay test. Organic content is below 5% and typically less than 1% in sand and silty sands.

Table 5-11 Winterton Shoal Formation index test results - fine soils.

Property		CLAY	Sandy CLAY / Silty CLAY	Sandy SILT / Clayey SILT
Fines (<63 micron) content (%)	Min	96.9	38.2	21.2
	Mean	96.9	67.9	48.4
	Median	-	69.8	55.6
	Max	96.9	91.7	61
	Count	**1**	**10**	**4**
Gravel (2-63mm) content (%)	Min	0	0	0
	Mean	0	0.01	0
	Median	-	0	0

Property		CLAY	Sandy CLAY / Silty CLAY	Sandy SILT / Clayey SILT
	Max	0	0.1	0
	Count	**1**	**10**	**4**
Water content (%)	Min	22.5	18.6	19
	Mean	23.4	25.2	26.6
	Median	23.7	25.1	27.2
	Max	23.9	30.7	33
	Count	**3**	**12**	**4**
Organic content (%)	Min	3.6	1.4	3.2
	Mean	3.6	3.5	3.2
	Median	-	3.9	-
	Max	3.6	4.9	3.2
	Count	**1**	**4**	**1**
Plastic Limit (%)	Min	16	14	14
	Mean	18	17.6	18.7
	Median	18	18	19
	Max	20	22	23
	Count	**3**	**11**	**3**
Liquid Limit (%)	Min	32	26	24
	Mean	32.6	36.9	26.3
	Median	33	40	25
	Max	33	59	30
	Count	**3**	**11**	**3**
Plasticity Index (%)	Min	13	10	6
	Mean	14.6	19.4	7.7

Property		CLAY	Sandy CLAY / Silty CLAY	Sandy SILT / Clayey SILT
	Median	14	22	7
	Max	17	37	10
	Count	**3**	**11**	**3**

Shear box tests (and a single triaxial) have been performed on samples from the Winterton Shoal Formation silty sands (Table 5-12). A difference between peak and critical state friction angles (i.e. dilatancy) is noted, similar to the Kreftenheye Formation.

Permeability tests in the Winterton Shoal Formation are variable (Table 5-12), but also indicate a generally lower permeability than the other geological formations; i.e. in the order of 1×10^{-5} to 1×10^{-9} m/s. There is approximately a 16,000-times variation in laboratory permeability performed on Winterton Shoal Formation sands and silty sands. Note that permeability testing does not include clay strata, which may significantly reduce local permeability; mass permeability may be governed by lateral flow through thin higher-permeability strata.

Table 5-12 Winterton Shoal Formation laboratory test results - coarse soils.

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Friction angle (Direct shear box, peak)	Min	-	-	30.5
	Mean	-	-	35.2
	Median	-	-	35.75
	Max	-	-	37.5
	Count	**0**	**0**	**8**
Friction angle (Direct shear box, critical)	Min	-	-	31
	Mean	-	-	32.4
	Median	-	-	32.5
	Max	-	-	33.5
	Count	**0**	**0**	**6**
Friction angle (ICDC triaxial, peak)	Min	-	-	31
	Mean	-	-	31
	Median	-	-	-
	Max	-	-	31
	Count	**0**	**0**	**1**

Property		gravelly SAND / sandy GRAVEL	SAND	Silty SAND / Clayey SAND
Friction angle (ICDC triaxial, critical)	Min	-	-	31
	Mean	-	-	31
	Median	-	-	-
	Max	-	-	31
	Count	**0**	**0**	**1**
Permeability (lab, m/s)	Min	-	7.8×10^{-10}	7.4×10^{-8}
	Median	-	1.2×10^{-7}	6.5×10^{-6}
	Max	-	2.9×10^{-7}	1.3×10^{-5}
	Count	**0**	**3**	**2**
Dry Unit Weight (kN/m^3)	Min	19.03	19.4	-
	Mean	19.03	19.4	-
	Median	-	19.4	-
	Max	19.03	19.4	-
	Count	**1**	**2**	**0**

Consolidation tests were performed on trimmed (i.e. not reconstituted) Winterton Shoal Formation clays to determine compression, consolidation and creep parameters. A high ratio between virgin consolidation (C_c) and swell-back (C_{sw}) of 18 and 61 in tests AT1-C89 is noted, significantly larger than the typical ratio of 8-10 expected in consolidation tests.

Table 5-13: Winterton Shoal Formation Consolidation Test Results

Sample	Level	C_c	C_{sw}	Mv						Cα (NEN)					
Unit	mLAT	-	-	MPa^{-1}						-					
	Test pressure (kPa)			180	360	720	1440	2880	5760	180	360	720	1440	2880	5760
AT1-C89	-50.31	0.253	0.0138	1.8 E-1	1.4 E-1	1.1 E-1	6.5 E-2	3.8 E-2	1.9 E-2	1.6 E-3	2.2 E-3	3.2 E-3	3.8 E-3	4.3 E-3	4.9 E-3
	Test pressure (kPa)			240	480	960	1920	3840		240	480	960	1920	3840	
AT2-C61	-40.07	0.2568	0.0415	2.5 E-1	1.6 E-1	1.0 E-1	5.4 E-2	2.9 E-1		9.4 E-4	1.9 E-3	3.3 E-3	3.4 E-3	4.0 E-3	
	Test pressure (kPa)			140	280	560	1120	2240	4480	140	280	560	1120	2240	4480
AT8-C66	-47.27	0.2526	0.0351	2.1 E-1	1.5 E-1	9.7 E-2	6.0 E-2	3.8 E-2	2.3 E-2	1.3 E-3	1.6 E-3	2.0 E-3	2.5 E-3	3.2 E-3	3.7 E-3

Only two CPTs probed the Winterton Shoal Formation (AHL2 and ATL1D). Only ATL1D returns a Soil Behaviour Type that implies clay-like behaviour; the strata thickness varies between 0.3m and 1.4m, with strata indicative of silty sand behaviour between. AHL2 CPT results imply alternating silty sands and sandy silts. Cone resistance varies between 1.6 and 16.1MPa, i.e. stiff to very stiff consistency (Lunne, Powell, & Robertson, 1997).

5.7 Soil Abrasivity

Abrasivity testing was performed on 46no. samples (Fugro, 2023), distributed between the Made Ground, Naaldwijk Formation and Kreftenheye Formation, following the Soil Abrasion Test™ (Nilsen, Dahl, Holzhauser, & Raleigh, 2007). The SAT™ mean weight loss varied from 4.5mg to 36.5mg, with 38 of the 46 samples (83%) returning results in the 'High' cutter steel abrasion category, with SAT™ mean weight loss >22mg. There is a tendency for values in the Kreftenheye Formation to be higher than other geological units.

Petrographic analysis has been performed on sands (Fugro, 2023), which indicates sands in the Made Ground, Naaldwijk Formation and Kreftenheye Formation are primarily of quartz origin and typically rounded to subrounded, with rare subangular to angular sands noted. Carbonate content tests (134no. loss on ignition method tests, 20no. chemical method tests) indicate the carbonate content varies from 0.2% to 21.4%. Typically, the onshore boreholes show a carbonate content of 5-20% within the uppermost 26m, i.e. the Made Ground, Naaldwijk Formation and Kreftenheye Formation. The onshore boreholes return lower carbonate contents in the Winterton Shoal Formaiton, typically below 10%. Offshore boreholes typically return higher carbonate contents of 5-20% within the first 5m and typically <10% below. In the two offshore boreholes where the Winterton Shoal Formation is tested (AT2 and AT8), there is a local increase in carbonate content (up to 21.4%).

5.8 Ground Aggressivity

Chemical and electrochemical testing for aggressivity to steel and concrete comprised 68no. acid and water soluble chloride content tests, 69no. water soluble sulphate (2:1 aqueous extract) and total sulphur tests, 55no. redox potential tests, 68no. pH tests.

The Made Ground and Naaldwijk Formation, tend to have a higher sulphate content, neutral to alkaline pH (6.9 to 9.1, excluding the Niewkoop Formation peat) and higher redox potential. Sulphate and redox potential are locally higher in the Niewkoop Formation peat layer at the base of the Naaldwijk formation which is strongly acidic (pH of 4.7 to 5.6). The lower soils (Kreftenheye and Winterton Shoal Formations) tend to be alkaline (pH 7.5 to 9.3), as shown in Appendix Figures B.15.1 and B.15.2 .

On the basis of the above, for concrete aggressivity classification, the upper (Made Ground / Naaldwijk) strata are considered to have a distinct risk profile to the lower (Kreftenheye / Winterton Shoal) strata. Sulphate classification to EN206:2013 and BRE Special Digest 1 (BRE, 2005) on the basis of water soluble sulphate alone, indicates the upper strata are sulphate class DS-3, while the lower strata are DS-2. However, given the high chloride content from the marine environment, the chloride and nitrate corrections in brownfield classification (BRE, 2005) are considered applicable, which indicate a sulphate class of DS-5 and DS-3 in the upper and lower strata respectively. Due to high permeability, groundwater in considered mobile. Corrections for Total Potential Sulphate are only considered applicable to the tidal zone, where oxidation is possible; in the Made Ground, this returns a sulphate class of DS-5 as shown in Appendix B.15.5 to B.15.10 In summary, sulphate classes are assessed as:

- Made Ground: DS-5
- Naaldwijk Formation: DS-5 (noting low pH of 4.7 to 5.6 in peat)
- Kreftenheye Formation: DS-3
- Winterton Shoal Formation: DS-3

Redox potential varies widely in the upper (Made Ground / Naaldwijk) strata, from 70-157mV. In the lower (Kreftenheye / Winterton Shoal) strata, redox potential is lower and more consistent, varying from 70-100mV. Refer to Appendix B for details.

6 GEOTECHNICAL PARAMETERS

CPTs and results of laboratory testing are combined to develop characteristic parameters for the sub-units of each geological stratum; each is divided into sub-units of:

1. Sand (i.e. predominantly clean sand),
2. Silty Sand (also including clayey sand and sandy silt),
3. Clay (also including silty clay, sandy clay and gravelly clay).

Parameters for a separate sub-unit of Peat at the base of the Naaldwijk Formation are also developed and presented.

High strength and stiffness may be more onerous for certain design situations and therefore Upper and Lower values of geotechnical parameters are developed in this report. In accordance with Eurocode 7, Lower and Upper Bound (LB / UB) profiles are developed which relate to local limit states occurring over a small zone only, and Lower and Upper estimates of the mean (LM / UM) are developed which give and inferior or superior estimate of the mean properties of the ground.

6.1 Parameter Derivation

6.1.1 Unit weight, γ

Given the limited number of test data, unit weights are estimated using Figure 2 of BS8004 (BSI, 2015) on the basis of the consistency of clays and relative density of sands, derived from CPT tests (see Sections 6.1.2 and 6.1.5)

6.1.2 Relative density, D_r

Relative Density is used as an intermediate parameter to determine unit weight and dilatancy angle in sands and silty sands. Relative Density is derived from correlations with CPT test results using the following formula (Jamiolkowski M. L., 2003):

$$\mathrm{Dr} = 0.268 \cdot Ln(Q_{tn}) - b_x$$

Where:

Q_{tn}, is normalised cone resistance (Robertson & Wride, 1998)

b_x. assumed to be 0.675 (medium compressibility silica-quartz sands)

6.1.3 Friction angle, φ

Critical state friction angle (ϕ_c) is initially assessed based on particle size distribution data, assuming sands are primarily rounded (as is implied by their geological origin, not noted specifically on borehole logs). BS8004 (BSI, 2015), suggests a critical state friction angle for rounded silica sands of 30 degrees. A lower friction angle in fine uniform sands at zero relative density (i.e. where peak = critical state friction angle) of 28 degrees is also credible as a lower bound (Lunne, Powell, & Robertson, 1997).

Critical state friction angles in sand, gravelly sand, clayey sand and silty sand strata from shear box and triaxial tests are compared to the 'typical' values above, noting that shear box tests were principally undertaken on Kreftenheye Formation silty and gravelly sands, while triaxial tests were principally undertaken on Kreftenheye Formation silty sands. Shear box tests are also noted to produce a 'forced' failure plane between the platens, meaning the line of least resistance may not be taken and hence friction angles may be overestimated.

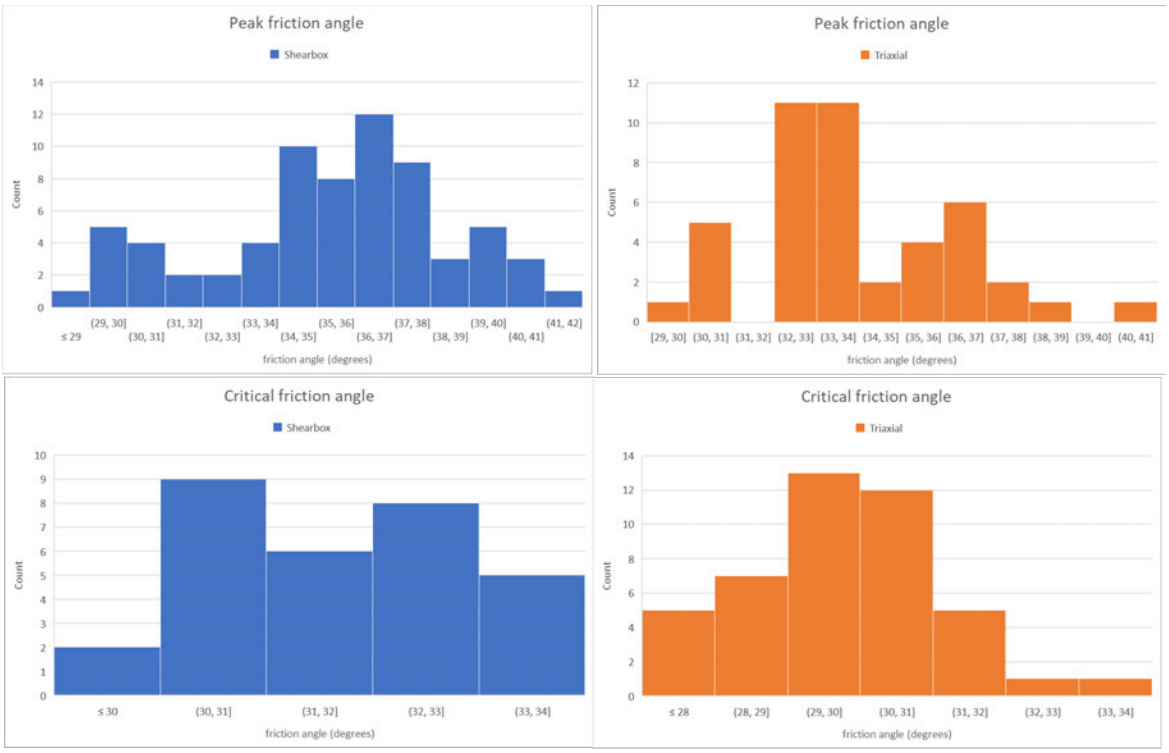


Figure 6-1: Histogram of friction angles from shear box and triaxial tests for all sand, silty sand and gravelly sand samples

On the basis of the data in Figure 6-1, a lower-bound (LB) critical state friction angle of 27 degrees is considered credible in poorly graded, fine or silty sands. Three triaxial tests (performed on samples from the Kreftenheye Formation and Made Ground) returned lower minimum friction angles (24 to 26 degrees) but these are not considered representative of the wider formation. A relatively large dilatancy angle is noted in each of these triaxial tests (5 to 9 degrees), i.e. they report a peak friction angle of 31 to 33 degrees.

An upper bound (UB) critical state friction angle of 34 degrees from triaxial and shear box tests aligns closely with BS8004 (BSI, 2015) for medium to multi-graded silica sand. For estimates of upper and lower mean (UM, LM), upper and lower bounds on the mean from triaxial and shear box test results is considered. As there is no statistically significant difference in critical state friction angle between sands and silty / gravelly sands apparent from current data, the same critical state friction angle is taken for sands and silty sands in each geological formation. Similarly, all geological units use the same values for critical state friction angle rather than formation-specific data, due to the small data sets available in units other than the Kreftenheye Formation.

Peak friction angles (ϕ_p) are derived by calculating dilatancy angles (ϕ_d) given in BS8004 (BSI, 2015) based on relative density of each sub-unit. Results are compared to peak friction angles from shear box and triaxial tests within each unit. Relative density is noted to be generally lower in silty sands than sands.

In clays, the critical state friction angle is based on plasticity index and BS8004. Note that the LB / LM profiles take higher values of Plasticity Index than the UM / UB profiles, to provide a lower bound on strength.

6.1.4 Effective cohesion, c'

Effective cohesion in sands is assumed to be zero for LB / LM profiles in Made Ground, Naaldwijk Formation and Kreftenheye Formation sands. In the Winterton Shoal formation, due to the increased depth, likely historical overconsolidation and increased fines content, the LM profile includes a lower bound to c' from triaxial tests and direct shear tests for effective stresses considered applicable to the design, i.e. between zero and 600kPa. Values taken from triaxial tests and direct shear tests, based on the same stress interval are used for UB and UM profiles.

A single consolidated undrained triaxial test in clay indicated an effective cohesion of 12kPa, which is within the range for clays in Table 2 of NEN 9997-1(2012) of 0-15kPa. A range of c' = 0-15kPa is therefore assumed.

6.1.5 Undrained Shear Strength, S_u

As the natural geological formations are expected to be relatively young, a lower bound (LB) profile is selected based on the assumption of normal consolidation, i.e.:

$$s_u = 0.22 \cdot \sigma'_v$$

Multiple correlations to CPT parameters are considered in estimating undrained shear strength of cohesive soils:

Total stress method (Lunne, Powell, & Robertson, 1997):

$$s_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

Where N_{kt} is assumed to be 15 for high plasticity, normally consolidated clays (i.e. Made Ground and Naaldwijk Formation) and 10 for intermediate plasticity, lightly overconsolidated clays (i.e. Winterton Shoal Formation).

Normalised cone resistance method (Campanella & Robertson, 1981):

$$s_u = \frac{Q_{tn} \cdot \sigma'_{v0}}{N_k}$$

Where N_k is assumed to be 15 for high plasticity, normally consolidated clays (i.e. Made Ground and Naaldwijk Formation) and 10 for intermediate plasticity, lightly overconsolidated clays (i.e. Winterton Shoal Formation).

Excess pore pressure method (Lunne, Powell, & Robertson, 1997):

$$s_u = \frac{(u_2 - u_0)}{N_{\Delta u}}$$

Where $N_{\Delta u}$ is assumed to be 10. It is noted this method only applies for soft normally consolidated clays, where low cone resistance and high excess pore water pressure make the latter a more reliable measurement (Lunne, Powell, & Robertson, 1997). This method is therefore only considered in clays where q_c < 1.0MPa and where excess pore water pressure is positive.

Assumed values of N_{kt}, N_k and $N_{\Delta u}$ have been compared against available shear strength test data and to against a lower-bound strength of (approximately) normal consolidation.

6.1.6 Poisson's Ratio, v

The following Drained Poisson Ratio values have been assumed (Bowles, 1997):

Table 6-1: Assumed Drained Poisson Ratio

Stratum	Poisson Ratio, v
Sand	0.20 – 0.30
Silty / Clayey Sand	0.25 – 0.35
Clay, Sandy / Silty Clay	0.30 – 0.40
Peat	0.30 - 0.45

Geotechnical design will consider the influence of variation of Poisson Ratio within the ranges above. In the Undrained condition, a Poisson's Ratio of 0.495 is assumed.

6.1.7 Small Strain Shear Modulus, G_0

Small Strain Shear Modulus (G_0) in sands is estimated from CPTs for use in design and to derive related parameters (E', v_s). There is a wide range of possible correlations and to avoid double-counting of statistical variation, different profiles are developed for cone resistance but a single correlation to G_0 is used based on the mean of the following correlations (Schnaid, Lehane, & Fahey, 2004):

$$G_{0,min} = 100\sqrt[3]{q_t \cdot \sigma'_{v0} \cdot P_a}\ (lower\ bound, uncemented)$$

$$G_{0,max} = 280\sqrt[3]{q_t \cdot \sigma'_{v0} \cdot P_a}(upper\ bound, uncemented)$$

i.e.:

$$G_0 = 190\sqrt[3]{q_t \cdot \sigma'_{v0} \cdot P_a}(upper\ bound, uncemented)$$

In clays, the following relationship is adopted:

6.1.8 Drained Young's Modulus, E'

For design based on Mohr-Coulomb soil models, Drained Young's Modulus (E') in sands is calculated from Small Strain Shear Modulus (G_0) (Fahey & Carter, 1993):

$$E' = 2(1 + \nu)G$$

and:

$$G = G_0 \cdot (1 - f \cdot (\frac{q}{q_{ult}})^g)$$

Where constants f = 1 and g = 0.3 (Mayne, 2005). Degree of shear utilisation q/q_{ult} is assumed to be 50%, i.e. a factor of safety of 2.0. Where the factor of safety is known, Young's Modulus of sands for Mohr-Coulomb soil models may be modified by the above equation.

In clays, E' is calculated as follows:

$$E' = \frac{2}{3} \cdot E_u \cdot (1 + \nu)$$

Consolidation tests in Naaldwijk Formation and Winterton Shoal Formation clays are noted to imply a lower ratio of E'/s_u than this calculation produces, however it is noted that sample disturbance, remoulding and loss of ageing-related bonding in these normally consolidated and lightly overconsolidated soils is difficult to avoid and may lead to an underestimate of stiffness.

6.1.9 Undrained Young's Modulus, E_u

For normally consolidated high plasticity clays, i.e. within the Made Ground and Naaldwijk formation, a ratio of Undrained Young's Modulus to Undrained Shear Strength E_u/s_u of 200 is assumed, while for lightly overconsolidated low to intermediate plasticity clay, i.e. the Winterton Shoal Formation, E_u/s_u of 600 is assumed (Jamiolkowski, Lancellotta, Pasqualini, Marchetti, & Nova, 1979).

6.1.10 Permeability, k

Laboratory permeability tests are considered local values rather than representative of the mass as a whole, which is expected to be vertically stratified and also highly laterally variable, particularly in Made Ground and the Naaldwijk Formation. Permeability tests are compared against expected ranges for CPT Soil Behaviour Type (Lunne, Powell, & Robertson, 1997):

Table 6-2 Estimates of permeability from CPT Soil Behaviour Type (Lunne, Powell, & Robertson, 1997)

SBT Zone	Description	Permeability, m/s
1	Sensitive fine grained	3E-3 to 3E-8
2	Organic soils	1E-8 to 1E-6
3	Clay to silty clay	1E-10 to 1E-8
4	Clayey silt to silty clay	1E-8 to 1E-7
5	Sandy silt to silty sand	1E-7 to 1E-5
6	Clean sand to silty sand	1E-5 to 1E-3
7	Dense sand to gravelly sand	1E-3 to 1E0

Horizontal permeability k_h is assumed to be at least 10 times greater than in the vertical direction, k_v.

6.1.11 In-situ earth pressure coefficient, K_0

In-situ earth pressure coefficient at rest has been calculated from critical state friction angle for normal consolidation:

$$K_{0,NC} = 1 - \sin(\varphi_c)$$

Denser soils may be normally consolidated; the likely unconformity between the Kreftenheye and Winterton Shoal Formations in particular is expected to have resulted in overconsolidation.
The Made Ground is very geologically young but may have been surcharged, which would produce locked in stresses and elevated K_0 within the uppermost layers, reducing with depth.

The Naaldwijk Formation is a geologically young formation and is assumed to be normally to lightly overconsolidated; an overconsolidation ratio of 1 (Lower Bound) to 2 (Upper Bound) is considered for calculation. A similar assumption is made for the Kreftenheye Formation. The Winterton Shoal Formation is assumed to be lightly overconsolidated; an overconsolidation ratio of 2 (Lower Bound) to 4 (Upper Bound) is considered for calculation.

$$K_{0OC} = K_{0,NC} \cdot OCR^{\sin(\varphi_c)}$$

6.2 Summary of CPT parameters

For derivation of characteristic parameters in Section 6.3, values of corrected and normalised cone resistance for each of the four profiles (LB, LM , UM, UB) are developed for geological sub-units below. The site stratigraphy is complex and variable and parameters are developed over a wide elevation range with the intention of being applied to location-specific stratigraphic profiles (see Section 6.4) in designs.

Values below may be given over elevation ranges or at a point. Where values are given at a point, values between points can be linearly interpolated.

6.2.1 Made Ground – CPT parameters

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index, I_c [1]	Normalised Cone Resistance, Q_{tn} [2]
		MPa	**-**	**-**
Made Ground				
Sand	LB	0.5 (surface to -5mLAT) 10 (-5mLAT to -9mLAT)	1.8 (Zone 6)	25 (+4mLAT) 120 (-5mLAT) 90 (-9mLAT)
	LM	0.5 (surface to -5mLAT) 15 (-5mLAT to -9mLAT)	1.7 (Zone 6)	23 (+4mLAT) 165 (-5mLAT) 140 (-9mLAT)
	UM	1.0 (surface to -5mLAT) 30 (-5mLAT to -9mLAT)	1.4 (Zone 6)	32 (+4mLAT) 330 (-5mLAT) 280 (-9mLAT)
	UB	1.0 (surface to 0mLAT) 40 (-5mLAT to -9mLAT)	1.2 (Zone 7)	26 (+4mLAT) 550 (0mLAT) 340 (-9mLAT)

[1] (Robertson & Wride, 1998)
[2] (Robertson & Wride, 1998)

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index, I_c [1]	Normalised Cone Resistance, Q_{tn} [2]
		MPa	**-**	**-**
Made Ground				
Silty Sand	LB	0.3 (surface to +4mLAT) 2.0 (-3mLAT) 6.0 (-4mLAT) 9.0 (-9mLAT)	2.6 (Zone 5)	38 (+4mLAT) 29 (-3mLAT) 79 (-4mLAT) 79 (-9mLAT)
	LM	0.3 (surface to +4mLAT) 4.0 (-3mLAT) 7.0 (-4mLAT) 10.0 (-9mLAT)	2.4 (Zone 5)	38 (+4mLAT) 50 (-3mLAT) 85 (-4mLAT) 85 (-9mLAT)
	UM	0.6 (surface to +4mLAT) 5.0 (-2mLAT) 9.0 (-4mLAT) 11.0 (-9mLAT)	2.1 (Zone 5)	38 (+4mLAT) 85 (-3mLAT) 90 (-4mLAT) 100 (-9mLAT)
	UB	3.0 (surface to +4mLAT) 6.0 (-2mLAT) 11.5 (-4mLAT) 11.5 (-9mLAT)	1.8 (Zone 6)	38 (+4mLAT) 90 (-3mLAT) 100 (-4mLAT) 100 (-9mLAT)
Clay	LB	0.16	3.6 (Zone 3)	10 (+4mLAT) 2 (-3mLAT)
	LM	0.2 (surface to 0mLAT) 0.6 (-3mLAT)	3.5 (Zone 3)	11 (+4mLAT) 5 (0mLAT) 9 (-3mLAT)

Stratum		**Corrected cone resistance, q_t**	**Soil Behaviour Type Index, I_c** [1]	**Normalised Cone Resistance, Q_{tn}** [2]
		MPa	**-**	**-**
Made Ground				
	UM	1.0 (surface to 0mLAT) 1.5 (-3mLAT)	3.2 (Zone 3)	51 (+4mLAT) 27 (0mLAT) 24 (-3mLAT)
	UB	1.5 (surface to 0mLAT) 2.0 (-3mLAT)	2.8 (Zone 4)	61 (+4mLAT) 48 (0mLAT) 30 (-3mLAT)

6.2.2 Naaldwijk Formation– CPT parameters

Stratum		**Corrected cone resistance, q_t**	**Soil Behaviour Type Index,I_c**	**Normalised Cone Resistance, Q_{tn}**
		MPa	**-**	**-**
Naaldwijk Formation (shark fin site)				
Sand	LB	9 (-4mLAT) 13 (-22mLAT)	2.1 (Zone 5)	100 (-4mLAT) 74 (-22mLAT)
	LM	10 (-4mLAT) 15 (-16mLAT) 20 (-22mLAT)	1.9 (Zone 6)	120 (-4mLAT) 100 (-16mLAT) 120 (-22mLAT)
	UM	15 (-4mLAT) 18 (-16mLAT) 25 (-18mLAT) 30 (-22mLAT)	1.5 (Zone 6)	170 (-4mLAT) 130 (-16mLAT) 175 (-18mLAT) 250 (-22mLAT)
	UB	22 (-4mLAT to -16mLAT) 50 (-16mLAT to -20mLAT)	1.3 (Zone 7)	245 (-4mLAT) 170 (-15.9mLAT) 385 (-16.1mLAT) 350 (-22mLAT)

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index, I_c	Normalised Cone Resistance, Q_{tn}
		MPa	-	-
Naaldwijk Formation (shark fin site)				
Silty Sand	LB	2.5 (-4mLAT) 4.0 (-22mLAT)	2.6 (Zone 5)	32 (-4mLAT) 16 (-22mLAT)
	LM	4.0 (-4mLAT) 6.0 (-22mLAT)	2.5 (Zone 5)	50 (-4mLAT) 25 (-22mLAT)
	UM	7.0 (-4mLAT) 10.0 (-22mLAT)	2.2 (Zone 5)	85 (-4mLAT) 49 (-22mLAT)
	UB	9.0 (-4mLAT) 15.0 (-22mLAT)	2.1 (Zone 5)	110 (-4mLAT) 80 (-22mLAT)
Clay	LB	0.25 (-4mLAT) 1.6 (-22mLAT)	3.8 (Zone 2)	2.5 (-4mLAT) 4.5 (-22mLAT)
	LM	0.5 (-4mLAT) 2.0 (-22mLAT)	3.4 (Zone 3)	5.9 (-4mLAT) 6.6 (-22mLAT)
	UM	1.3 (-4mLAT) 3.3 (-22mLAT)	3.0 (Zone 3)	16 (-4mLAT) 13 (-22mLAT)
	UB	1.3 (-4mLAT) 3.3 (-22mLAT)	2.6 (Zone 4)	32 (-4mLAT) 23 (-22mLAT)
Peat	LB	1.0	4.2 (Zone 2)	1.1
	LM	1.2	3.9 (Zone 2)	1.7
	UM	1.6	3.6 (Zone 2)	2.5
	UB	2.6	3.2 (Zone 3)	3.0

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index, I_c	Normalised Cone Resistance, Q_{tn}
		MPa	-	-
Naaldwijk Formation (offshore)				
Silty Sand (Represents Maasgeul Shipping Channel disturbed NLD / KR sands and silty sands)	LB	0.01 at surface 0.8 (-20mLAT) 0.8 (-30mLAT)	2.9 (Zone 4)	6 (surface) 20 (-20mLAT) 20 (-30mLAT)
	LM	0.05 at surface 1.5 (-20mLAT) 1.5 (-30mLAT)	2.7 (Zone 4)	10 (surface) 27 (-20mLAT) 27 (-30mLAT)
	UM	0.25 at surface 3.0 (-20mLAT) 3.0 (-30mLAT)	2.3 (Zone 4)	20 (surface) 35 (-20mLAT) 35 (-30mLAT)
	UB	0.4 at surface 5.0 (-20mLAT) 5.0 (-30mLAT)	2.0 (Zone 5)	25 (surface) 60 (-20mLAT) 60 (-30mLAT)
Clay (Represents Maasgeul Shipping Channel disturbed NLD / KR clays)	LB	0.8 at surface 1.1 (-20mLAT) 1.1 (-30mLAT)	2.9 (Zone 4)	27 at surface 19 (-20mLAT) 19 (-30mLAT)
	LM	1.0 at surface 1.2 (-20mLAT) 1.2 (-30mLAT)	2.8 (Zone 4)	27 at surface 19 (-20mLAT) 19 (-30mLAT)
	UM	1.1 at surface 1.4 (-20mLAT) 1.4 (-30mLAT)	2.7 (Zone 4)	28 at surface 25 (-20mLAT) 25 (-30mLAT)
	UB	1.2 at surface 2.0 (-20mLAT) 2.0 (-30mLAT)	2.6 (Zone 4)	29 at surface 32 (-20mLAT) 32 (-30mLAT)

6.2.3 Kreftenheye Formation– CPT parameters

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index,I_c	Normalised Cone Resistance, Q_{tn}
		MPa	-	-
Kreftenheye Formation				
Sand	LB	14 (-21mLAT) 25 (-40 to -54mLAT)	2.0 (Zone 6)	80 (-21mLAT) 80 (-40mLAT) 60 (-54mLAT)
	LM	20 (-21mLAT) 40 (-40 to -54mLAT)	1.8 (Zone 6)	120 (-21mLAT) 140 (-40mLAT) 110 (-54mLAT)
	UM	40 (-21mLAT) 55 (-40 to -54mLAT)	1.6 (Zone 6)	250 (-21mLAT) 250 (-40mLAT) 155 (-54mLAT)
	UB	60 (-21mLAT) 70 (-40 to -54mLAT)	1.3 (Zone 7)	420 (-21mLAT) 340 (-40mLAT) 285 (-50mLAT)
Silty Sand	LB	4 (-21mLAT) 10 (-36mLAT) 20 (-54mLAT)	2.8 (Zone 4)	17 (-21mLAT) 25 (-36mLAT) 43 (-54mLAT)
	LM	8 (-21mLAT) 15 (-34mLAT) 30 (-36mLAT) 24 (-54mLAT)	2.6 (Zone 5)	37 (-21mLAT) 44 (-34mLAT) 100 (-36mLAT) 58 (-54mLAT)
	UM	12 (-21mLAT) 20 (-30mLAT) 45 (-36mLAT) 35 (-54mLAT)	2.2 (Zone 5)	62 (-21mLAT) 76 (-30mLAT) 180 (-36mLAT) 110 (-54mLAT)

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index, I_c	Normalised Cone Resistance, Q_{tn}
		MPa	-	-
	UB	18 (-21mLAT) 30 (-30mLAT) 60 (-36mLAT) 45 (-54mLAT)	2.0 (Zone 6)	100 (-21mLAT) 120 (-30mLAT) 400 (-36mLAT) 160 (-54mLAT)

6.2.4 Winterton Shoal Formation– CPT parameters

Stratum		Corrected cone resistance, q_t	Soil Behaviour Type Index,I_c	Normalised Cone Resistance, Q_{tn}
		MPa	-	-
Winterton Shoal Formation				
Silty Sand	LB	12	2.8 (Zone 4)	22 (-47mLAT) 17 (-56mLAT)
	LM	15	2.6 (Zone 5)	31 (-47mLAT) 25 (-56mLAT)
	UM	23	2.2 (Zone 5)	55 (-47mLAT) 43 (-56mLAT)
	UB	30 (-47mLAT) 28 (-56mLAT)	2.0 (Zone 6)	80 (-47mLAT) 60 (-56mLAT)
Clay	LB/LM	4 (-47mLAT to -54mLAT) 12 (-56mLAT)	3.4 (Zone 3)	5 (-47mLAT) 4 (-47mLAT) 14 (-56mLAT)
	UB/UM	10 (-47mLAT) 15 (-56mLAT)	2.6 (Zone 4)	27 (-47mLAT) 36 (-56mLAT)

6.3 Summary of Geotechnical Characteristic Parameters

High strength and stiffness may be more onerous for certain design situations and therefore Upper and Lower values of geotechnical parameters are developed in this report. In accordance with Eurocode 7, Lower and Upper Bound (LB / UB) profiles are developed which relate to local limit states occurring over a small zone only, and Lower and Upper estimates of the mean (LM / UM) are developed which give and inferior or superior estimate of the mean properties of the ground.

6.3.1 Made Ground – coarse soils

Stratum		**Level**	**Unit weight**	**Poisson Ratio**	**Relative Density**	**Friction angle**			**Cohesion**	**Small Strain Shear Modulus**	**Young's Modulus**	**E.P. Ceoff.**	**Permeability**
			γ	v	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	**kN/m³**	**-**	**%**	**°**	**°**	**°**	**kPa**	**MPa**	**MPa**	**-**	**m/s**
Made Ground – coarse soils													
Sand	LB	+4 -9	17.5	0.20	50	28	2	30	0	10 90	4 40	0.53	1E-5
	LM	+4 -9	18.5	0.20	65	29	4	33	0	12 105	5 45	0.52	1E-4
	UM	+4 -9	20.0	0.20	85	33	7	40	25	15 140	7 65	0.67	3E-4
	UB	+4 -9	22.0	0.20	95	34	9	42	50	20 155	10 70	0.65	1E-3
Silty Sand	LB	+4 -2.9 -3.1 -9	17.0 17.0 18.0 18.0	0.25	25 25 45 45	28	2	30	0	6 45 45 90	3 21 21 40	0.53	1E-6
	LM	+4 -2.9 -3.1 -9	17.5 18.0	0.25	30 30 50 50	29	2	31	0	6 50 50 90	3 25 25 45	0.52	1E-5
	UM	+4 -2.9 -3.1	18.5 18.5 20.0	0.25	45 45 60	33	4	37	25	7 60 60	4 30 30	0.67	1E-4

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Relative Density	Friction angle			Cohesion	Small Strain Shear Modulus	Young's Modulus	E.P. Ceoff.	Permeability
			γ	v	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	kN/m^3	-	%	°	°	°	kPa	MPa	MPa	-	m/s
Made Ground – coarse soils													
		-9	20.0		60					100	50		
	UB	+4	19.0	0.25	60	34	7	41	60	13	6	0.65	3E-3
		-2.9	19.0		60					65	30		
		-3.1	22.0		75					65	30		
		-9	22.0		75					100	50		

6.3.2 Made Ground – fine soils

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Plasticity Index	Friction angle		Cohesion	Undrained Shear Strength	Young's Modulus	E.P. Ceoff.	Permeability
			γ	ν	PI	ϕ_c	ϕ_p	c'	S_u	E_u	K_0	k
		mLAT	kN/m^3	-	%	°	°	kPa	kPa	MPa	-	m/s
Made Ground – fine soils												
Clay	LB	+4 -3	16.0	0.35	100	17	17	0	10 15	2 3	0.71	1E-10
	LM	+4 0 -3	17.0	0.35	80	18	19	0	12 15 35	2 3 7	0.67	1E-9
	UM	+4 0 -3	18.0	0.35	50	21	23	5	65 65 95	13 13 20	0.82	1E-8
	UB	+4 0 -3	19.0 .	0.35	30	26	32	15	100 130 130	20 25 25	0.71	1E-7

6.3.3 Naaldwijk Formation – coarse soils

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Relative Density	Friction angle			Cohesion	Small Strain Shear Modulus	Young's Modulus	E.P. Coeff.	Permeability
			γ	ν	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	kN/m³	-	%	°	°	°	kPa	MPa	MPa	-	m/s
Naaldwijk Formation – coarse soils													
Sand	LB	-4 -22	18.0	0.20	45	28	2	30	0	75 125	30 45	0.53	3E-6
	LM	-4 -16 -22	19.0	0.20	55	29	3	32	0	75 120 145	30 45 55	0.52	1E-5
	UM	-4 -16 -18 -22	20.0 20.0 21.0 21.0	0.20	65	33	5	38	30	95 135 155 175	40 50 60 70	0.67	1E-4
	UB	-4 -15.9 -16.1 -22	21.0 21.0 22.0 22.0	0.20	85	34	8	42	55	110 145 190 210	45 55 70 90	0.65	3E-4
Silty Sand (shark fin)	LB	-4 -22	17.0	0.25	15	28	0	28	0	50 85	18 30	0.53	1E-6
	LM	-4 -22	17.5	0.25	25	29	1	30	0	55 100	20 35	0.52	1E-5
	UM	-4 -22	18.5	0.25	45	33	3	36	80	75 120	30 45	0.67	3E-5
	UB	-4 -22	20.0	0.25	55	34	5	39	150	80 140	30 50	0.65	1E-4

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Relative Density	Friction angle			Cohesion	Small Strain Shear Modulus	Young's Modulus	E.P. Coeff.	Permeability
			γ	ν	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	kN/m^3	-	%	°	°	°	kPa	MPa	MPa	-	m/s
Naaldwijk Formation – coarse soils													
Silty Sand (offshore)	LB	-15 -20 -30	17.0	0.25	15	28	0	28	0	6 35 35	2 14 14	0.53	1E-6
	LM	-15 -20 -30	17.5	0.25	20	29	0	29	0	9 40 40	3 15 15	0.52	1E-5
	UM	-15 -20 -30	19.0	0.25	25	33	1	34	15	11 45 45	4 17 17	0.67	1E-4
	UB	-15 -20 -30	20.5	0.25	50	34	4	38	50	12 55 55	5 20 20	0.65	3E-4

6.3.4 Naaldwijk Formation – fine and peat soils

Stratum		**Level**	**Unit weight**	**Poisson Ratio**	**Plasticity Index**	**Friction angle**		**Cohesion**	**Undrained Shear Strength**	**Young's Modulus**	**E.P. Ceoff.**	**Permeability**
			γ	**ν**	**PI**	**Critical, ϕ_c**	**Peak, ϕ_p**	**c'**	**S_u**	**E_u**	**K_0**	**k**
		mLAT	**kN/m³**	**-**	**%**	**°**	**°**	**kPa**	**kPa**	**MPa**	**-**	**m/s**
Naaldwijk Formation – fine soils												
Clay	LB	-4 -22	16.0	0.35	100	17	17	0	0.22x σ'_v	0.044x σ'_v	0.71	1E-10
	LM	-4 -22	17.0	0.35	80	18	19	0	25 110	5 22	0.67	1E-9
	UM	-4 -22	18.0	0.35	50	21	23	5	80 200	16 40	0.82	1E-8
	UB	-4 -22	19.0 .	0.35	30	26	32	15	170 320	35 65	0.71	1E-7
Peat	LB	-22 -26	15.0	0.45	N/A	15	15	0	20	5	0.8	1E-10 to 1E-5
		(Assume absent for UM/UB)										

6.3.5 Kreftenheye Formation – coarse soils

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Relative Density	Friction angle			Cohesion	Small Strain Shear Modulus	Young's Modulus	E.P. Coeff	Permeability
			γ	ν	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	kN/m³	-	%	°	°	°	kPa	MPa	MPa	-	m/s
Kreftenheye Formation – coarse soils													
Sand	LB	-21 -40 -54	19.0	0.20	50	28	3	31	0	130 180 190	45 70 75	0.53	3E-5
	LM	-21 -40 -54	19.5	0.20	60	29	4	33	0	145 200 220	55 80 85	0.52	1E-4
	UM	-21 -34 -54	21.0	0.20	75	33	6	39	100	195 250 290	75 95 110	0.67	3E-4
	UB	-21 -34 -54	22.0	0.20	95	34	9	43	200	225 270 310	85 100 120	0.65	1E-3
Silty Sand	LB	-21 -36 -54	17.0	0.25	15	28	0	28	0	85 135 190	30 50 70	0.53	1E-8
	LM	-21 -34 -36 -54	18.0	0.25	30	29	1	30	0	105 150 195 205	40 60 75 80	0.52	3E-6
	UM	-21 -30 -36 -54	19.0	0.25	45	33	4	37	100	130 170 240 250	50 65 90 95	0.67	1E-4

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Relative Density	Friction angle			Cohesion	Small Strain Shear Modulus	Young's Modulus	E.P. Coeff	Permeability
			γ	ν	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	kN/m^3	-	%	°	°	°	kPa	MPa	MPa	-	m/s
Kreftenheye Formation – coarse soils													
	UB	-21 -36 -54	20.5	0.25	50	34	7	41	200	150 280 260	55 110 100	0.65	3E-4

6.3.6 Winterton Shoal Formation – coarse soils

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Relative Density	Friction angle			Cohesion	Small Strain Shear Modulus	Young's Modulus	E.P. Coeff	Permeability
			γ	v	Dr	Critical, ϕ_c	Dilatant, ϕ_d	Peak, ϕ_p	c'	G_0	E'	K_0	k
		mLAT	kN/m^3	-	%	°	°	°	kPa	MPa	MPa	-	m/s
Winterton Shoal Formation – coarse soils													
Silty Sand	LB	-47 -52	17.0	0.25	10	28	0	28	0	155 165	55 60	0.73	3E-9
	LM	-47 -52	18.0	0.25	20	29	2	31	30	165 175	60 65	0.72	1E-6
	UM	-47 -52	19.0	0.25	35	33	4	37	150	205 220	75 85	0.97	1E-5
	UB	-47 -52	20.0	0.25	50	34	6	40	200	225 230	85 90	0.95	1E-4

6.3.7 Winterton Shoal Formation – fine soils

Stratum		Level	Unit weight	Poisson Ratio	Plasticity Index	Friction angle		Cohesion	Undrained Shear Strength	Young's Modulus	E.P. Ceoff.	Permeability
			γ	ν	PI	Critical, ϕ_c	Peak, ϕ_p	c'	S_u	E_u	K_0	kv
		mLAT	kN/m^3	-	%	°	°	kPa	kPa	MPa	-	m/s
Winterton Shoal Formation – fine soils												
Clay	LB	-47 -56	16.0	0.35	45	22	24	0	120 290	70 175	0.81	1E-10
	UB	-47 -56	19.0 .	0.35	25	25	31	15	350 350	210 210	1.04	1E-7

6.4 Soil profiles

Stratigraphic variations are discussed in this section; designs may need to assess sensitivity to elevation and thickness of sub-units, particularly clay sub-units, and consider whether upper or lower bounds are more critical for design of different elements. In the tables below, silty sand and clay sub-units which are found to vary in elevation and which may need to be subject to sensitivity analysis are *italicised*.

6.4.1 Shaft site

A stratigraphic model has been developed based on borehole ATL2 and CPTs ATL1 to ATL1D, with site-wide boreholes used to define the Winterton Shoal Formation (as relatively few locations penetrate this to significant depth):

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Made Ground (sand)	Predominantly sandy, with intermittent silty sand strata.	+4 to -2	6
Made Ground (silty sand inclusion)	*Silty sand stratum / pocket. Depth may vary by up to 2m*	*-2 to -4*	*2*
Made Ground (sand)	Predominantly sandy, with intermittent silty sand strata.	-4 to -6	2
Naaldwijk Formation (sand)	Predominantly sand, with intermittent silty sand and clay strata.	-6 to -19	2
Naaldwijk Formation (clay inclusion)	*Organic and silty/sandy clay stratum / pocket. Depth may vary by up to 2m.*	*-9 to -11,*	*2,*
Naaldwijk Formation (silty sand)	Predominantly silty sand.	-11 to -13	2
Naaldwijk Formation (clay inclusion)	Organic and silty/sandy clay stratum / pocket. Depth may vary by up to 2m.	-13 to -15	2
Naaldwijk Formation (sand)	Predominantly sand, with intermittent silty sand and clay strata	-15 to -19	*4*

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Naaldwijk Formation (basal clay)	Organic clay and silty / sandy clay	-19 to -20.5	1.5
Peat (Naaldwijk / Nieuwkoop)	Soft peat (base of Naaldwijk)	-20.5 to -22	1.5
Kreftenheye Formation (sand)	Predominantly sand and gravelly sand, with intermittent silty sand strata.	-22 to -32	10
Kreftenheye Formation (silty sand inclusion)	*Silty sand. Depth may vary by up to 1m.*	*-32 to -35,*	*2,*
Kreftenheye Formation (sand)	Predominantly sand and gravelly sand, with intermittent silty sand strata.	-35 to -37	2
Kreftenheye Formation (silty sand inclusion)	Silty sand. Depth may vary by up to 1m.	-37 to -39	2
Kreftenheye Formation (sand)	Predominantly sand and gravelly sand, with intermittent silty sand strata.	-39 to -41	2
Kreftenheye Formation (silty sand)	Predominantly silty sand.	-41 to -51	10
Winterton Shoal Formation (clay inclusion)	Silty and sandy clay strata. Depth may vary by up to 2m.	-51 to -53	2
Winterton Shoal Formation (silty sand)	Predominantly silty sand, with possible clay inclusions.	<-53 to -59	6
Winterton Shoal Formation (clay inclusion)	*Silty and sandy clay strata. Depth may vary by up to 2m*	*-* *-59 to -63* *-*	*4*

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Winterton Shoal Formation (silty sand)	Predominantly silty sand, with possible clay inclusions.	-63 to -80	17
Winterton Shoal Formation (clay inclusion)	Silty and sandy clay strata. Depth may vary by up to 4m.	-80 to -84	4

6.4.2 Sea defence site

A stratigraphic model has been developed based on borehole ATL3, ATL3A, ATL6 and CPTs ATL4, ATL4A and ATL5 with site-wide boreholes used to define the Winterton Shoal Formation (as relatively few locations penetrate this to significant depth):

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Made Ground (sand)	Predominantly sandy, with intermittent silty sand and clay strata.	+4 to -6	10
Made Ground (clay inclusion)	*Clay strata / pocket. Depth may vary (range given).*	*2 to -6 (range)*	*2 to 4*
Made Ground (silty sand inclusion)	*Silty sand strata / pocket. Depth may vary (range given).*	*0 to -6 (range)*	*1 to 2*
Naaldwijk Formation (sand)	Predominantly sand, with intermittent silty sand and clay strata.	-6 to -20	14
Naaldwijk Formation (clay inclusion)	*Two silty and sandy clay strata / pockets. Depth may vary (range given).*	*-9 to -12,* *-14 to -17 (ranges)*	*1 to 2,* *1 to 2*
Naaldwijk Formation (silty sand inclusion)	*Silty sand stratum. Depth may vary (range given).*	*-14 to -20*	*2 to 4*
Naaldwijk Formation (basal clay)	Organic clay and silty / sandy clay	-20 to -21.5	1.5
Peat (Naaldwijk)	Soft peat (base of Naaldwijk)	-21.5 to -23	1.5

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Kreftenheye Formation (sand)	Predominantly sand and gravelly sand, with intermittent silty sand strata.	-23 to -40	17
Kreftenheye Formation (silty sand inclusion)	*Two silty sand strata. Depth may vary (range given).*	*-23 to -28,* *-30 to -33 (ranges)*	*2 to 4,* *1 to 2*
Kreftenheye Formation (silty sand)	Predominantly silty sand.	-40 to -51	11
Winterton Shoal Formation (silty sand)	Predominantly silty sand, with possible clay inclusions.	<-51	
Winterton Shoal Formation (clay inclusion)	*Silty and sandy clay strata. Depth may vary (range given).*	*-51 to -55* *-59 to -64,* *-80 to -90 (ranges)*	*1 to 2,* *2 to 4,* *2 to 4*

6.4.3 Offshore (shipping channel)

A stratigraphic model has been developed based on borehole AT1, and AT2 and CPTs AT3a, AT4, AT5, AT6, AT6a, AT6b and AT7 (n.b. all Normand Mermaid CPTs, i.e. digital data not currently available) plus digital data from CPTs AT8 and AT11.

Note variation in the upper surface is possible as a result of localised dredging / excavation (e.g. CPT AT7 has an uncharacteristic depth of silty sand at surface which is very loose and may indicate reworking). The base of the Kreftenheye Formation is also noted to vary significantly, possibly indicating local features formed when strata laid above were eroded, and may be encountered as high as -39.6mLAT.

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Naaldwijk Formation (clay)	Silty clay	-25 to -27	2
Naaldwijk Formation (silty sand, offshore)	Silty sand	-27 to -30	3
Kreftenheye Formation (sand)	Predominantly sand, with localised gravelly and silty inclusions	-30 to -48*	18
Kreftenheye Formation (silty sand inclusion)	*Silty sand stratum. Depth may vary (range given).*	*-30 to -48 (range)*	*2 to 4*
Winterton Shoal Formation (silty sand)	Predominantly silty sand, with possible clay inclusions.	<-48*	
Winterton Shoal Formation (clay inclusion)	*Silty and sandy clay strata. Depth may vary (range given).*	*<-39**	*2 to 4*
* tunnel design should also consider sensitivity to level of Winterton Shoal Formation clays, up to the level observed in borehole AT2 of -39mLAT.			

6.4.4 Reception pit

A stratigraphic model has been developed based on borehole AT8, AT10, and AT12 and CPT AT11. The base of the Kreftenheye Formation is also noted to vary significantly, possibly indicating local features formed when strata laid above were eroded, and may be encountered as high as -39.6mLAT.

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Naaldwijk Formation (silty sand, offshore)	Silty sand	-16 to -21	5
Kreftenheye Formation (sand)	Predominantly sand, with localised gravelly and silty inclusions	-21 to -48*	27
Kreftenheye Formation (silty sand inclusion)	*Silty sand stratum. Depth may vary (range given).*	*-21 to -48 (range)*	*2 to 4*
Winterton Shoal Formation (silty sand)	Predominantly silty sand, with possible clay inclusions.	<-48*	

Stratum	Description	Level mLAT	Thickness m
Winterton Shoal Formation (clay inclusion)	*Silty and sandy clay strata. Depth may vary (range given).*	*<-39**	*2 to 4*
* tunnel design should also consider sensitivity to level of Winterton Shoal Formation clays, up to the level observed in borehole AT2 of -39mLAT.			

6.5 Groundwater levels

Groundwater monitoring reported in the pre-FEED GIR (Mott MacDonald, 2023) indicated a groundwater level of 1.17mLAT to 3.53mLAT between 2011 and 2018. The highest recorded flood level is 4.88mLAT (up to 2010). A 1:10,000 year flood level of 6.13mLAT is predicted (Mott MacDonald, 2023). Typical spring tide sea levels are 2.35mLAT (high tide) to 0.4mLAT (low tide).

No groundwater monitoring is provided in (Fugro, 2022), however several inspection pits noted groundwater encountered at around 1.2 to 1.4m below ground surface.

The following design levels are proposed:

Design situation	Level (mLAT)
Lower Bound	0.4
Lower estimate of mean	1.5
Upper estimate of mean	3.0
Upper Bound	4.0
Extreme flood	6.0

7 RISK REGISTER

Geotechnical risks are scored according to the following risk matrix:

Table 7-1: Geotechnical Risk Matrix

Likelihood		X	Severity		=		Risk		
							Severity		
							L	M	H
Highly Likely	H		No injuries, damage or loss	L	Likelihood	H	M	H	H
Likely	M		Major injury, damage or loss	M		M	L	M	H
Highly unlikely	L		Fatality / fatalities	H		L	L	L	M

Table 7-2 – Geotechnical Risk Register

Hazard	Risk	Risk Score			Proposed Design Mitigation	Residual Risk		
		L	S	R		L	S	R
Ground gas, particularly from organic strata	Asphyxiation of operatives and ignition of flammable gases	M	H	H	Assessment of gas potential, including additional site investigation and monitoring	L	H	M
Ongoing settlement in reclaimed land	Damage and misalignment on connections, seals, shaft walls and tunnel rings leading to water leakage	H	M	H	Design to accommodate ongoing movement, accurate baseline surveys to determine rates of movement.	L	M	L
High groundwater in permeable ground	Water inundation of shaft and tunnel, leading to drowning of operatives	M	H	H	Design to include robust sealing details and checks on soil stability to hydraulic gradients	L	H	M
TenneT buried high voltage cables	Striking cables during tunnelling, leading to electrocution of operatives, damage to tunnel and water inundation	M	H	H	Design to include appropriate clearance. Additional surveys to confirm cable locations and clearance.	L	H	M

Hazard	Risk	Risk Score			Proposed Design Mitigation	Residual Risk		
		L	S	R		L	S	R
Limited geotechnical data in shipping channel	Unforeseen ground conditions which may include sudden changes in permeability, abrasivity. Additional stability measures and maintenance interventions.	M	M	M	Additional site investigation and testing. Access limited within the shipping channel, may be limited to CPTs.	L	M	L
Contaminants in Made Ground	Unforeseen waste / contaminants within Made Ground, presenting risk to health of operatives and additional cost of disposal.	M	M	M	Geoenvironmental assessment, potentially additional investigation, sampling and testing.	L	M	L
Lateral variability of Made Ground	Unforeseen ground conditions which may present obstacles to excavation or apply additional lateral earth pressures on shaft	M	M	M	Conservative FEED design accounting for potential low-strength layers. Additional investigation to understand lateral variability.	L	M	L
Unexploded Ordnance (UXO) offshore, particularly at shark fin site (Made Ground & Naaldwijk) and at reception pit	Accidental detonation of UXOs, injury to or death of operatives	M	H	H	Additional detailed surveys of reception pit area and shaft location	L	H	M
Abrasive sands	Frequent maintenance interventions required, requiring compressed air working due to sandy soils	H	M	H	Additional sampling and testing, potentially considering impact of soil conditioning	M	M	M
Future offshore dredging	Striking of tunnel and associated damage, loss of overburden and floatation	M	M	M	Tunnel alignment to consider likely dredging zone and depths. Design checks on floatation to consider dredge depth	L	M	L
Future piling works	Striking of tunnel and associated damage	M	M	M	Alignment recorded on record drawings, future piling works to avoid tunnel	L	M	L

8 REFERENCES

Google Earth. (2024). *Google Earth*. Retrieved February 15, 2024, from https://earth.google.com/web/

Rotterdam Port Authority. (2015).

Rotterdam Port Authority. (2015, February 2). Dwarfsprofiel A-A, Aanleundijk.

Actueel Hoogtebestand Nederland. (2024). *AHN Viewer*. Retrieved February 15, 2024, from https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/

Bowles, J. (1997). Foundation Analysis and Design. McGraw Hill.

BRE. (2005). *Special Digest 1 Concrete in Aggressive Ground.* BRE Construction Division.

BSI. (2015). *BS 8004:2015 + A1:2020 Code of practice for foundations.* BSI (British Standards Institution) Standards Publication.

Campanella, R., & Robertson, P. (1981). Applied Cone research. *Proceedings Cone Penetration Testing and Experience* (pp. pp. 343-362.). St Louis: ASCE.

CIRIA. (2007). *Assessing risks posed by hazardous ground gasses to buildings (C665).*

CL:AIRE. (2012). *A pragmatic approach to ground gas risk assessment.*

CL:AIRE. (2014). *OIl refineries and bulk storage of crude oil and petroleum products.*

Deltares. (2018). *Assessment of the stability of the Maasvlakte seawall during the construction of conduit pipes for electricity.*

DINOloket. (2024). *DINOloket Substrate Models*. Retrieved February 26, 2024, from https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen/kaart

DINOloket. (2024). *Stratigraphic Nomenclature*. Retrieved February 26, 2024, from https://www.dinoloket.nl/en/stratigraphic-nomenclature/via-diagram/formation-by-age

DINOloket. (2024). *Substrate Models*. Retrieved February 26, 2024, from https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen/kaart

Dutch Ministry of Defence. (2020, June 12). *NLLAT2018*. Retrieved from Ministry of Defence: https://english.defensie.nl/downloads/applications/2020/06/12/nllat2018

Fahey, M., & Carter, J. (1993). A finite element study of the pressuremeter in sand using a nonlinear elastic plastic model. *Canadian Geotechnical Journal, 30(2)*, pp 348-362.

Fugro. (2022). *Nearshore Geophysical Survey Results - Seeker.* Nootdorp.

Fugro. (2023). *NL-ARM-100-ARM1-100013 Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results .* Wallingford.

ISO. (2020). *NEN-EN-ISO 19902:2020 Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures.*

Jamiolkowski, M. L. (2003). Evaluation of relative density and shear strength of sands from CPT and DMT. *Soil behavior and soft ground construction.*, pp. 201-238.

Jamiolkowski, M., Lancellotta, R., Pasqualini, E., Marchetti, S., & Nova, R. (1979). Design Parameters for Soft Clays. *Proceedings of the European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Vol. 5). Br Geotech Soc,* , (pp. pp. 27-57). London.

Kadaster. (2024, February 20). *Topotime travel*. Retrieved from https://www.topotijdreis.nl/

Lunne, T., Powell, J. J., & Robertson, P. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice 1st edition.* Taylor and Francis.

Mayne, P. (2005). Keynote: Integrated ground behavior: in-situ and lab tests. *Deformation Characteristics of Geomaterials, Vol. 2. (Proc. IS)* (pp. pp 155-177). Lyon: Taylor and Francis Group, London.

Mott MacDonald. (2023). *ARAMIS Ground Investigation Report.* Bristol.

Mott MacDonald. (2023). *Aramis Pre-FEED Studies - UXO Review.*

Netherlands, G. o. (2024). *Reporting an archaeological find*. Retrieved February 21, 2024, from https://www.government.nl/topics/cultural-heritage/reporting-an-archaeological-find

Nilsen, B., Dahl, F., Holzhauser, J., & Raleigh, P. (2007). New test methodology for estimating the abrasiveness of soils for TBM tunnelling. *RETC Proceedings*, (pp. pp 104-116).

Port of Rotterdam. (2018, June 15). *Maasvlakte 2: five years of operation*. Retrieved February 15, 2024, from www.portofrotterdam.com: https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/maasvlakte-2-five-years-operation

Rijkswaterstaat. (1997, May 26). Zeewering NW-Hoek Maasvlakte 1.

Rijsdijk. K. F, P. S. (2005). Revised Upper Cenozoic stratigraphy of the Dutch sector of the North Sea Basin: towards an integrated lithostratigraphic seismostratigraphic and allostratigraphic approach. *Netherlands Journal of Geosciences*, 129-146.

Robertson, P., & Wride, C. (1998). Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal, 35*, pp 442-459.

Rotterdam Port Authority. (2022, September 28). Overzicht Maasvlakte Noordwesthoek.

Schnaid, F., Lehane, B., & Fahey, M. (2004). In situ test characterisation of unusual geomaterials. *Proceedings ISC-2 on geotechnical and geophysical site characterization.*

SkyGeo. (2024). *Bodemdalingskaart 2.0*. Retrieved February 15, 2024, from https://bodemdalingskaart.portal.skygeo.com: https://bodemdalingskaart.portal.skygeo.com/portal/bodemdalingskaart/u2/viewers/basic/

Van Oord. (2021, March 3). Hollandse Kust Zuid project, Deep Dig-It buries power cables to 5 metres depth.

APPENDIX A PLANS AND SECTIONS

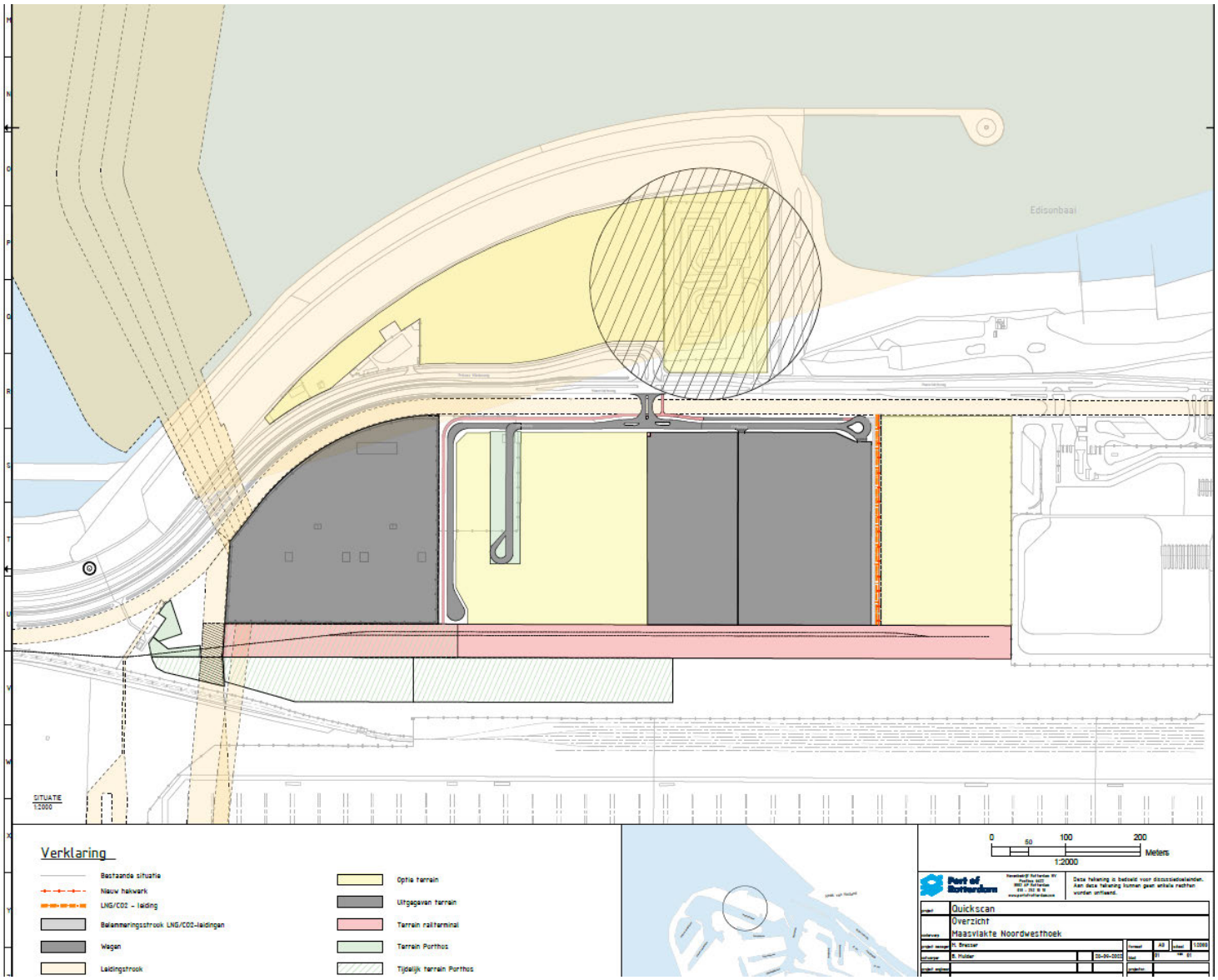


Figure A.1: Maasvlakte Shark Fin Plan (Rotterdam Port Authority, 2022)

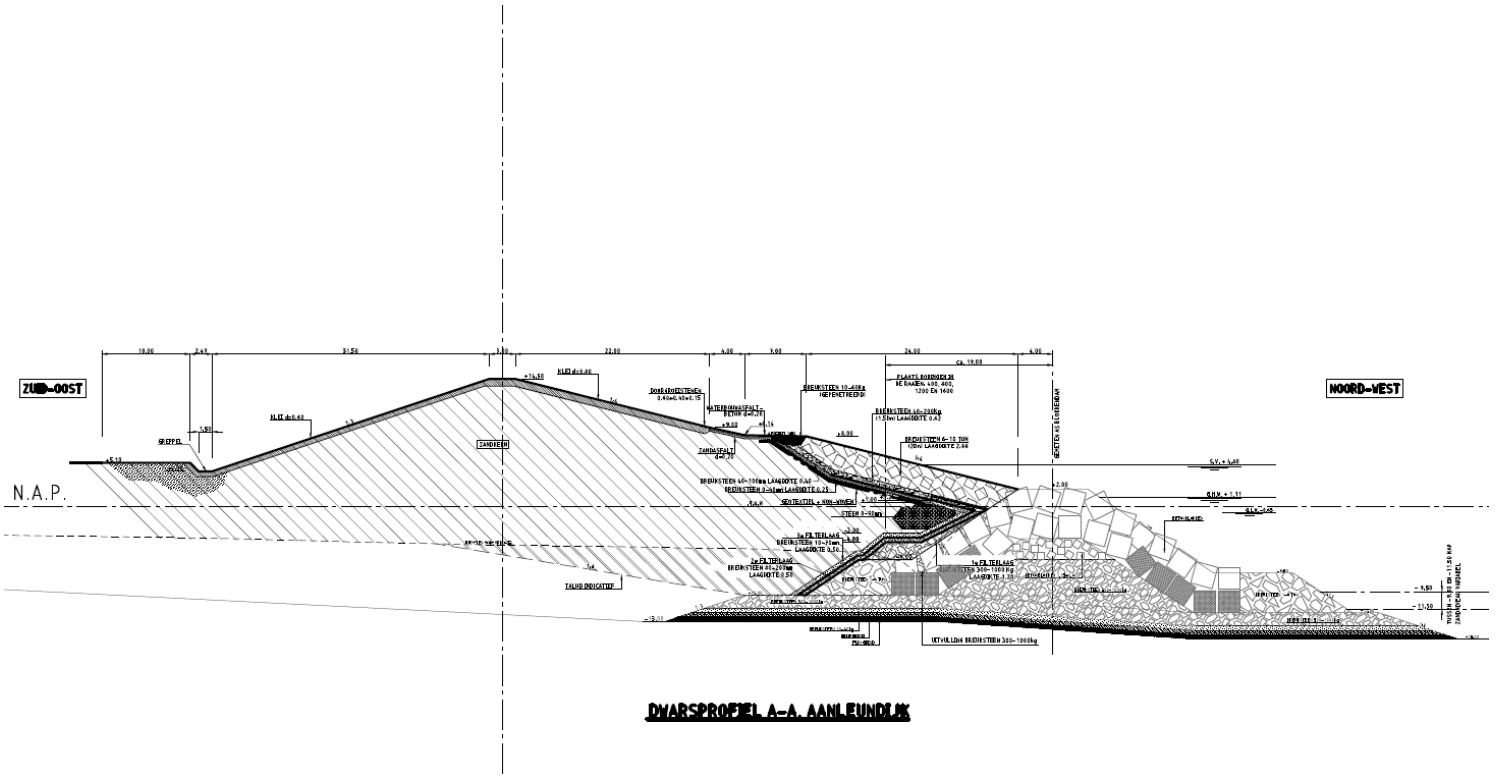


Figure A.2: Maasvlakte Current Sea Defence Cross-Section (Rotterdam Port Authority, 2015)

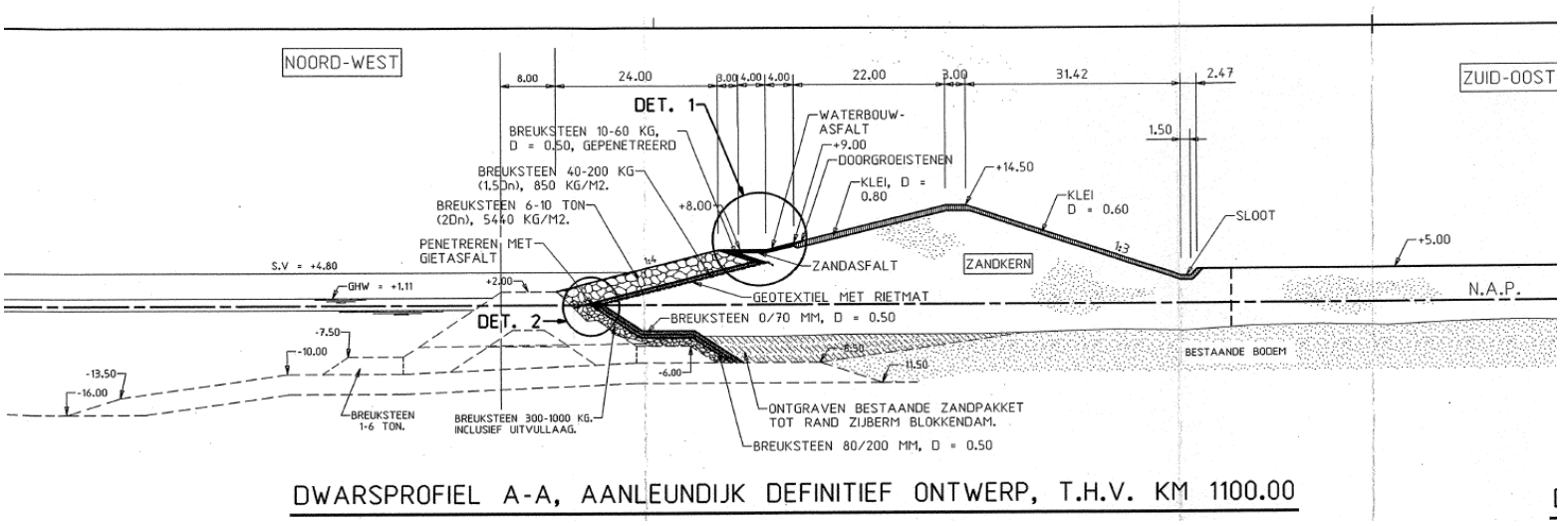


Figure A.3: Maasvlakte Sea Defence Embankment Final Design Drawing Circa 1997 (Rijkswaterstaat, 1997)

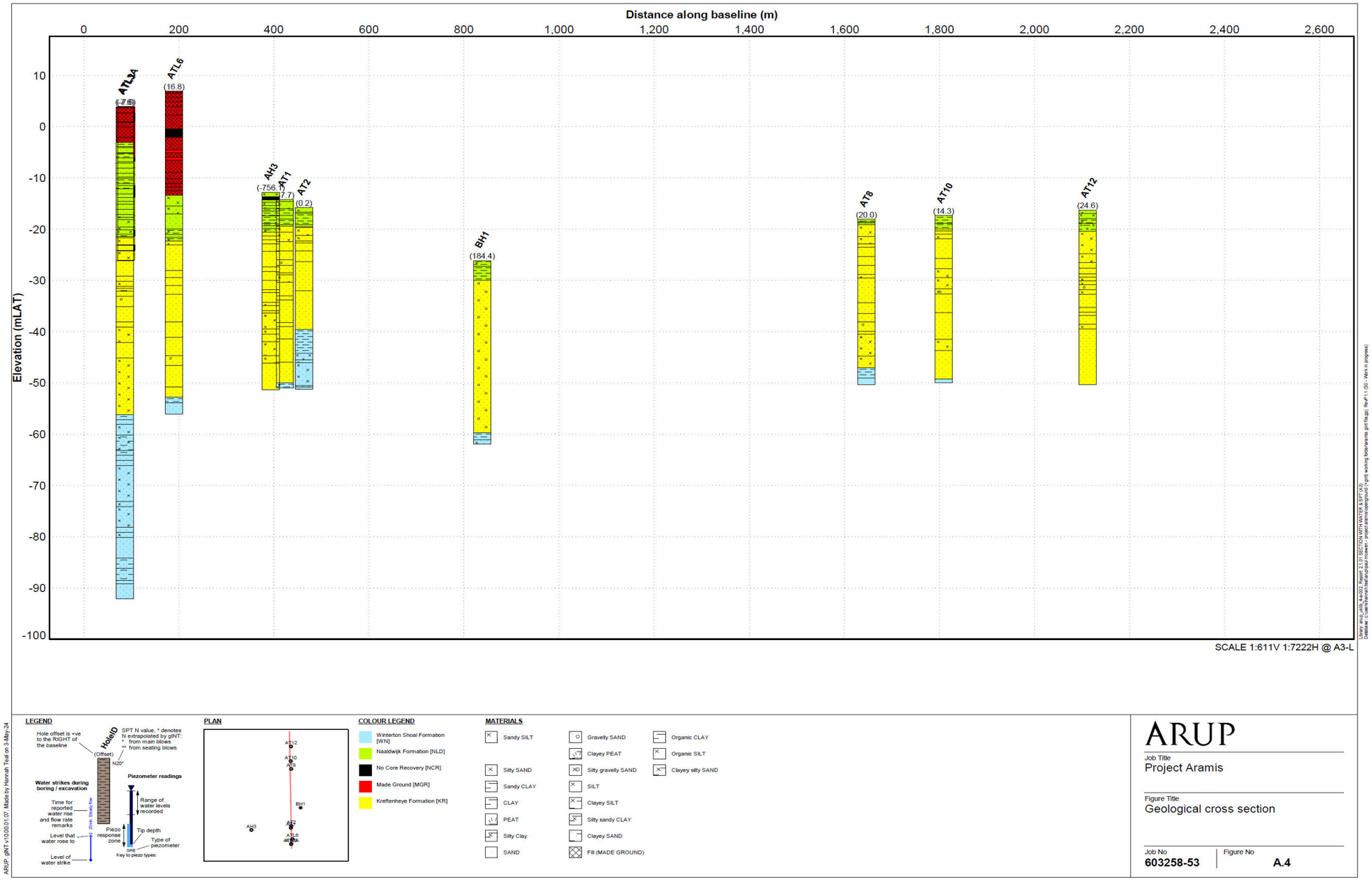


Figure A.4: Geological Long Section - Borehole Only

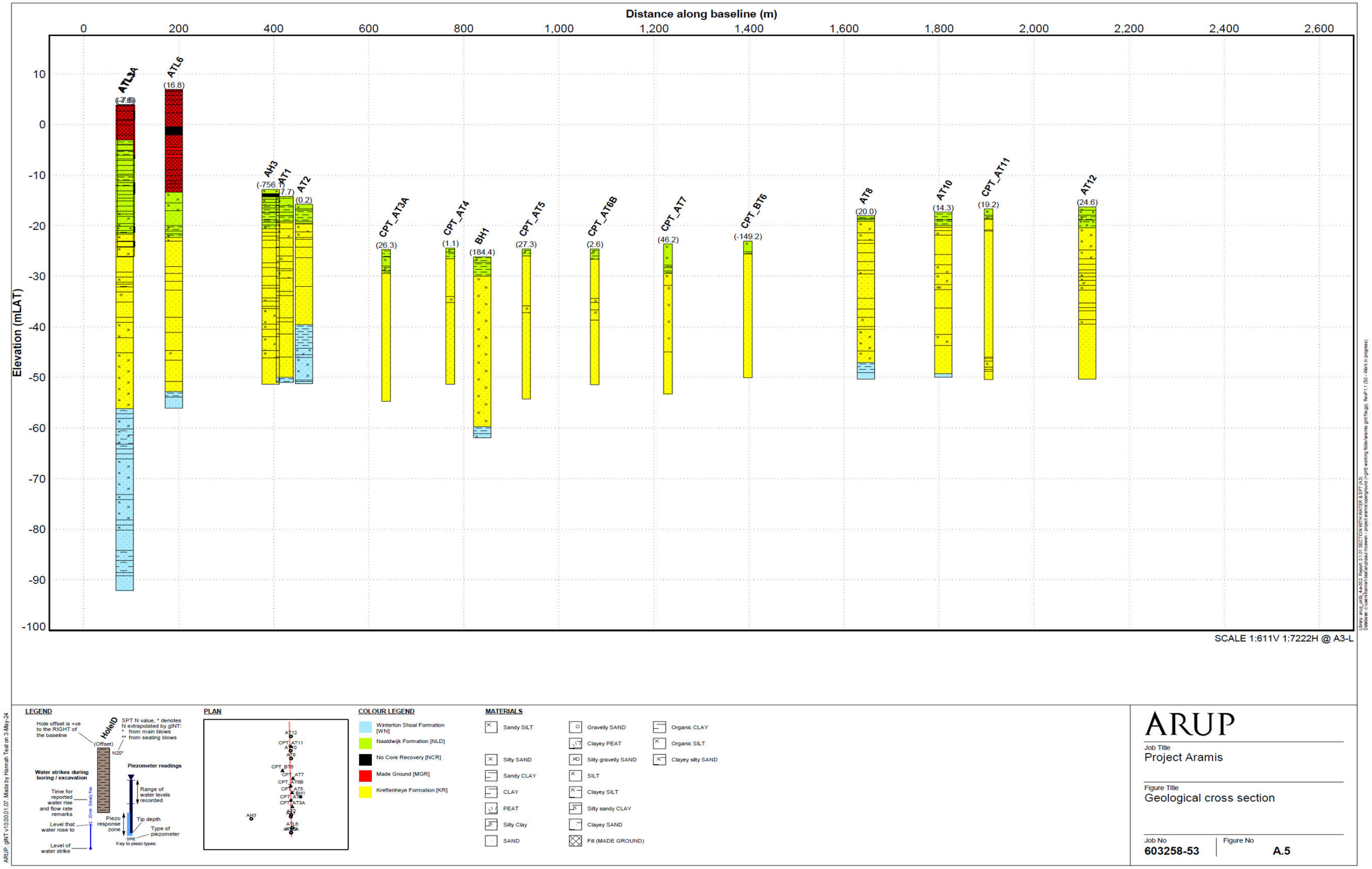


Figure A.5: Geological Long Section - With CPT Interpretation

APPENDIX B FUGRO GROUND INVESTIGATION RESULTS

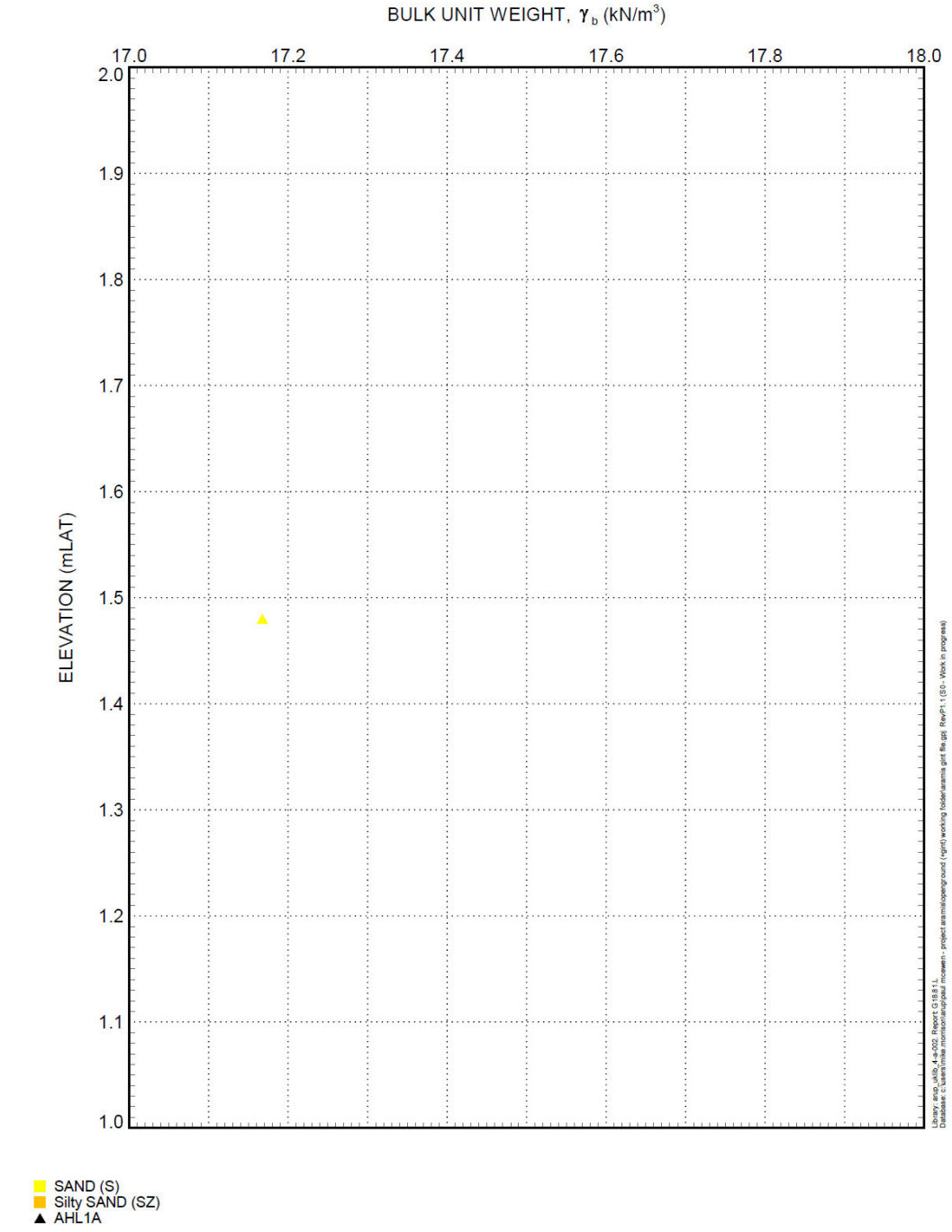


Figure B.1.1 Bulk Unit Weight - Made Ground

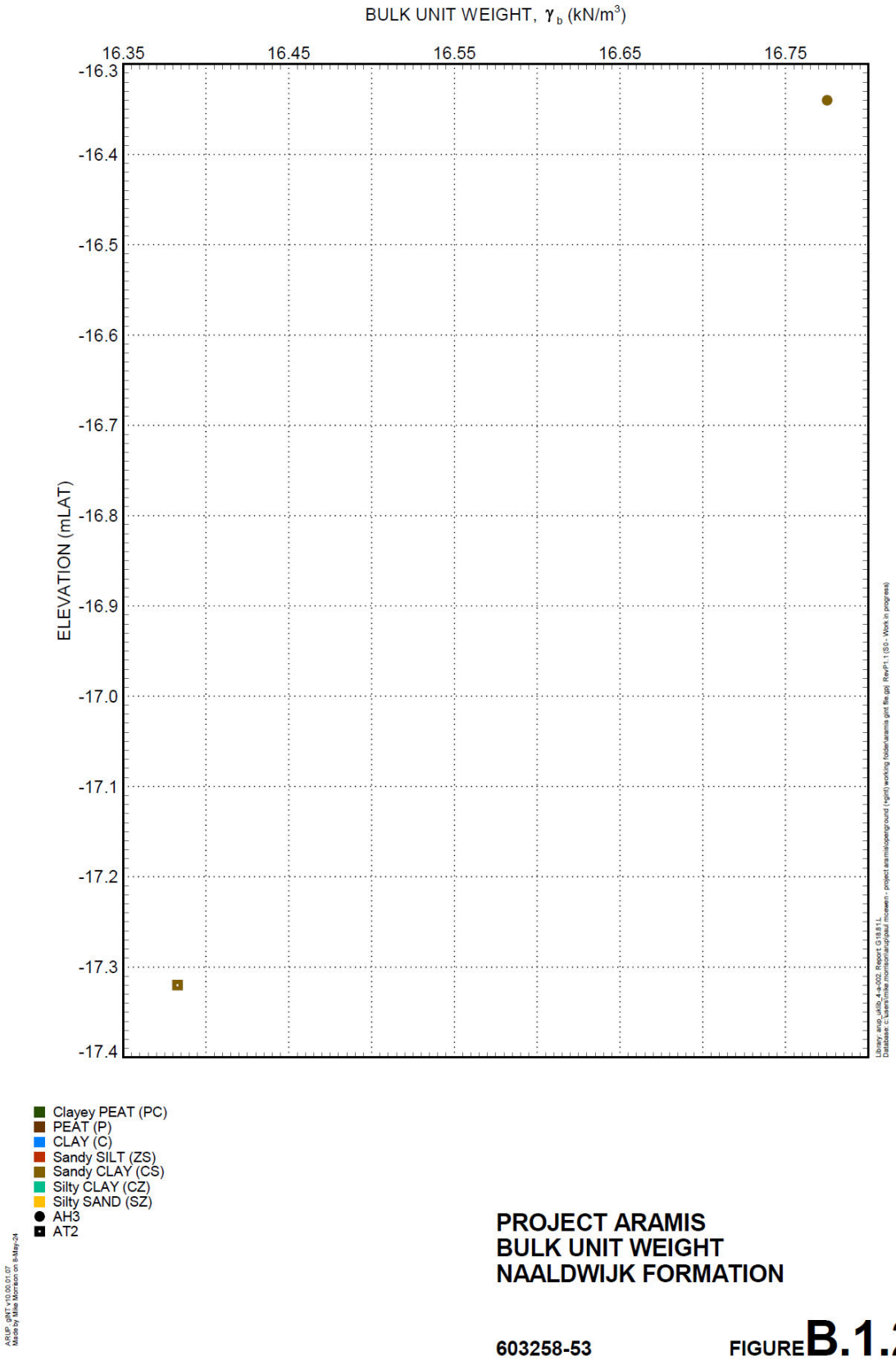


Figure B.1.2: Bulk Unit Weight - Naaldwijk Formation

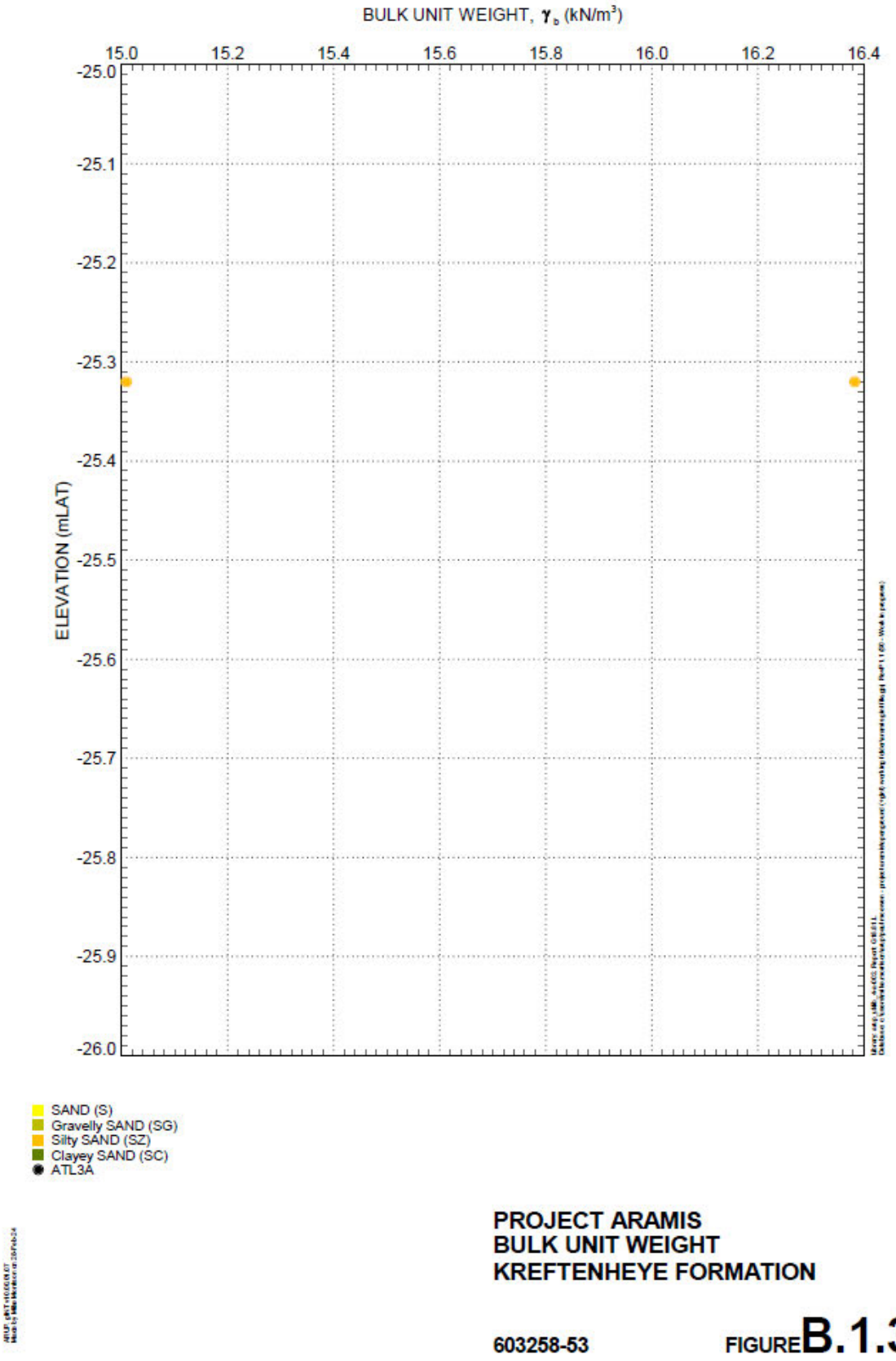


Figure B.1.3: Bulk Unit Weight - Kreftenheye Formation

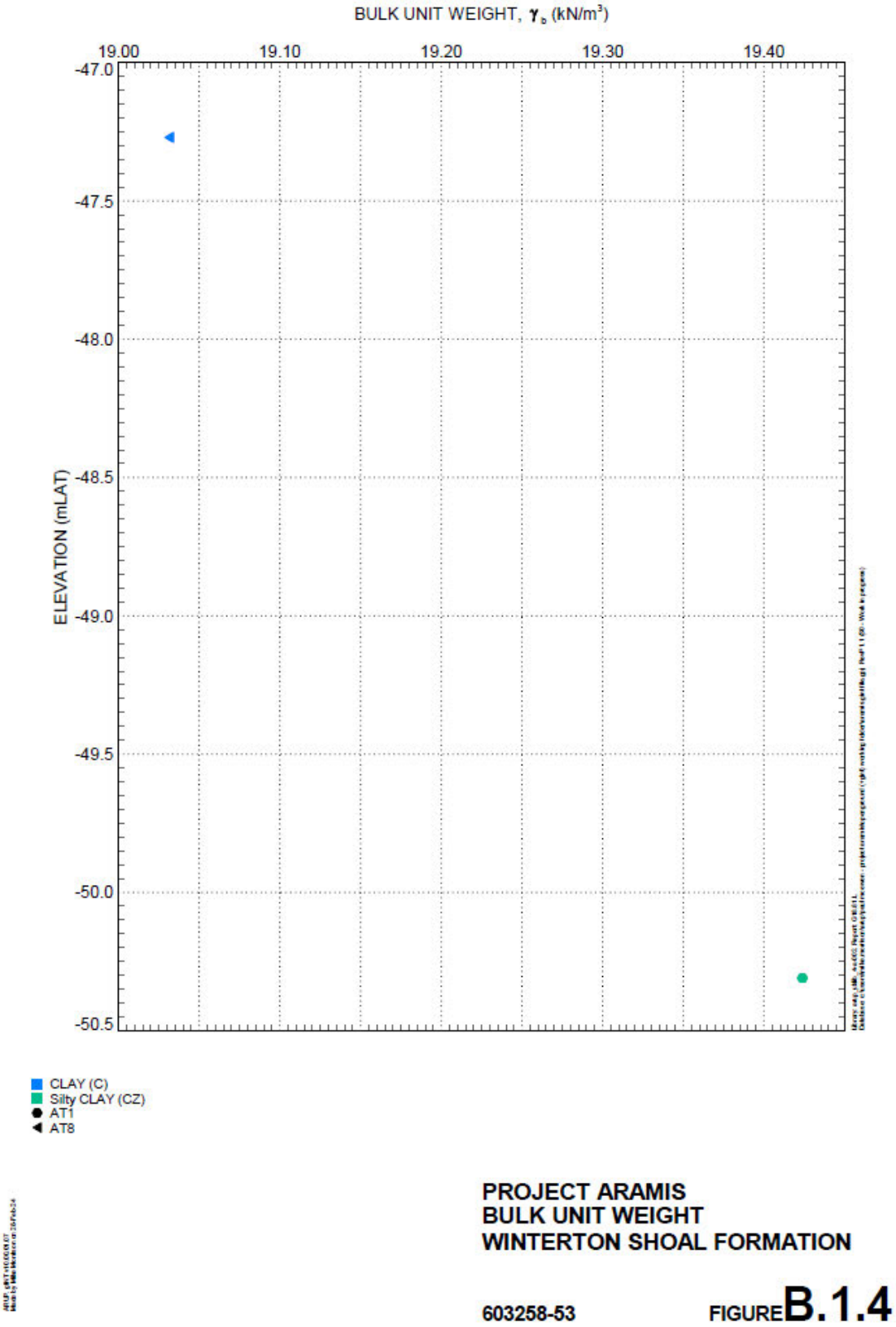


Figure B.1.4: Bulk Unit Weight - Winterton Shoal Formation

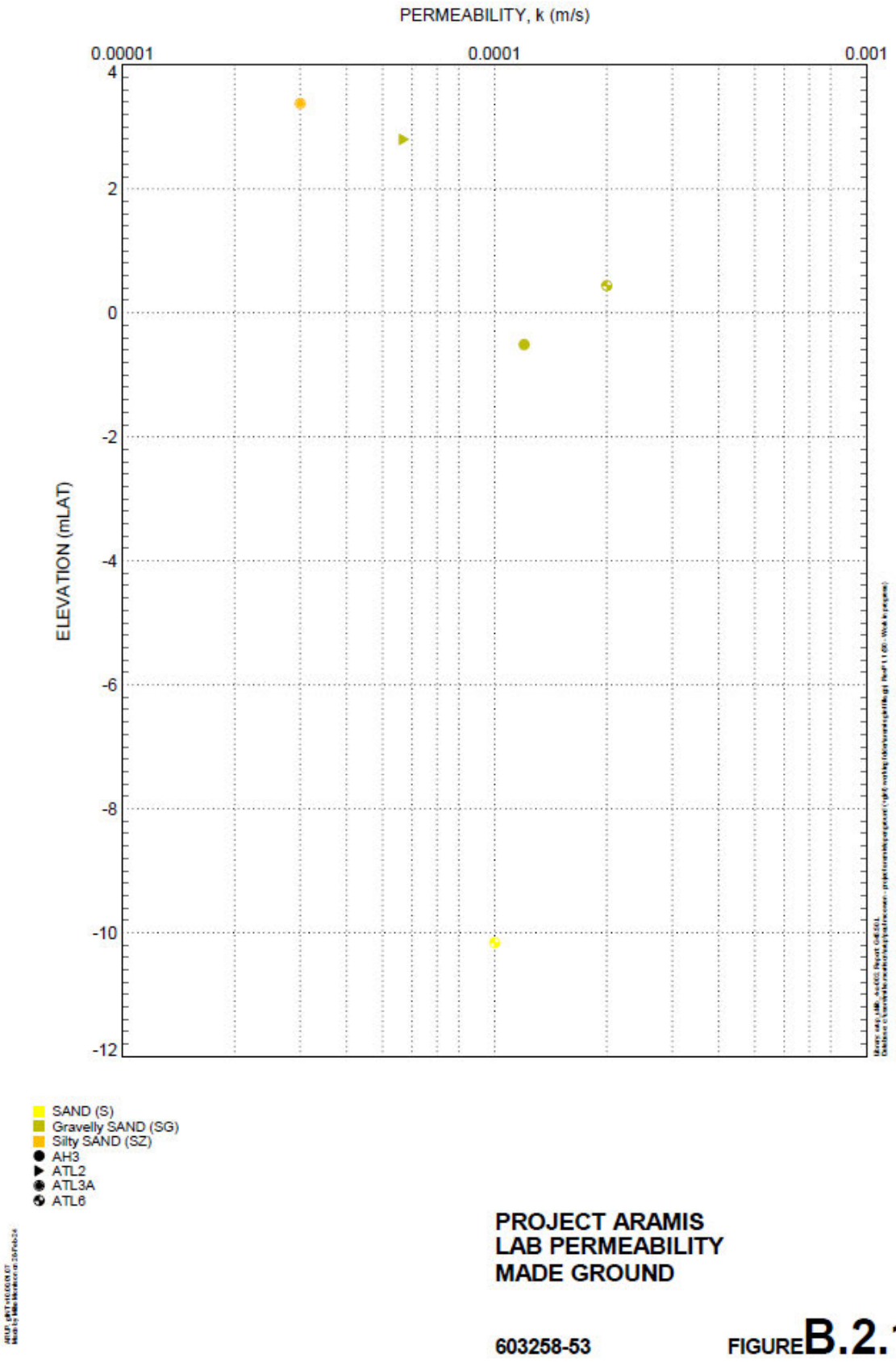


Figure B.2.1: Permeability - Made Ground

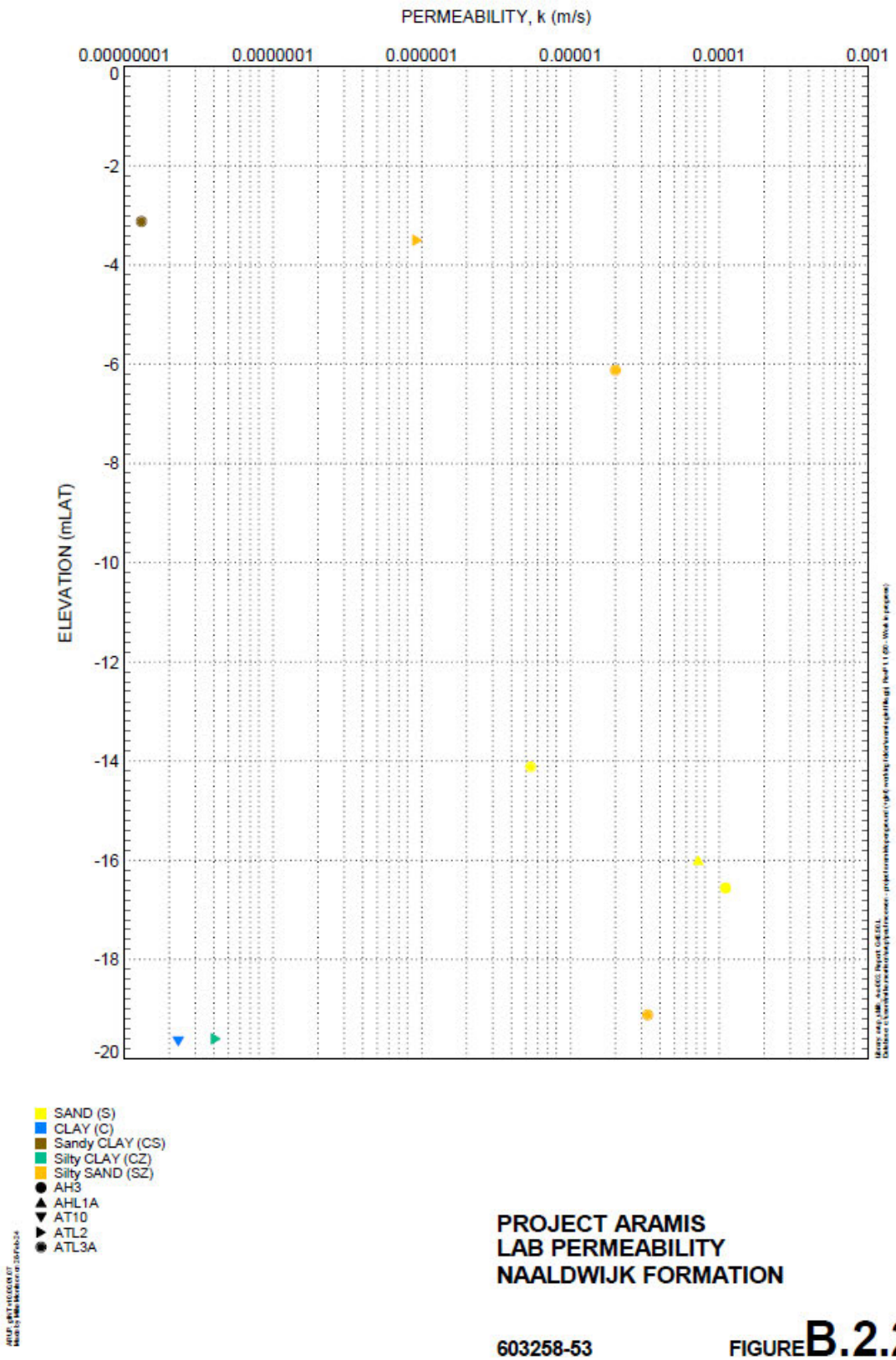


Figure B.2.2: Permeability - Naaldwijk Formation

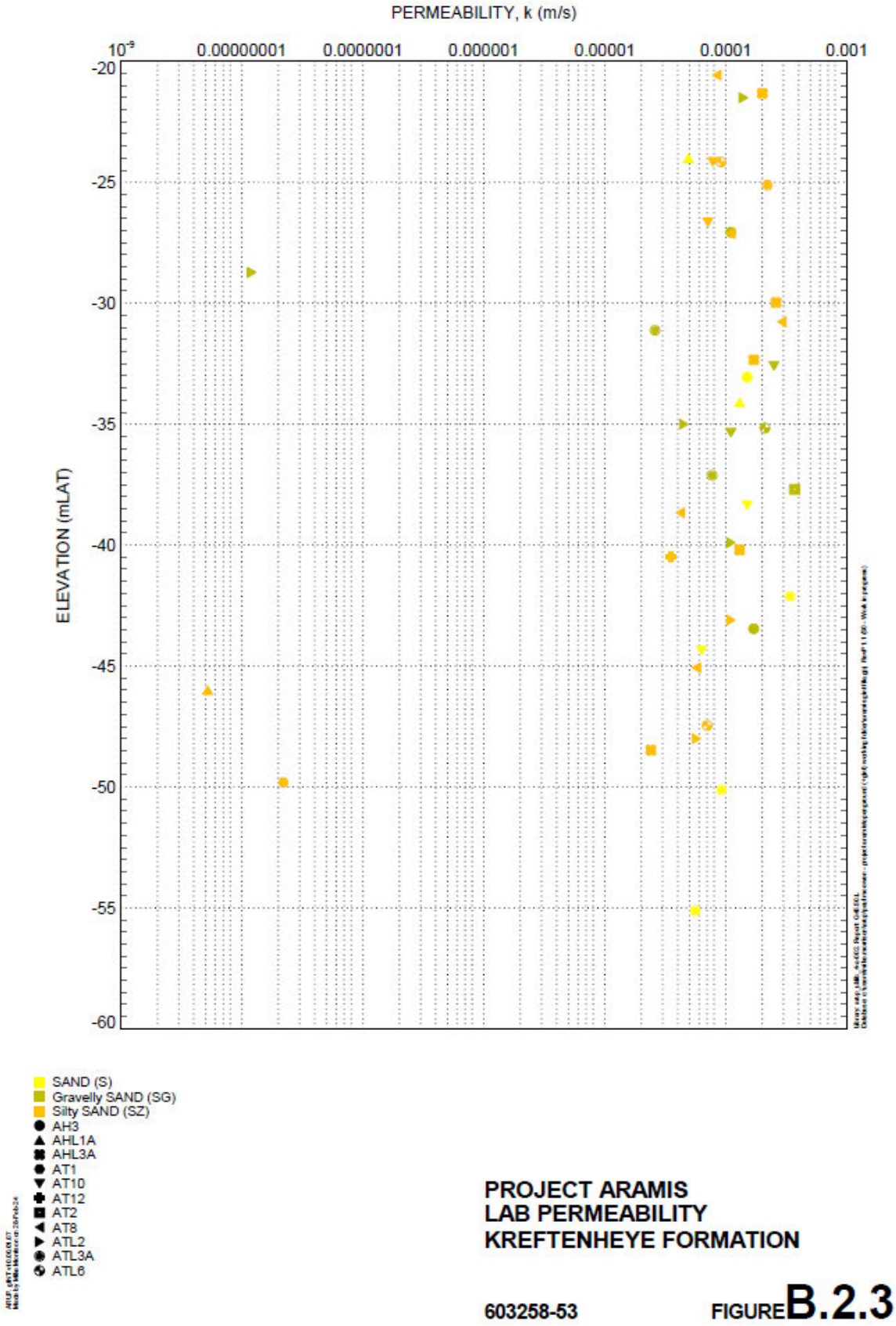


Figure B.2.3: Permeability - Kreftenheye Formation

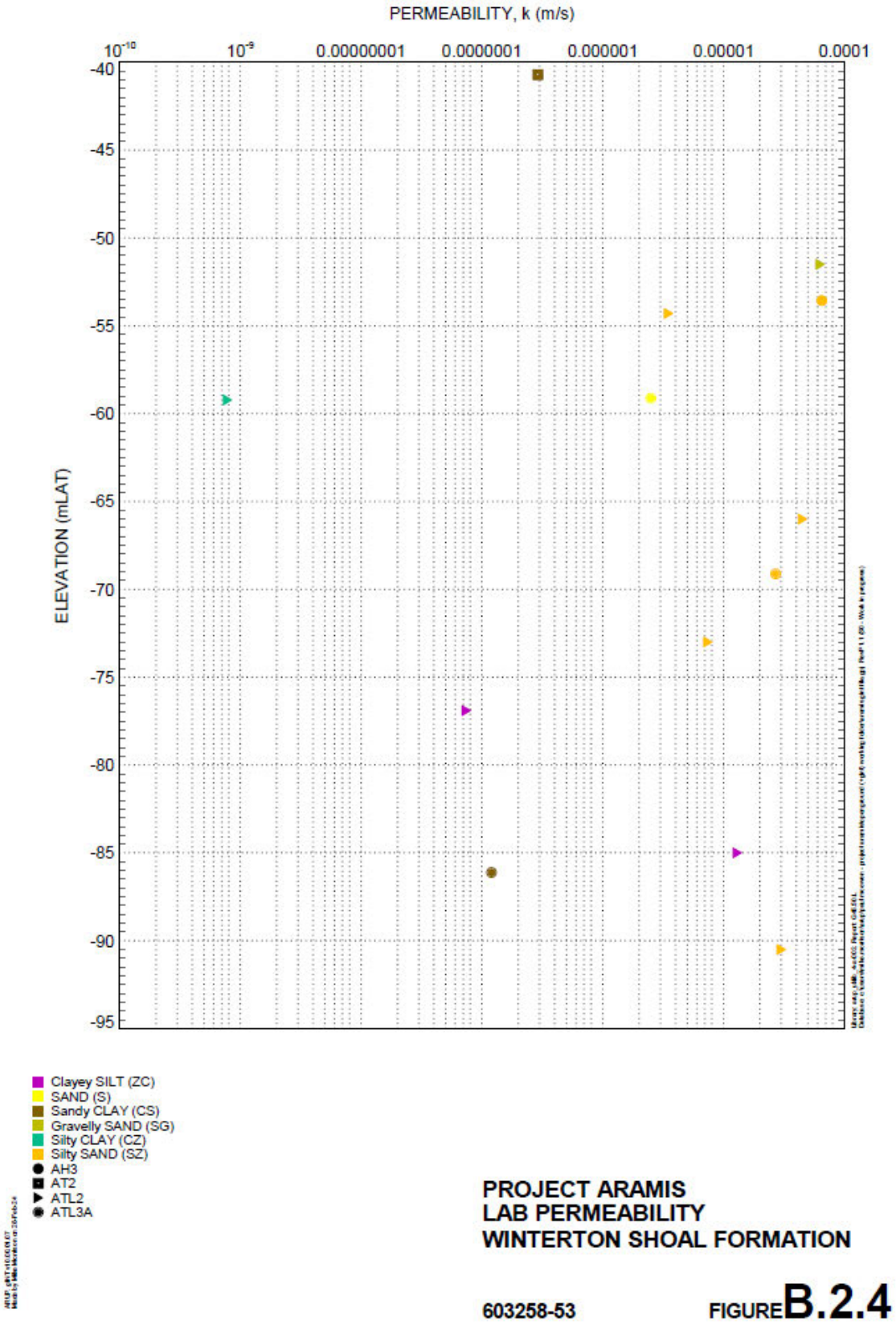


Figure B.2.4: Permeability - Winterton Shoal Formation

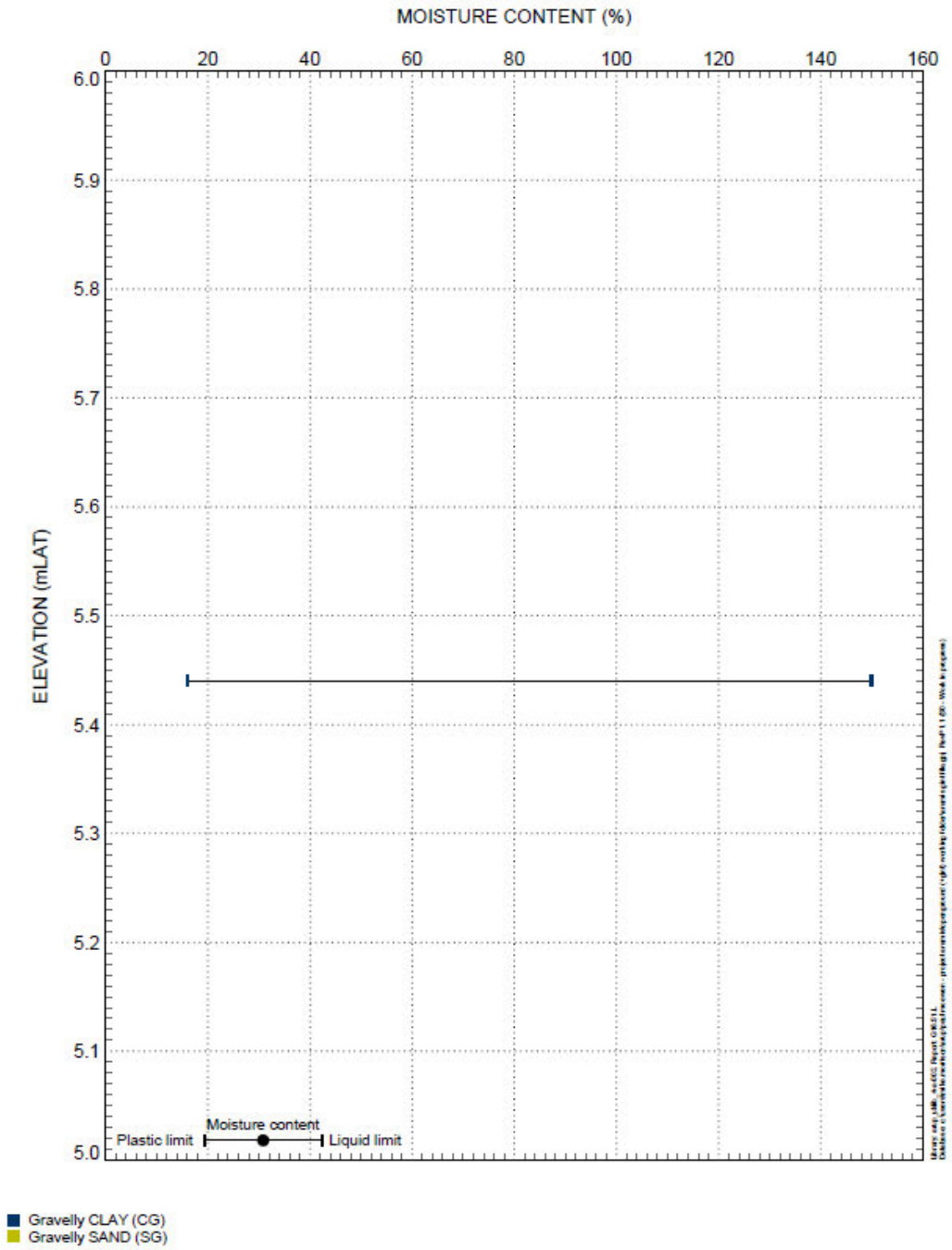


Figure B.3.1: Atterberg Limits - Made Ground

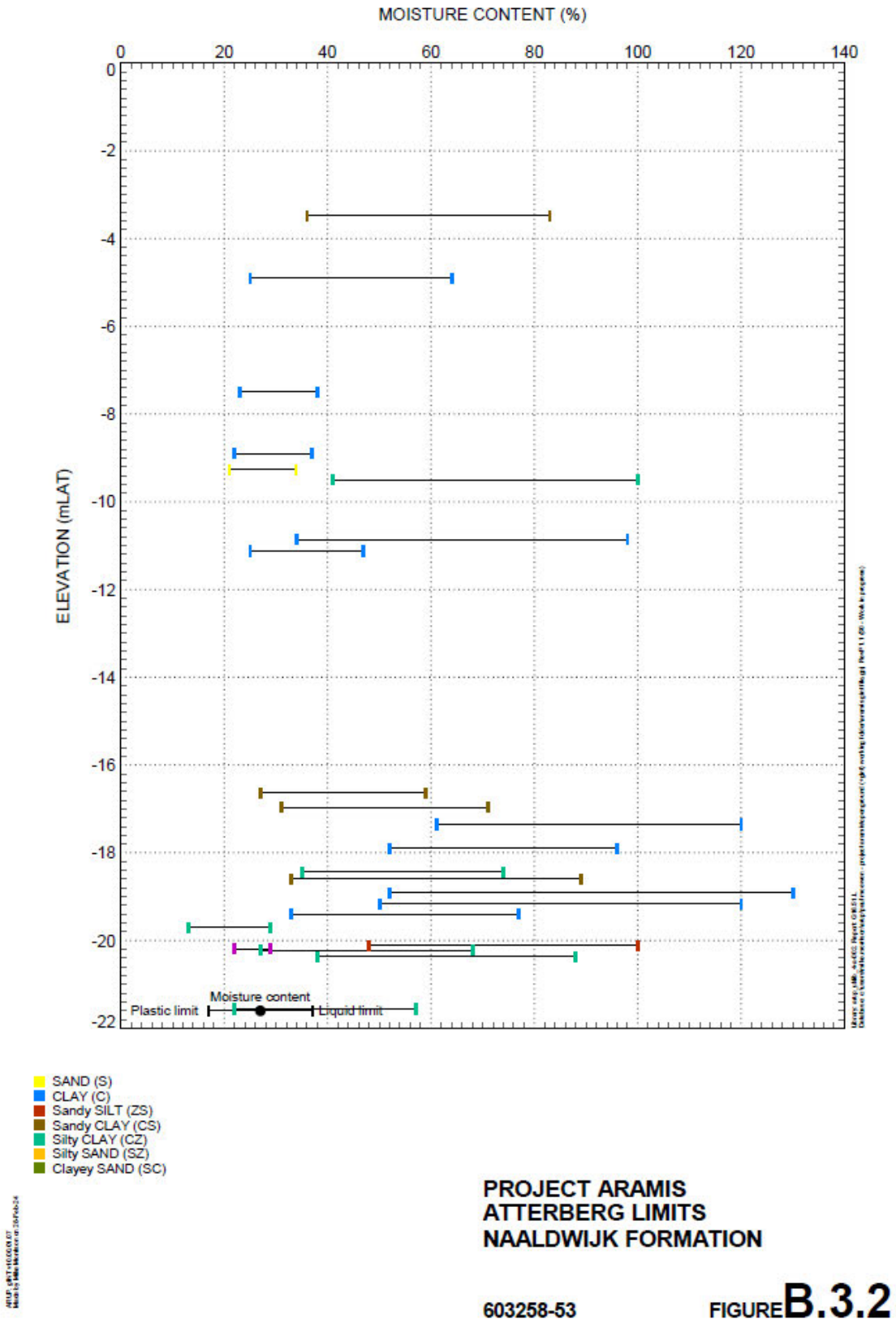


Figure B.3.2: Atterberg Limits -Naaldwijk Formation

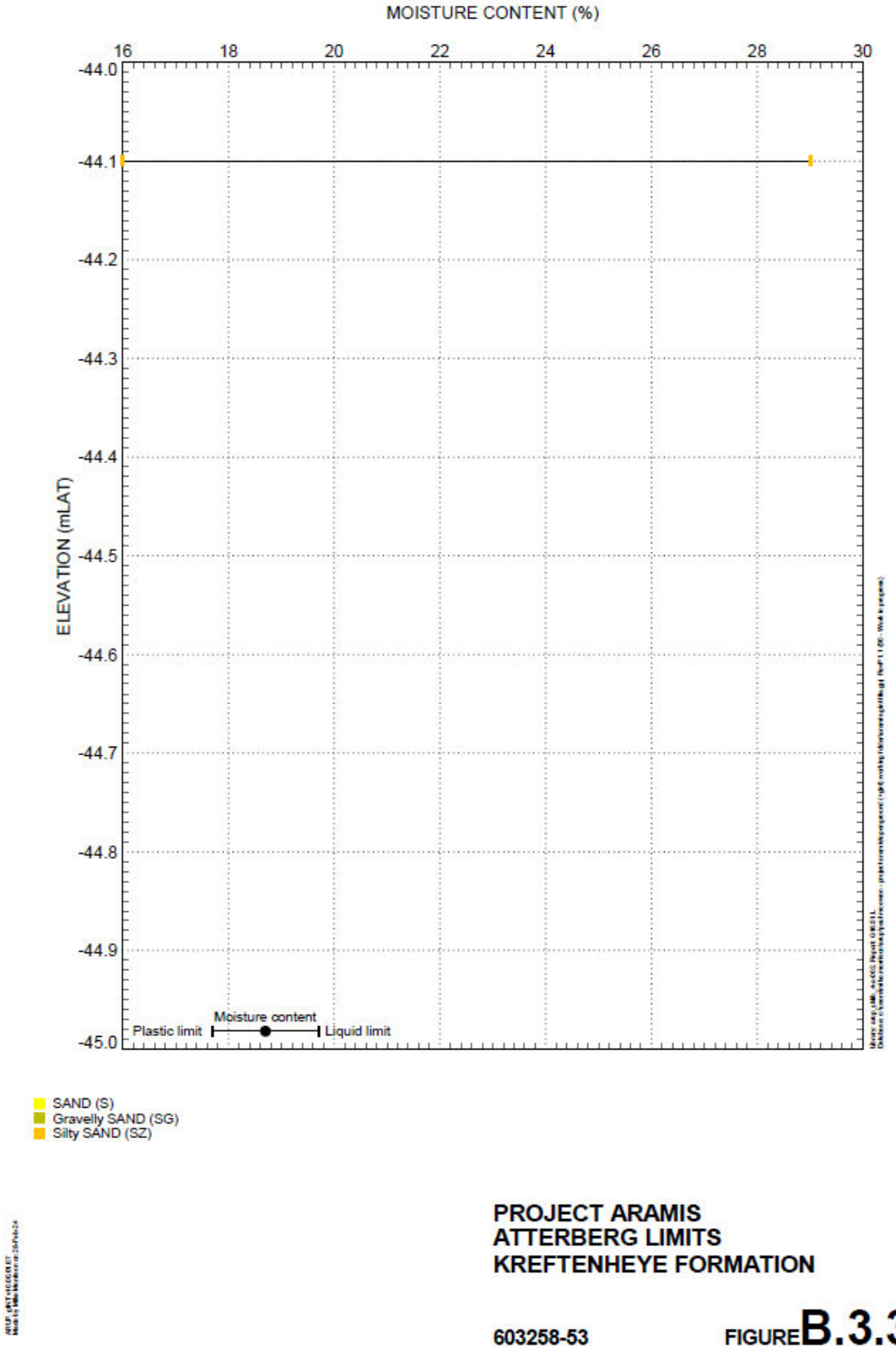


Figure B.3.3: Atterberg Limits - Kreftenheye Formation

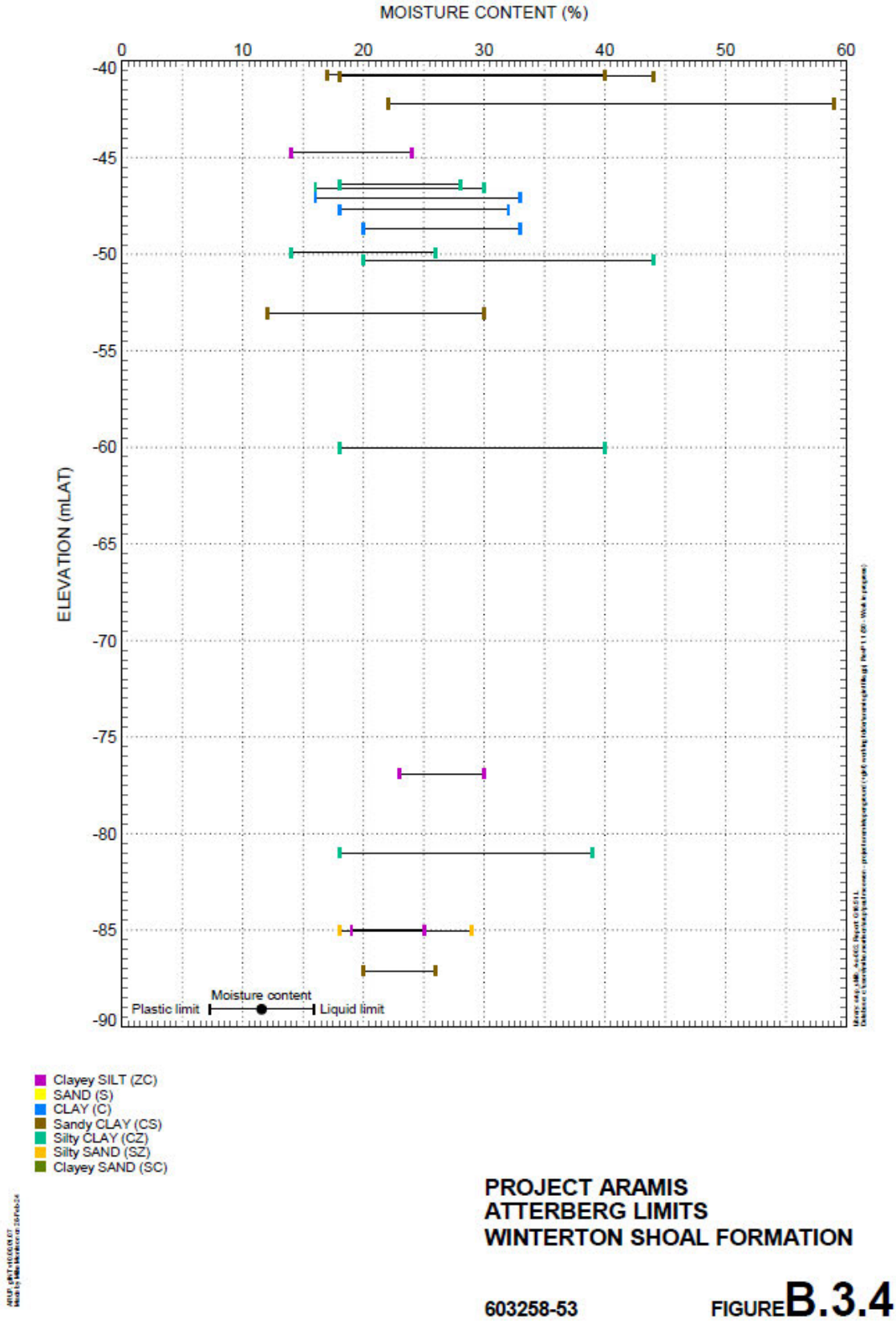


Figure B.3.4: Atterberg Limits - Winterton Shoal Formation

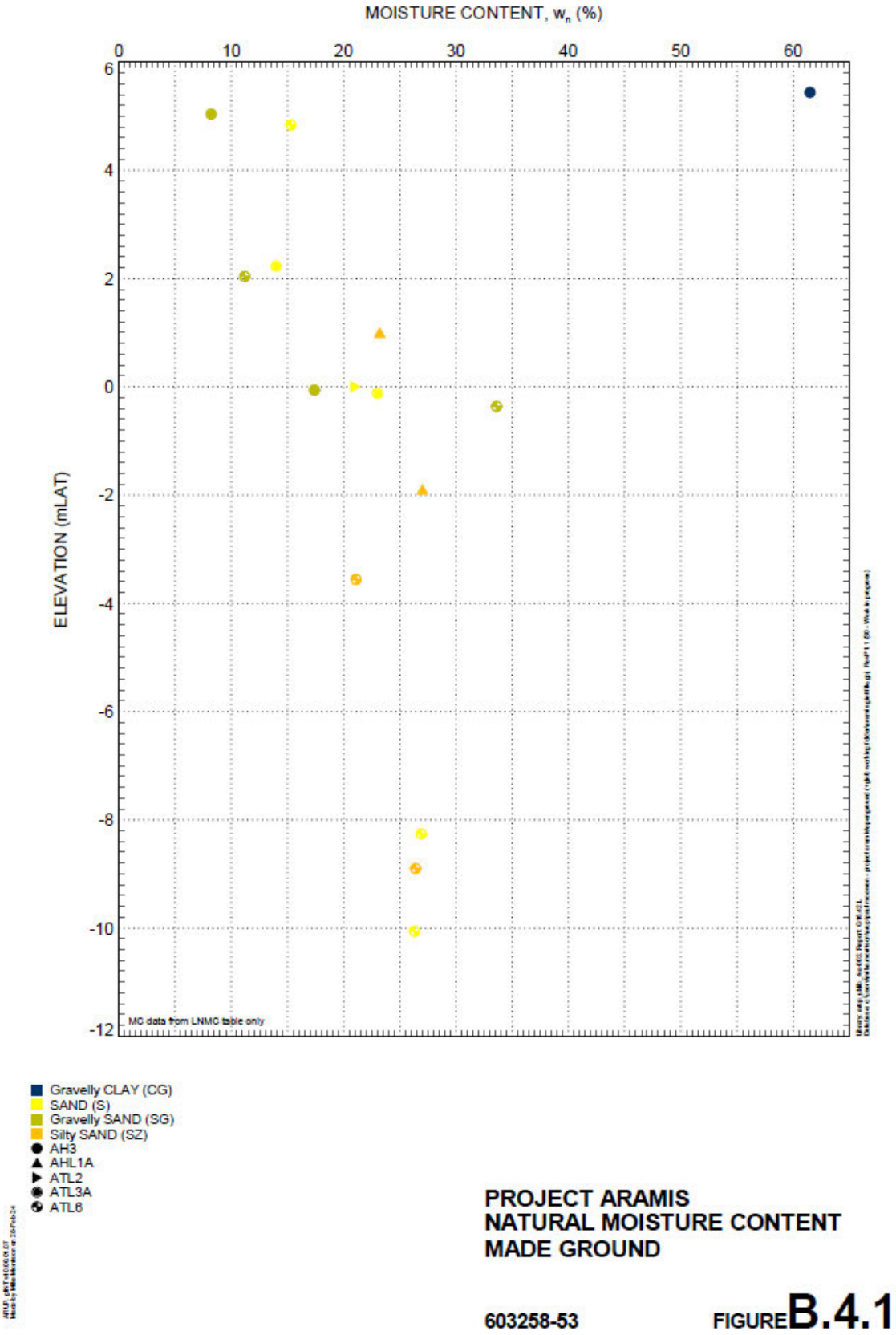


Figure B.4.1: Moisture Content - Made Ground

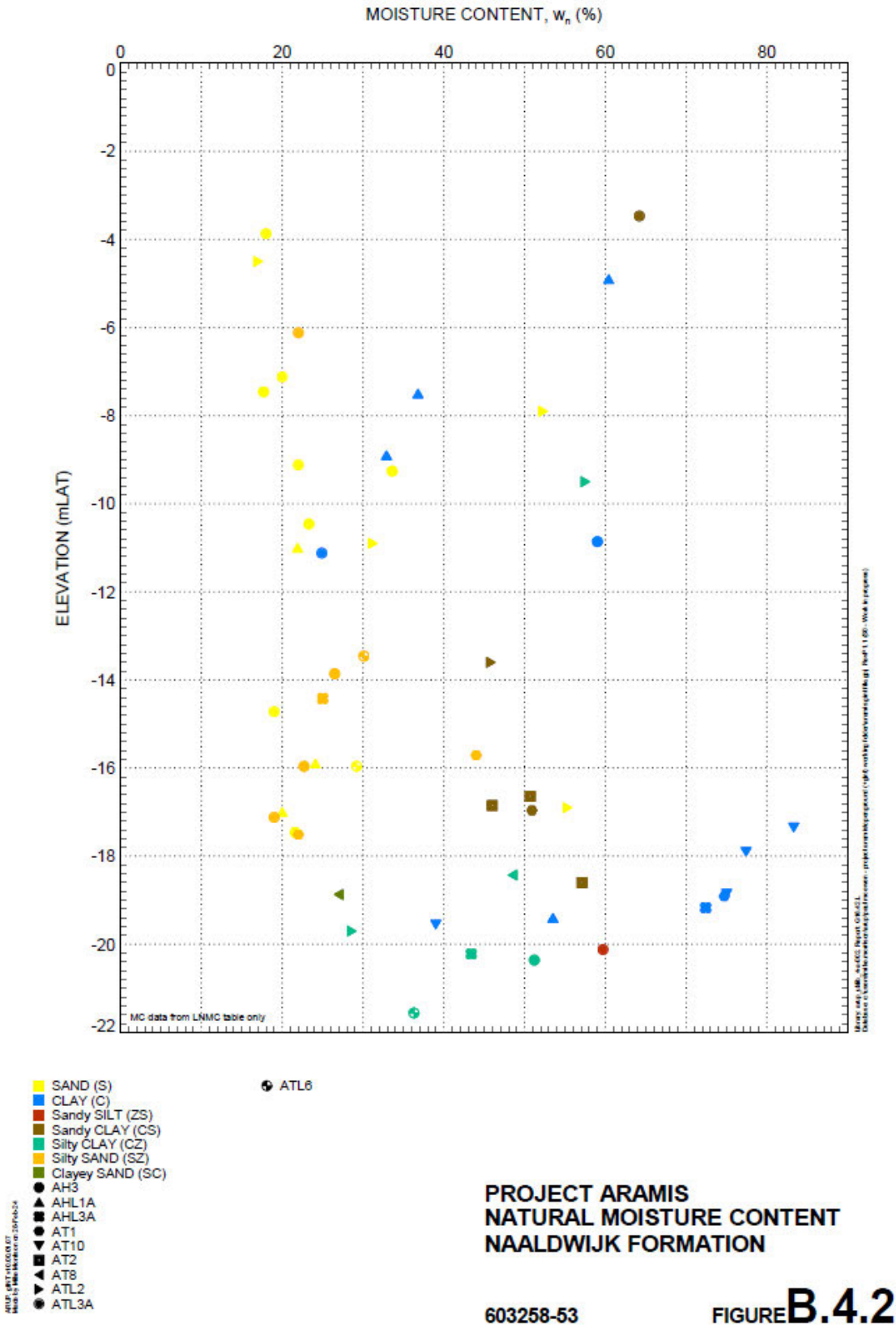


Figure B.4.2: Moisture Content - Naaldwijk Formation

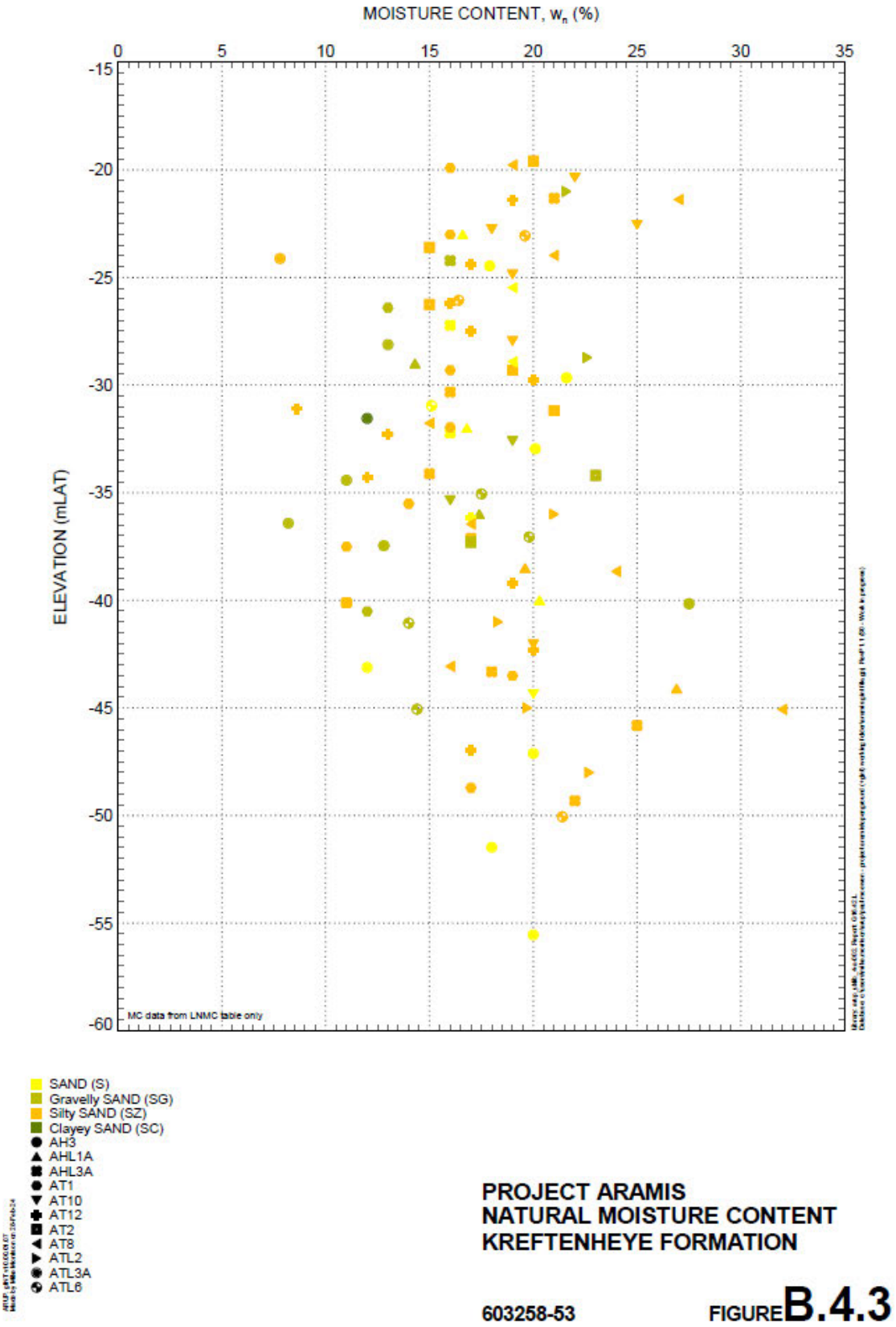


Figure B.4.3: Moisture Content - Kreftenheye Formation

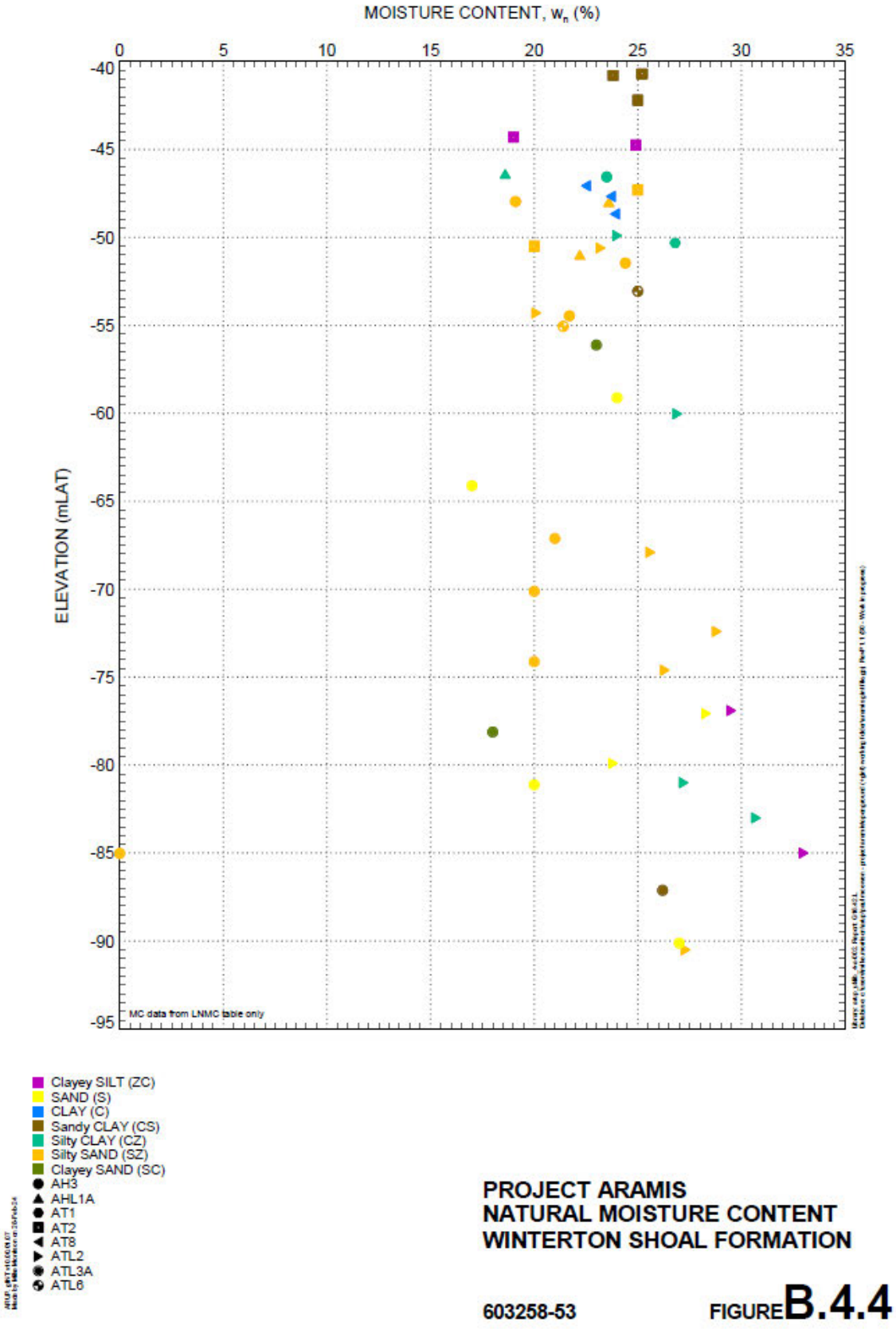
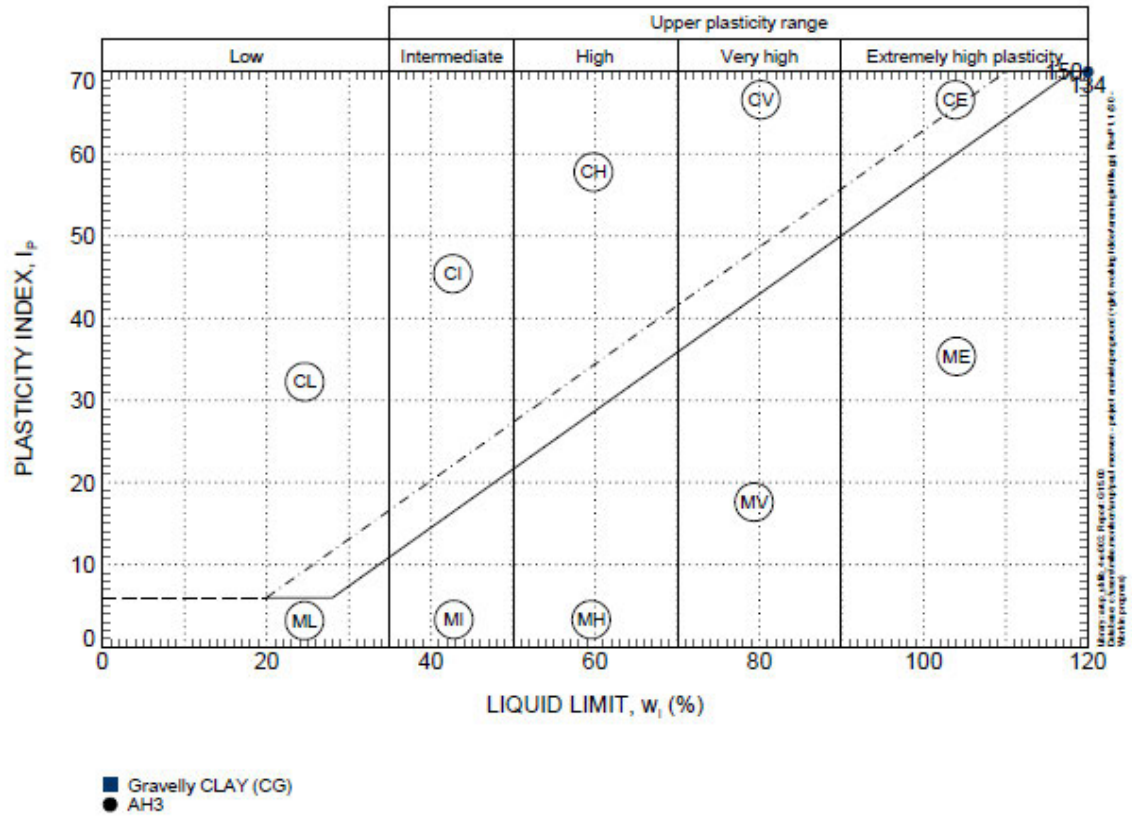


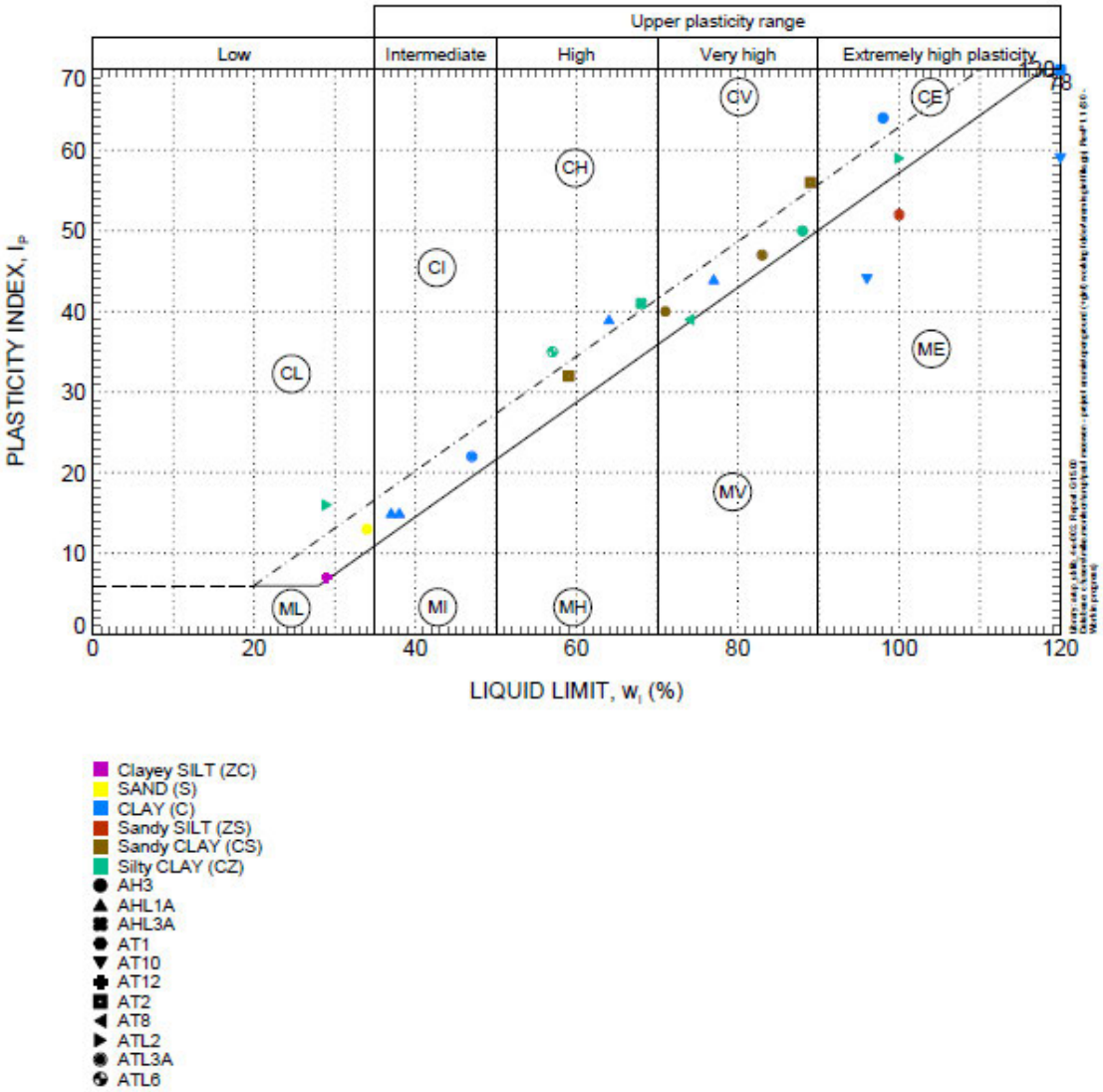
Figure B.4.4: Moisture Content - Winterton Shoal Formation



PROJECT ARAMIS
PLASTICITY CHART
MADE GROUND

603258-53 FIGURE B.5.1

Figure B.5.1: Casagrande Chart - Made Ground



PROJECT ARAMIS
PLASTICITY CHART
NAALDWIJK FORMATION

603258-53 FIGURE B.5.2

Figure B.5.2: Casagrande Chart - Naaldwijk Formation

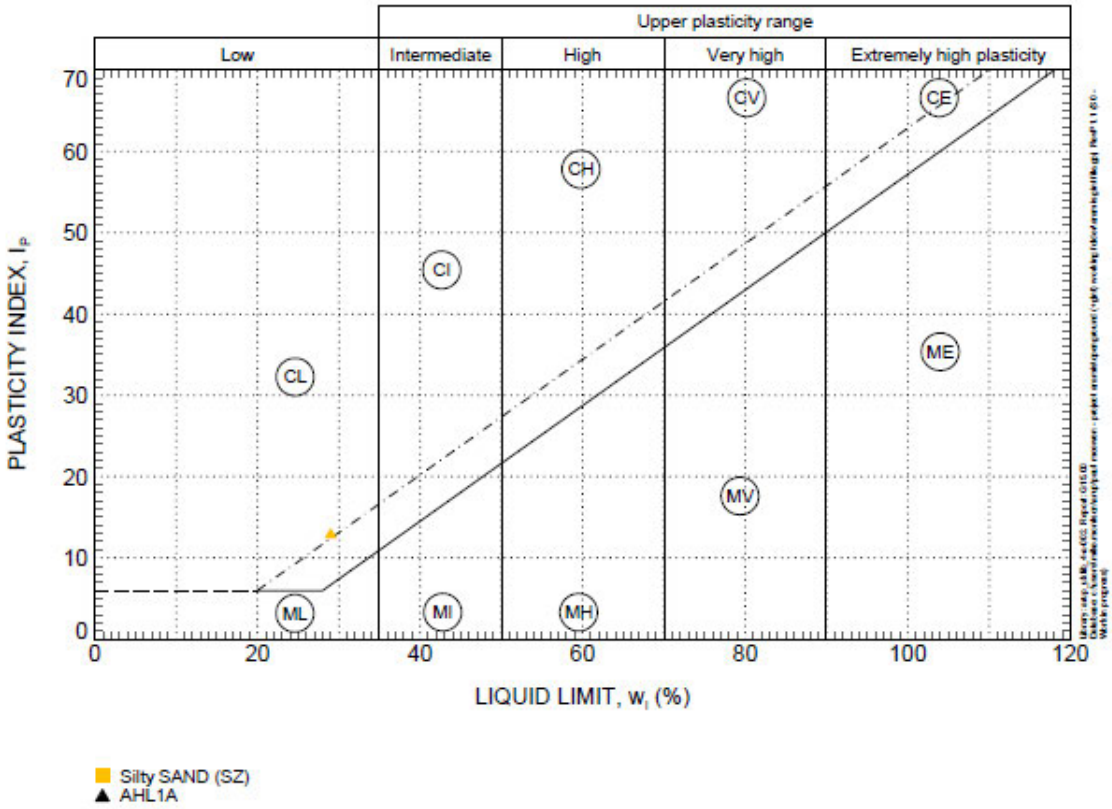
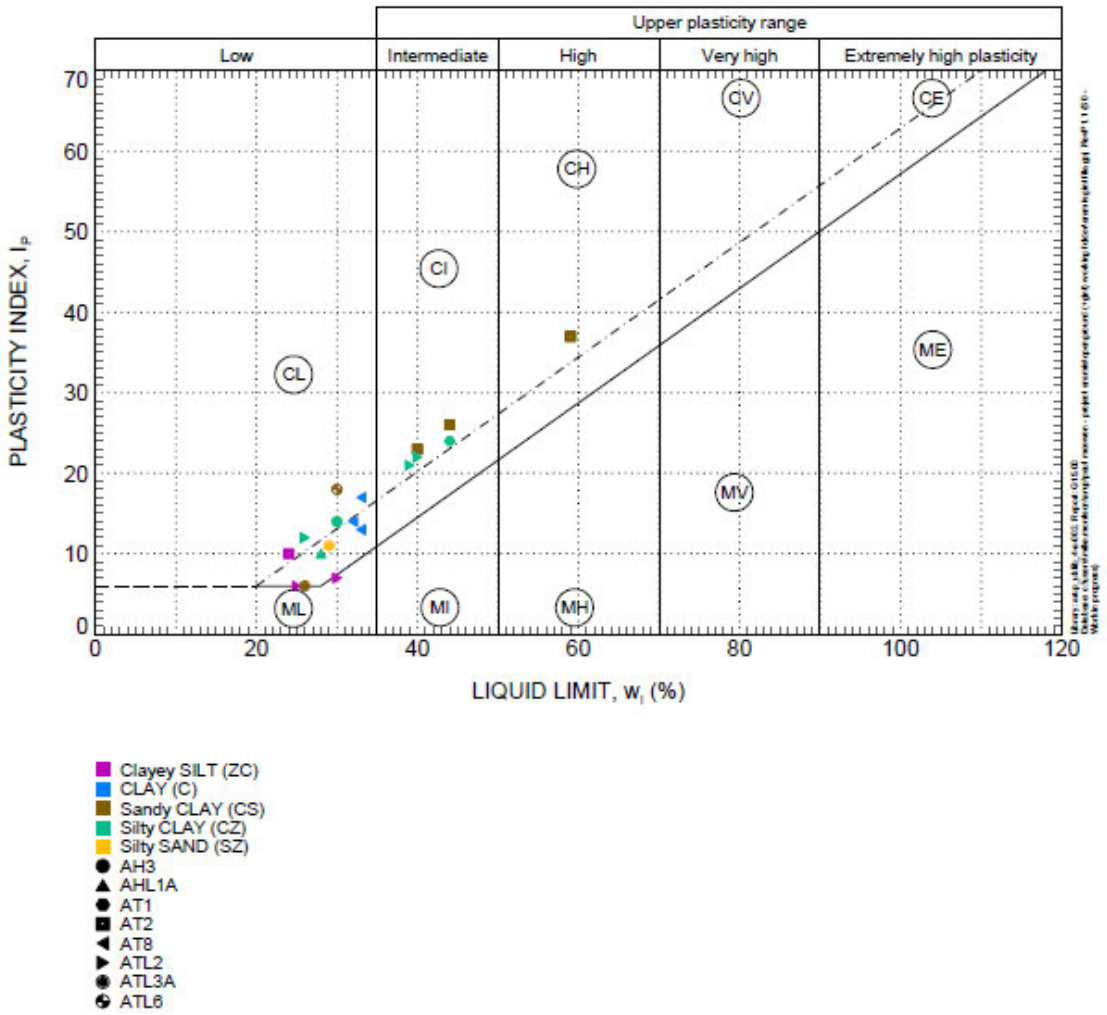


Figure B.5.3: Casagrande Chart - Kreftenheye Formation



PROJECT ARAMIS
PLASTICITY CHART
WINTERTON SHOAL FORMATION

603258-53 FIGURE B.5.4

Figure B.5.4: Casagrande Chart - Winterton Shoal Formation

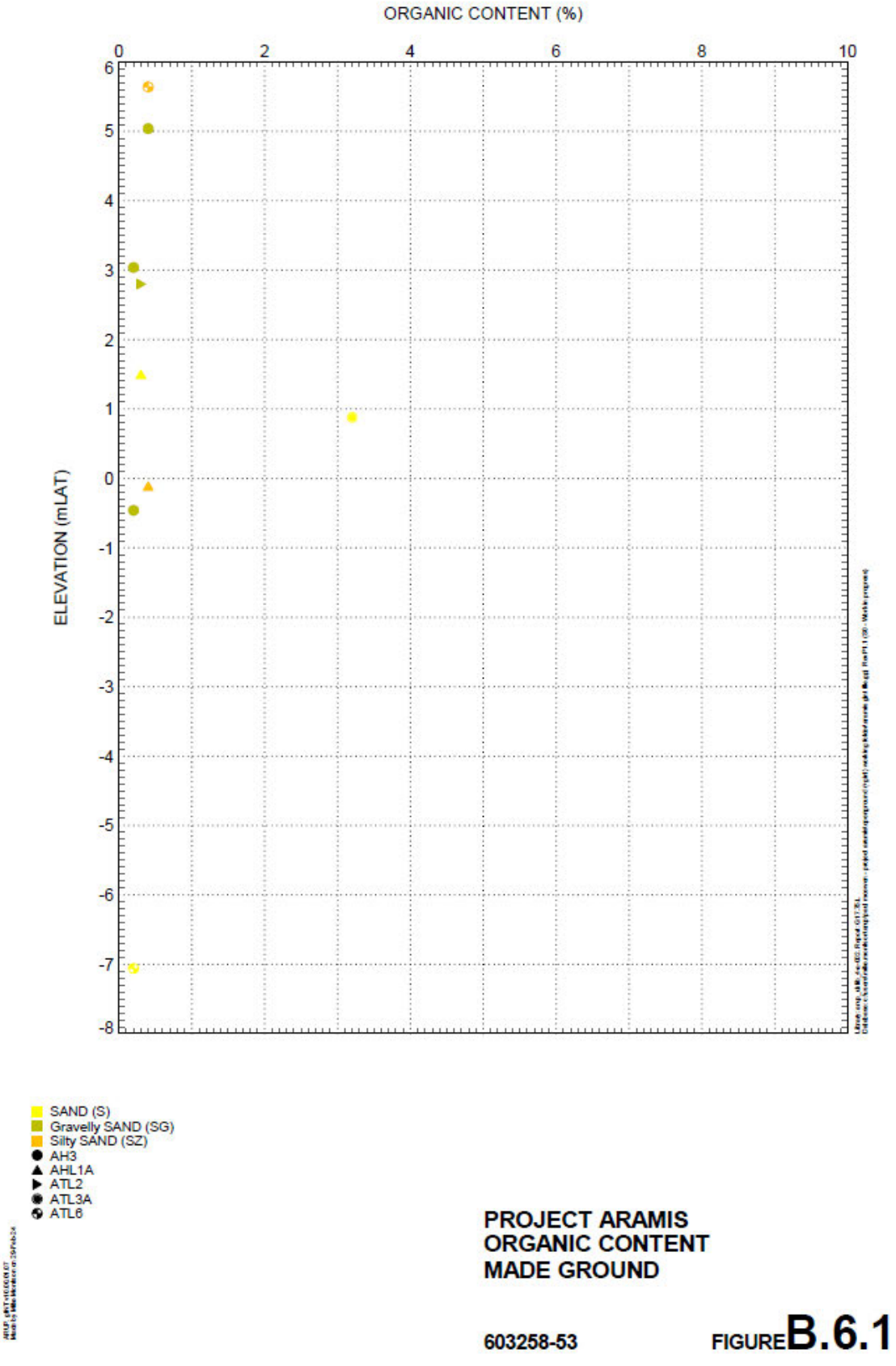


Figure B.6.1: Organic Content - Made Ground

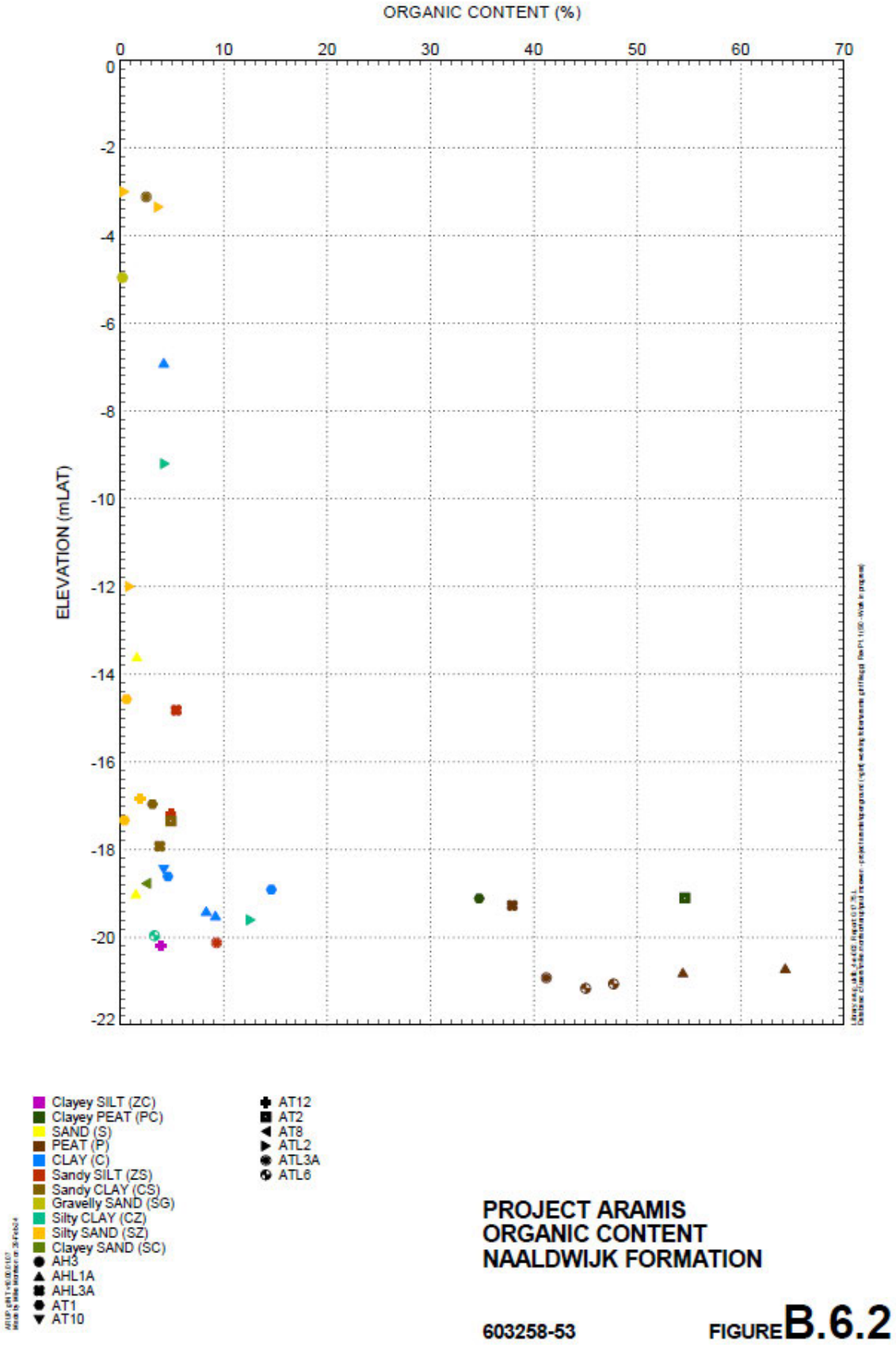


Figure B.6.2: Organic Content - Naaldwijk Formation

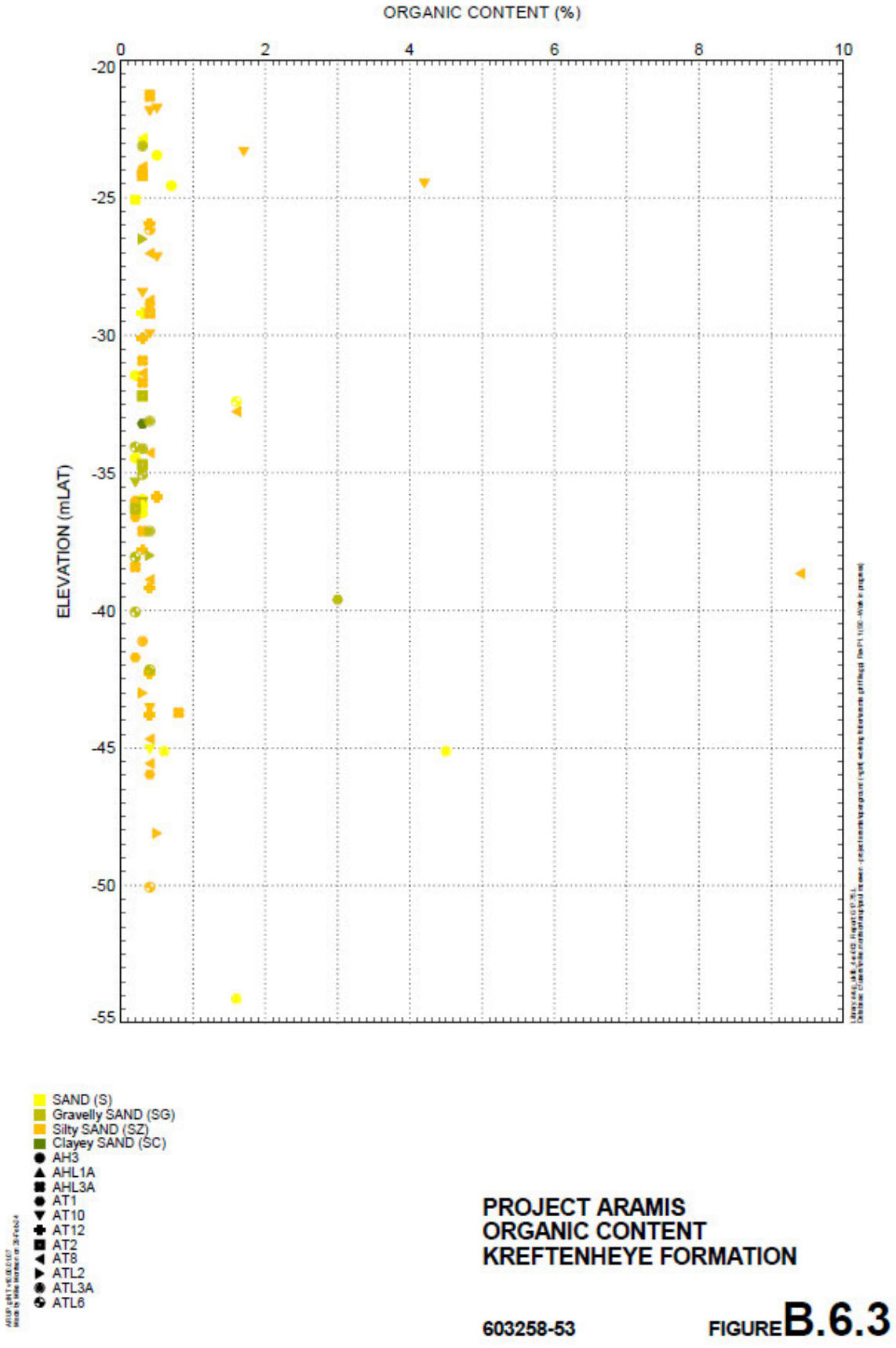


Figure B.6.3: Organic Content - Kreftenheye Formation

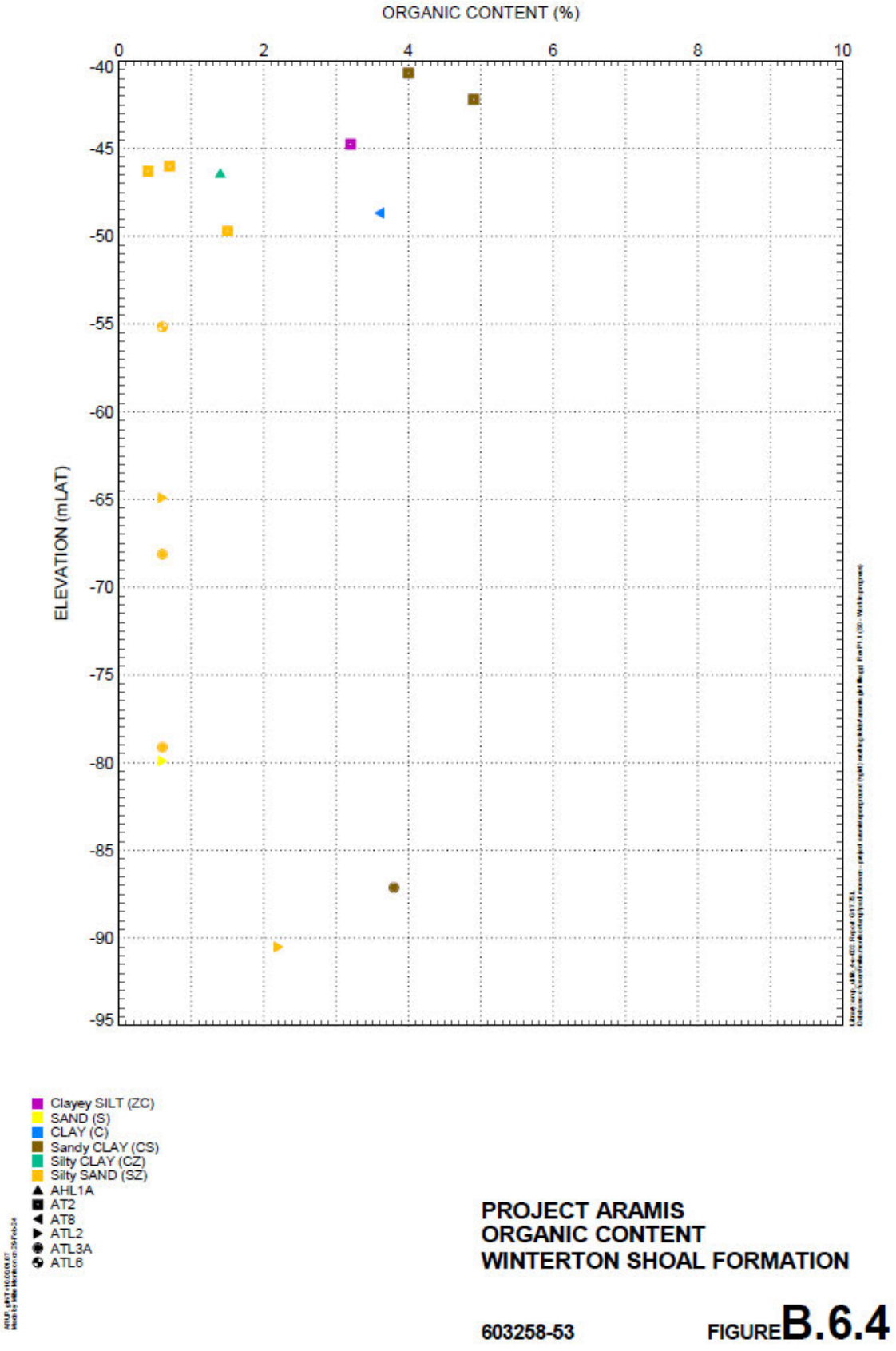


Figure B.6.4: Organic Content - Winterton Shoal Formation

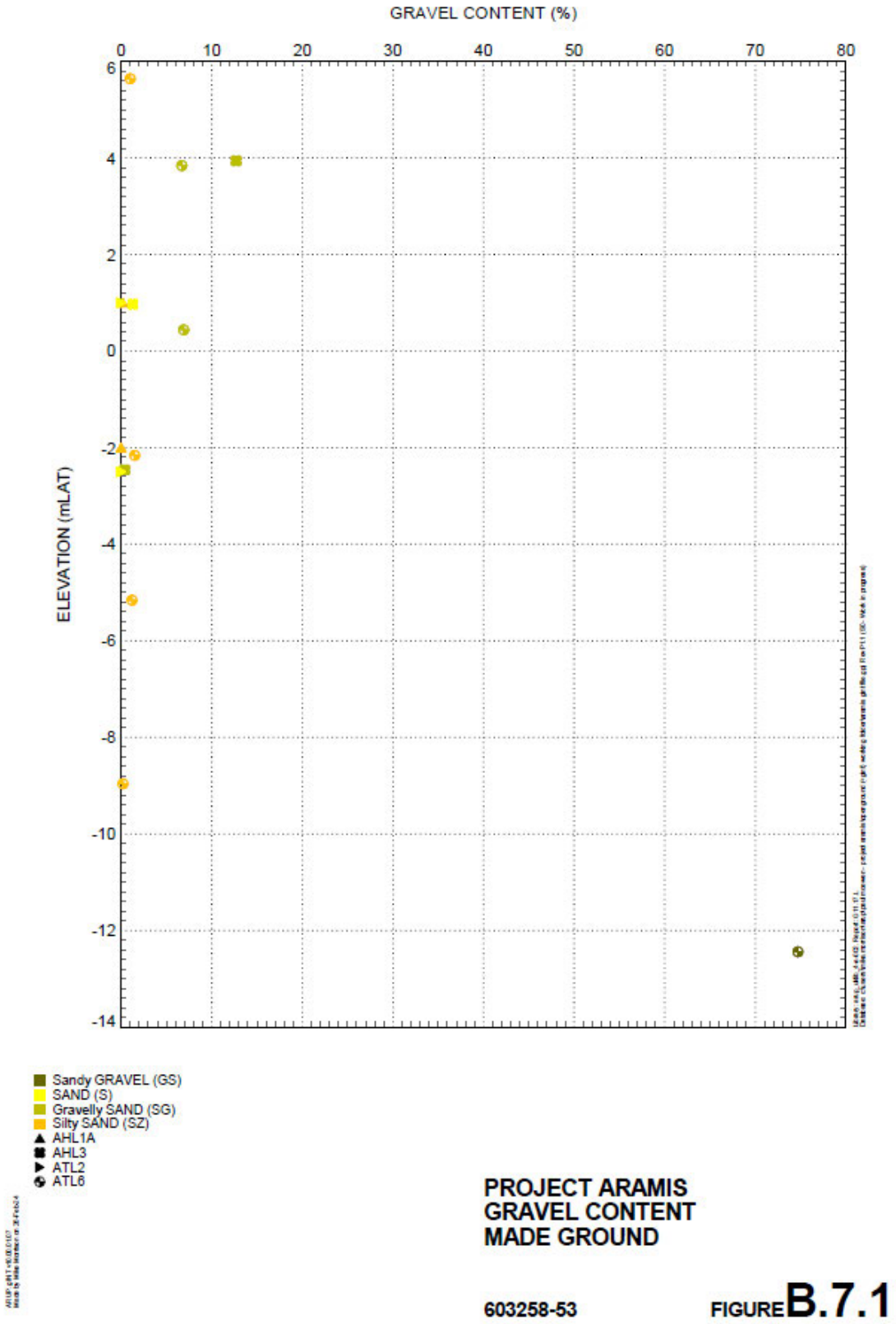


Figure B.7.1: Gravel Content - Made Ground

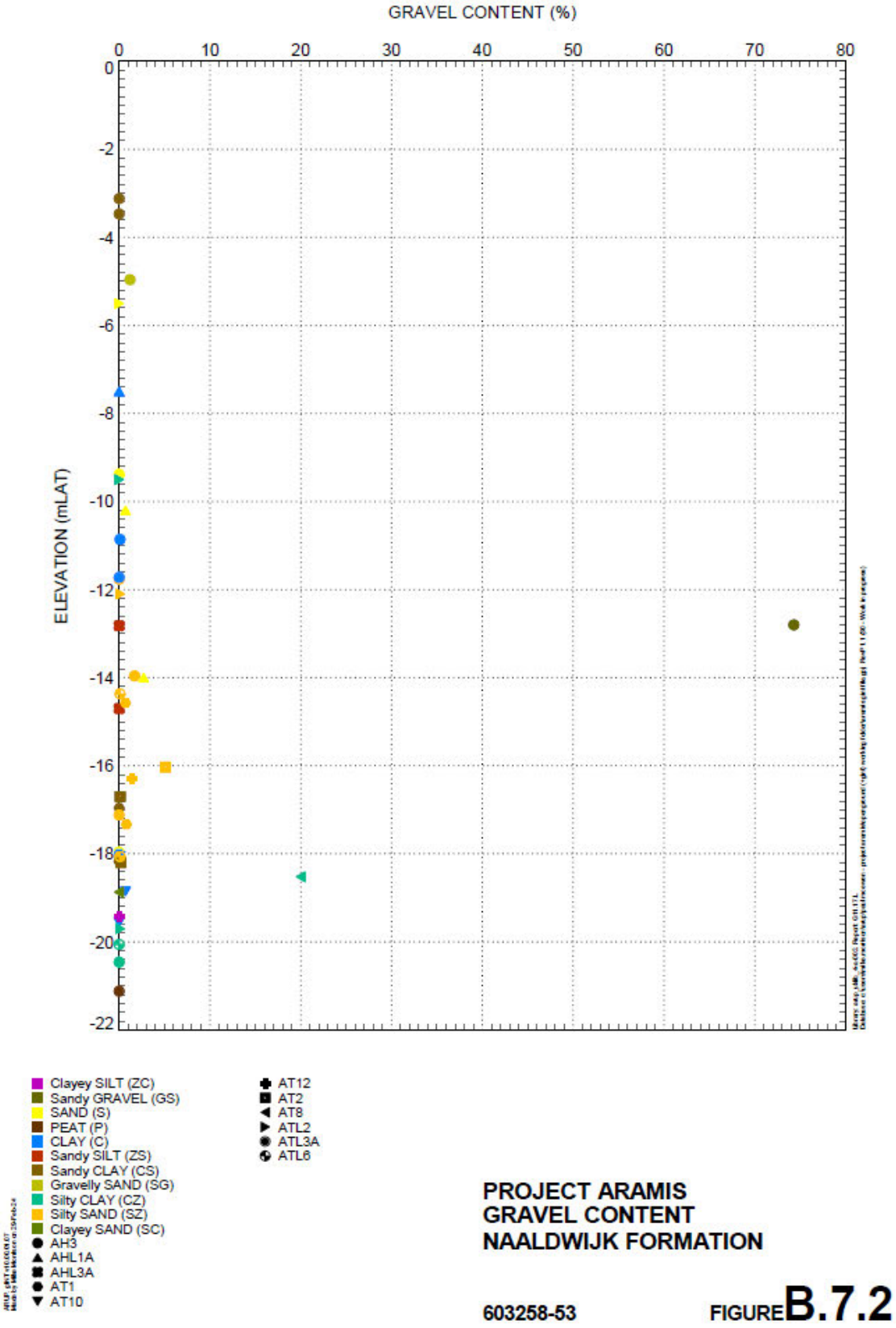


Figure B.7.2: Gravel Content - Naaldwijk Formation

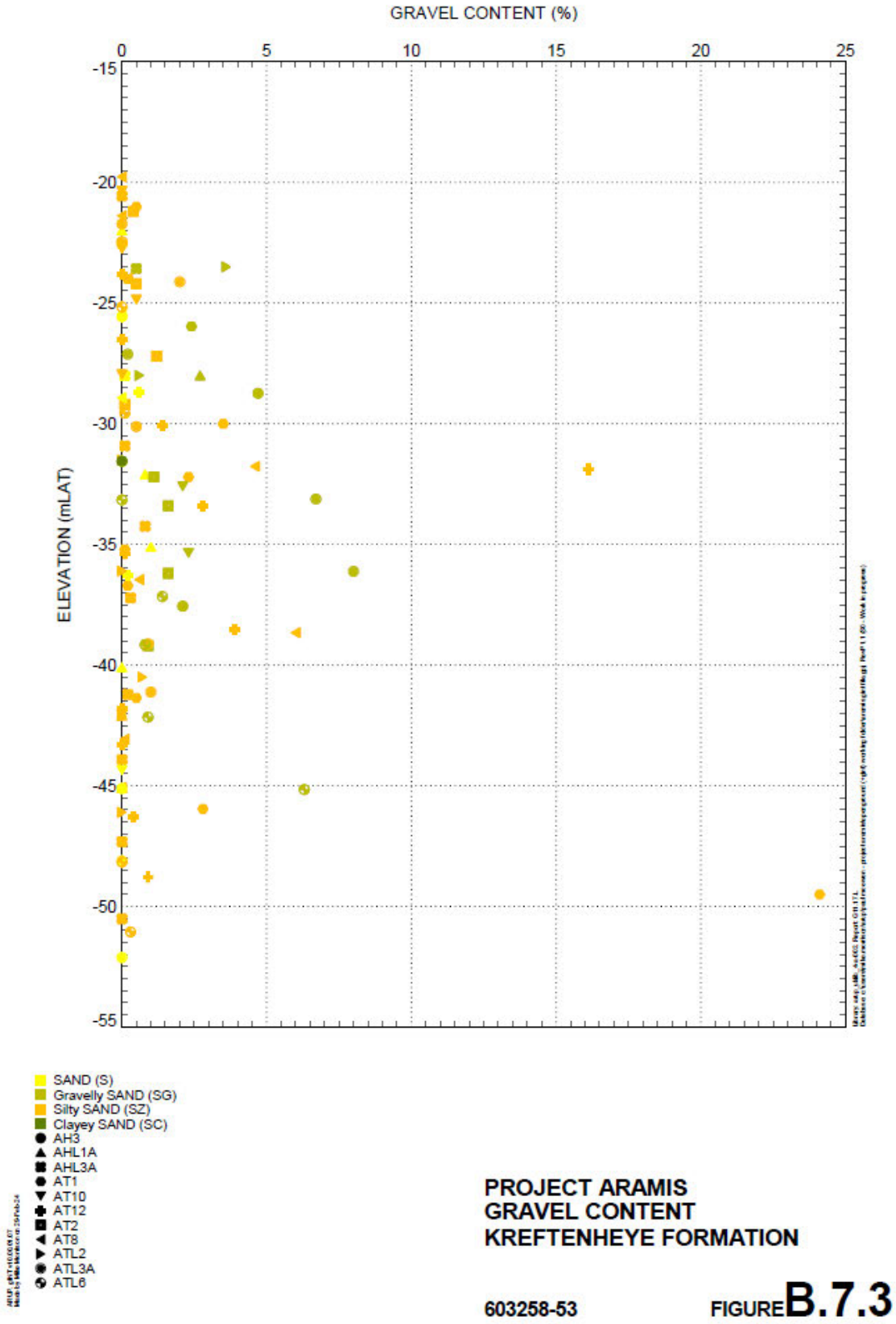


Figure B.7.3: Gravel Content - Kreftenheye Formation

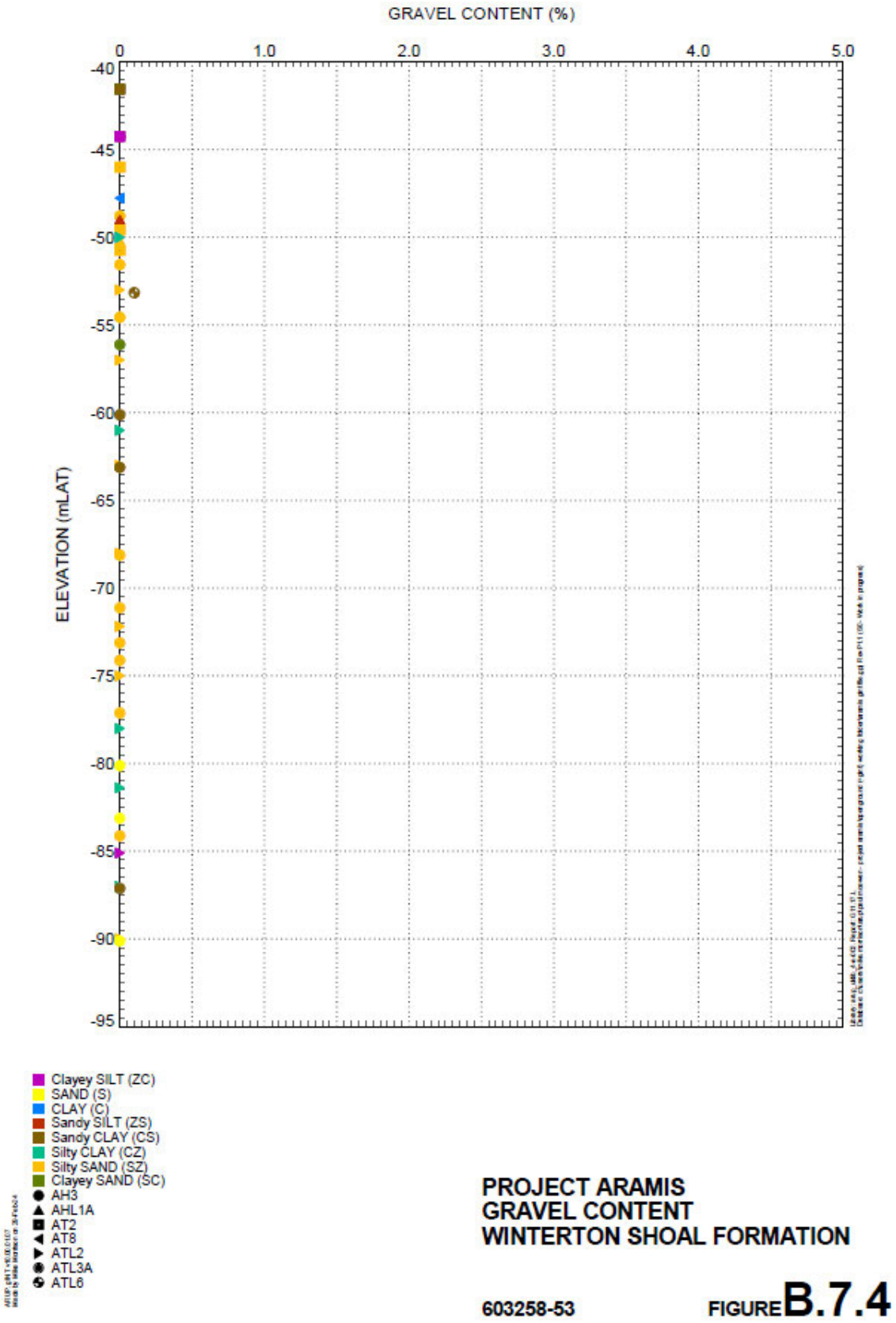


Figure B.7.4: Gravel Content - Winterton Shoal Formation

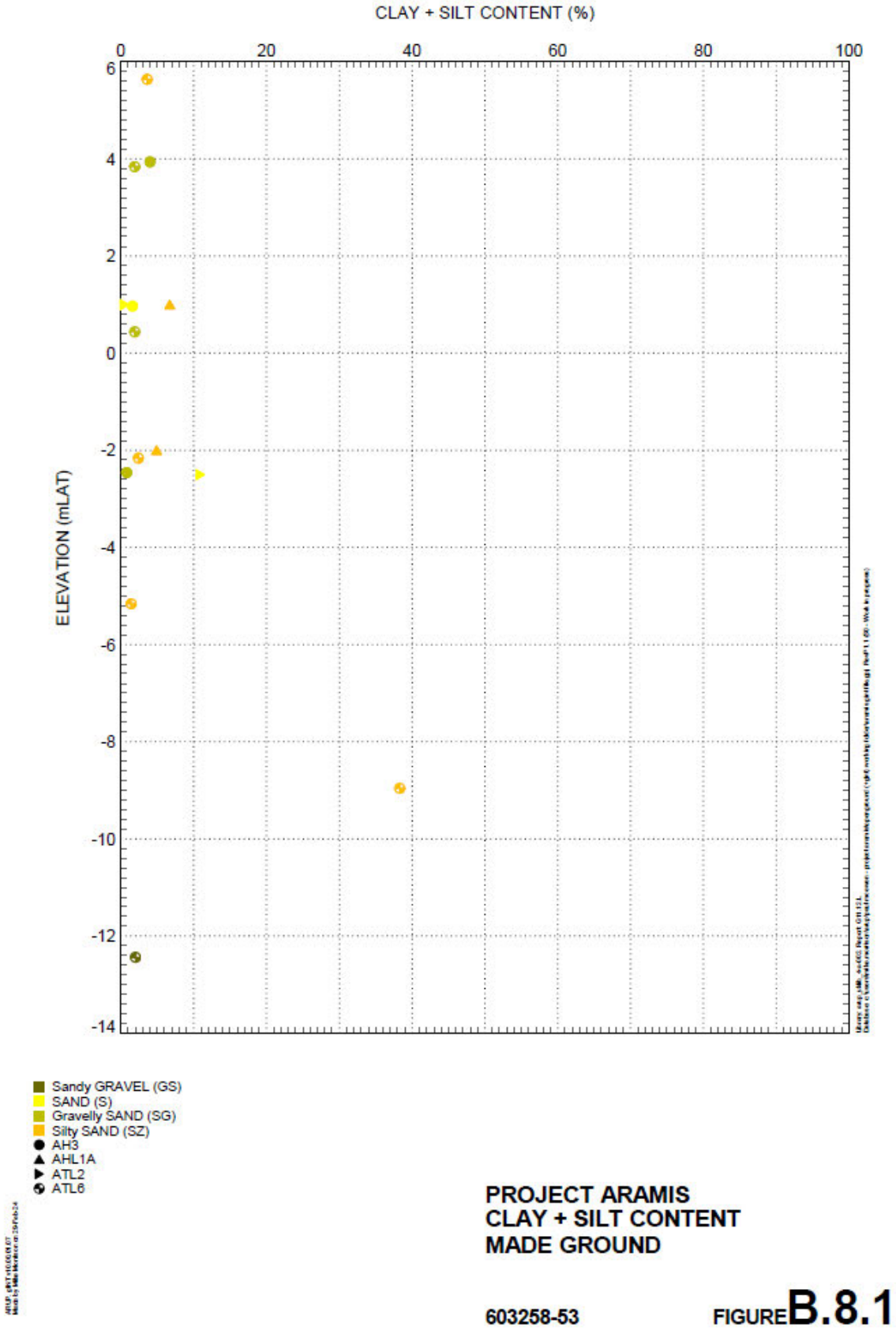


Figure B.8.1: Fines Content - Made Ground

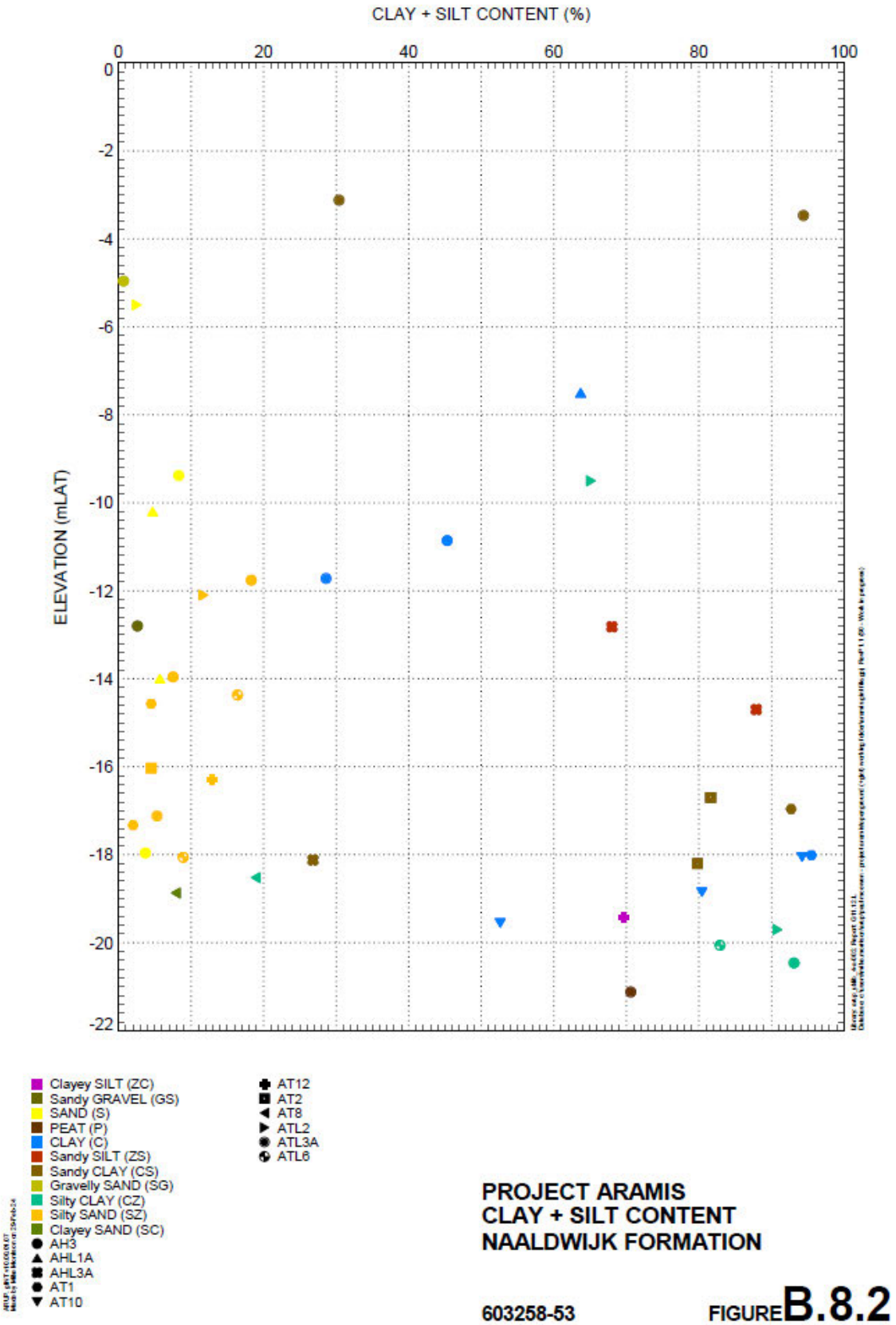


Figure B.8.2: Fines Content - Naaldwijk Formation

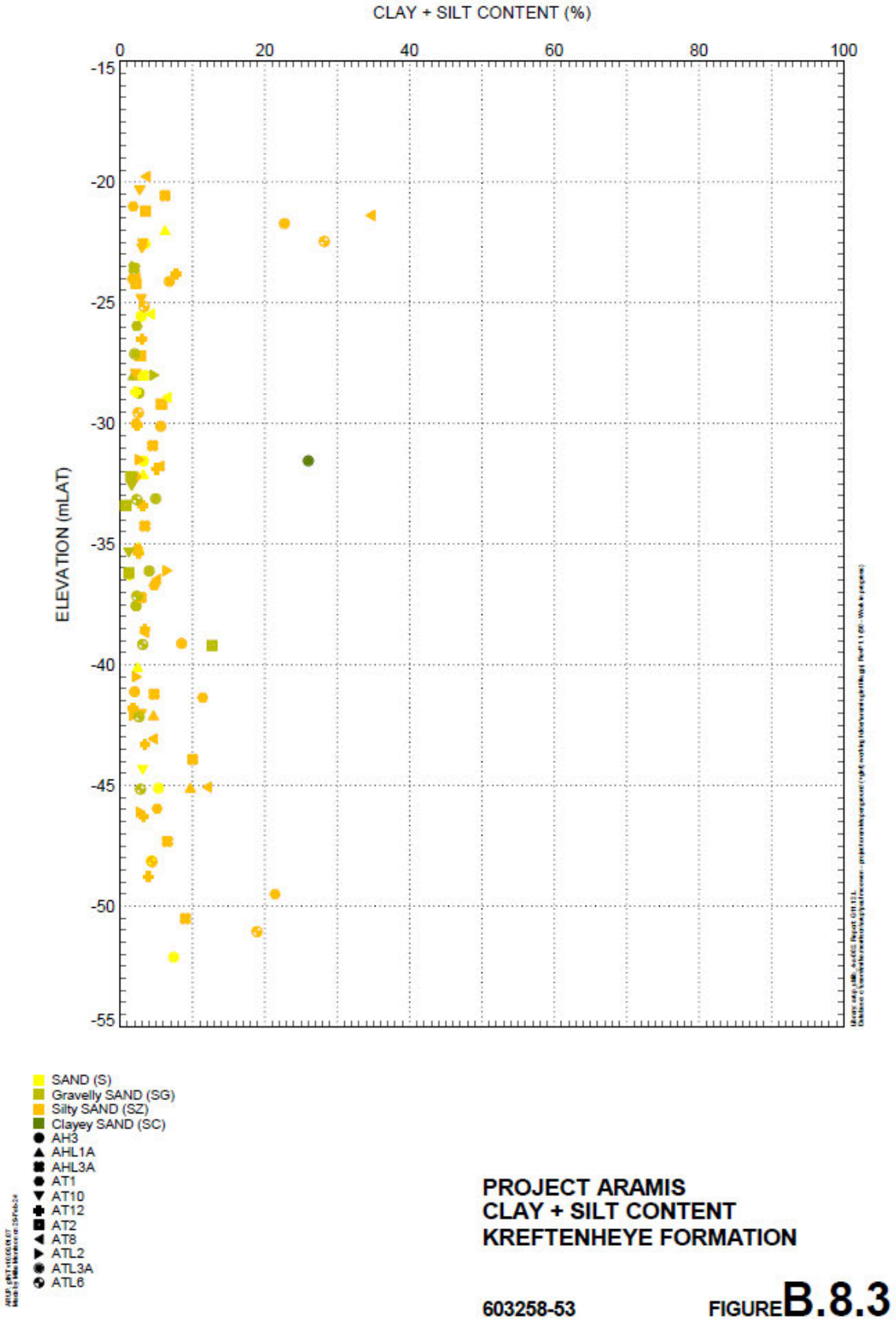


Figure B.8.3: Fines Content - Kreftenheye Formation

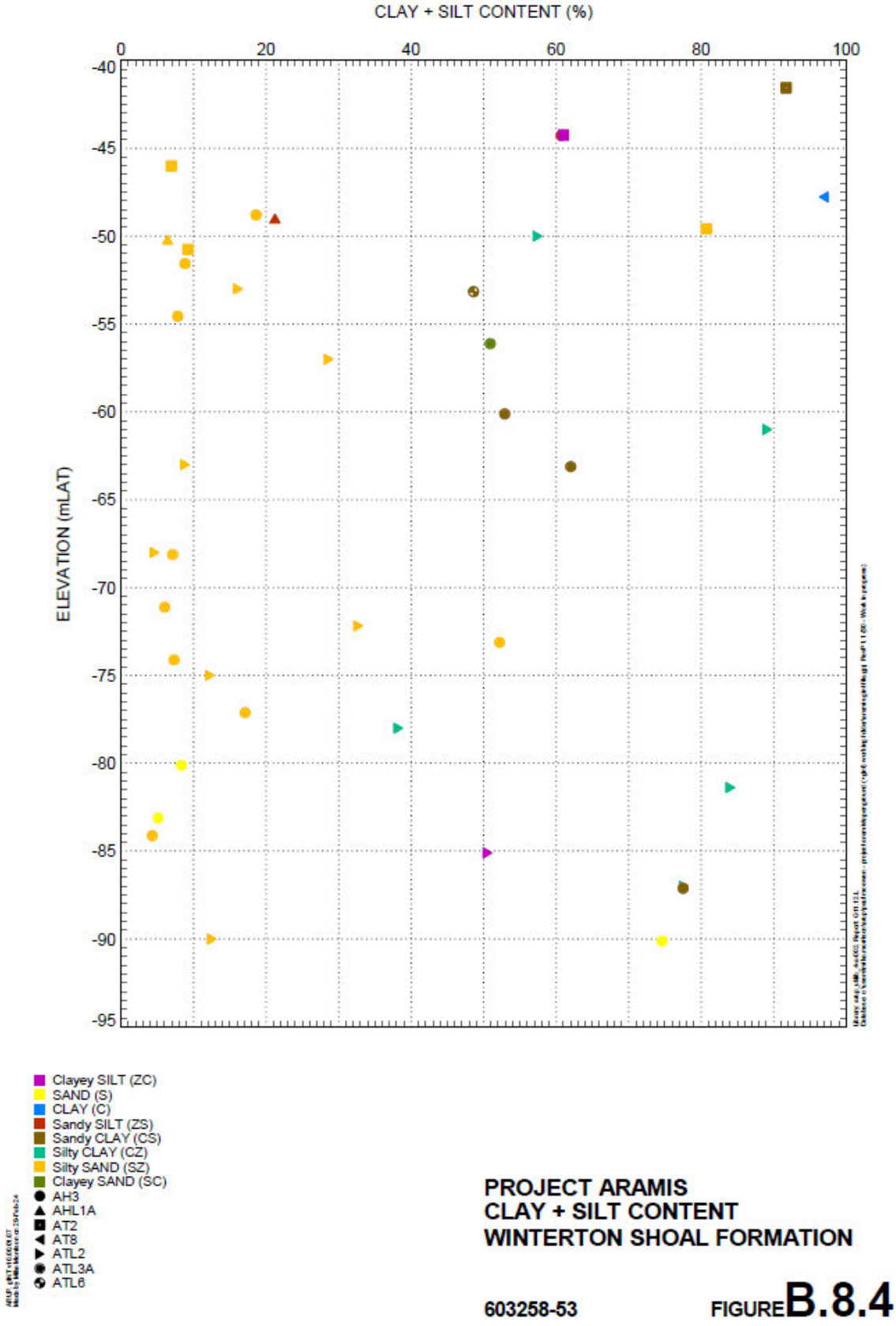


Figure B.8.4: Fines Content - Winterton Shoal Formation

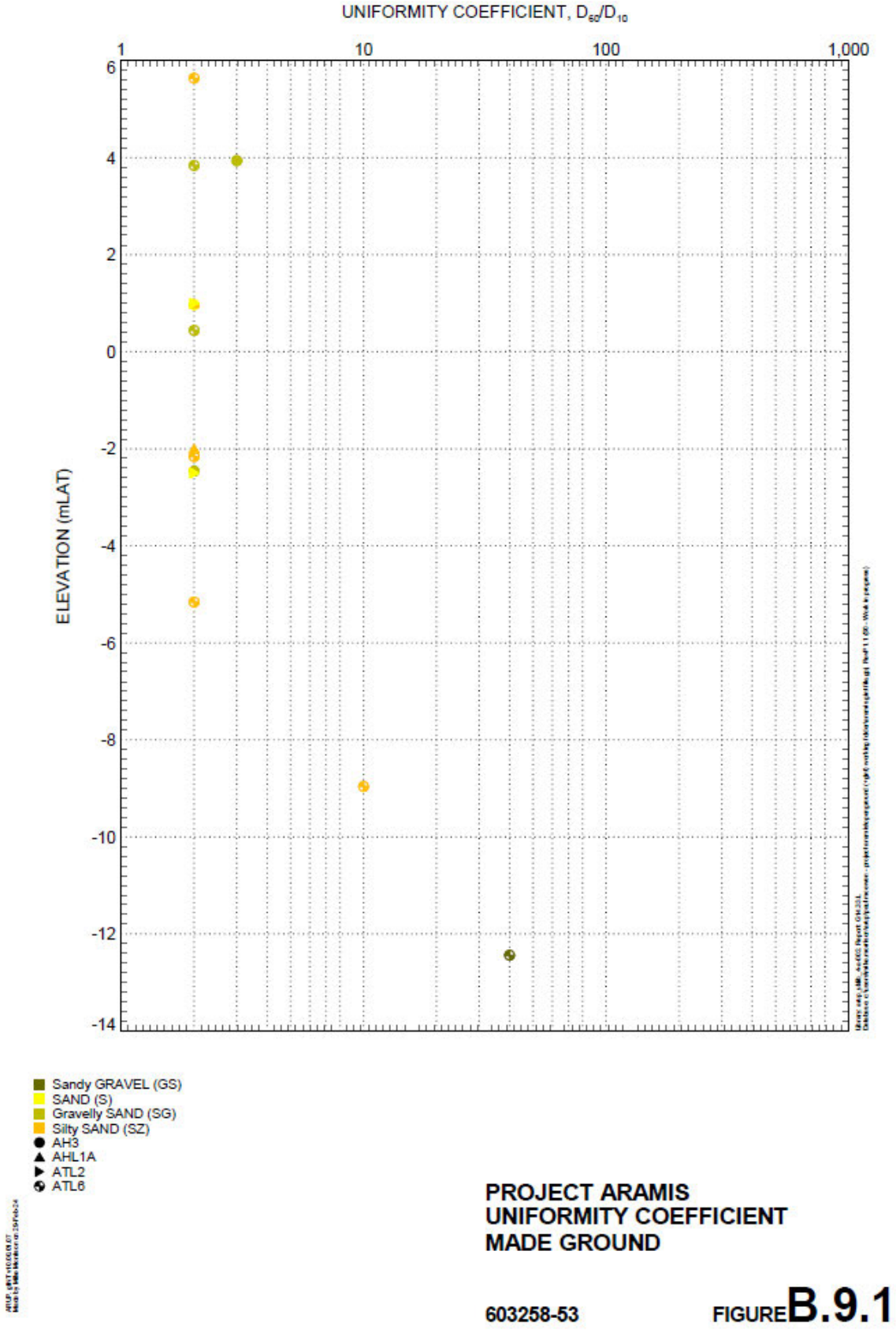


Figure B.9.1: Uniformity Coefficient - Made Ground

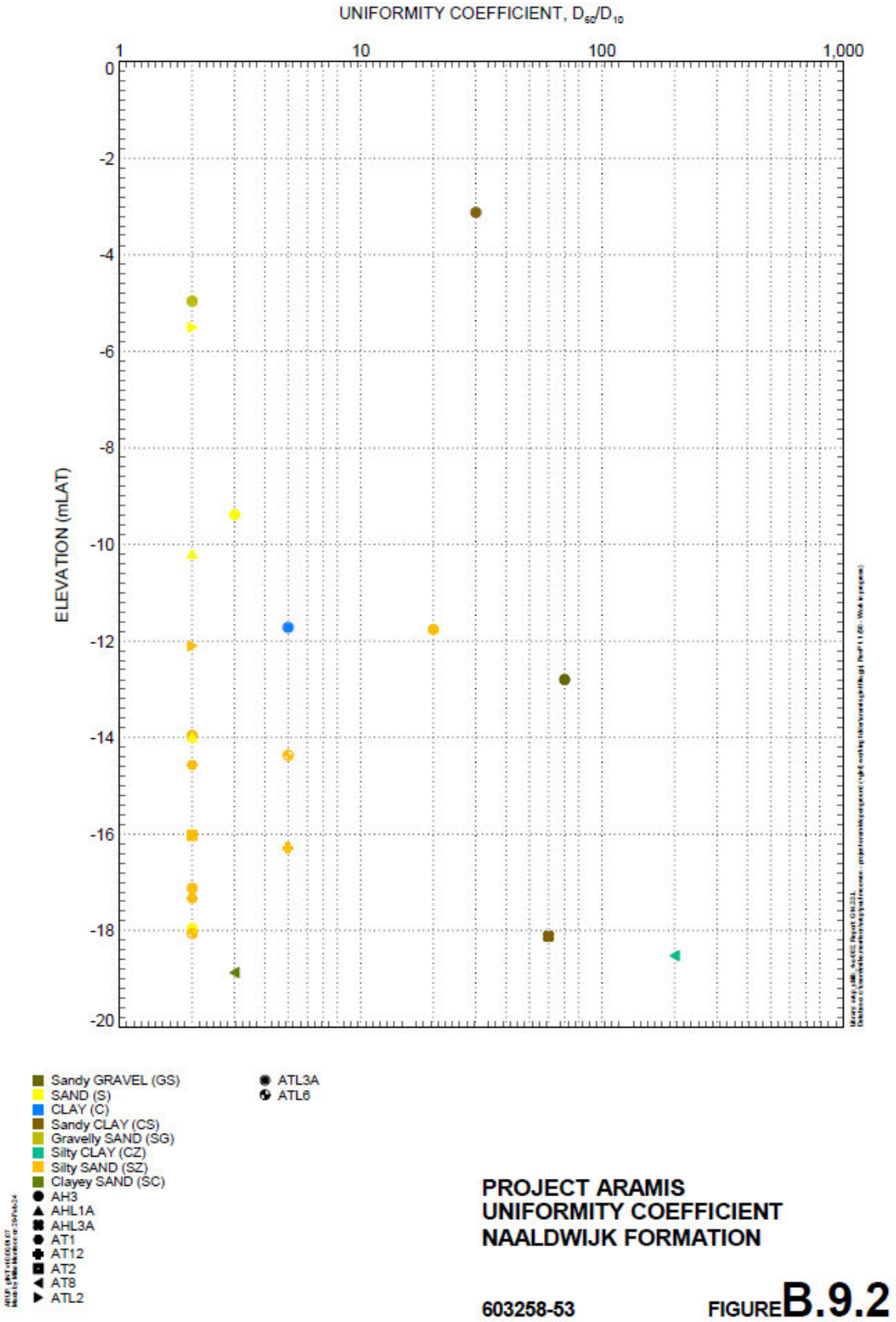


Figure B.9.2: Uniformity Coefficient - Naaldwijk Formation

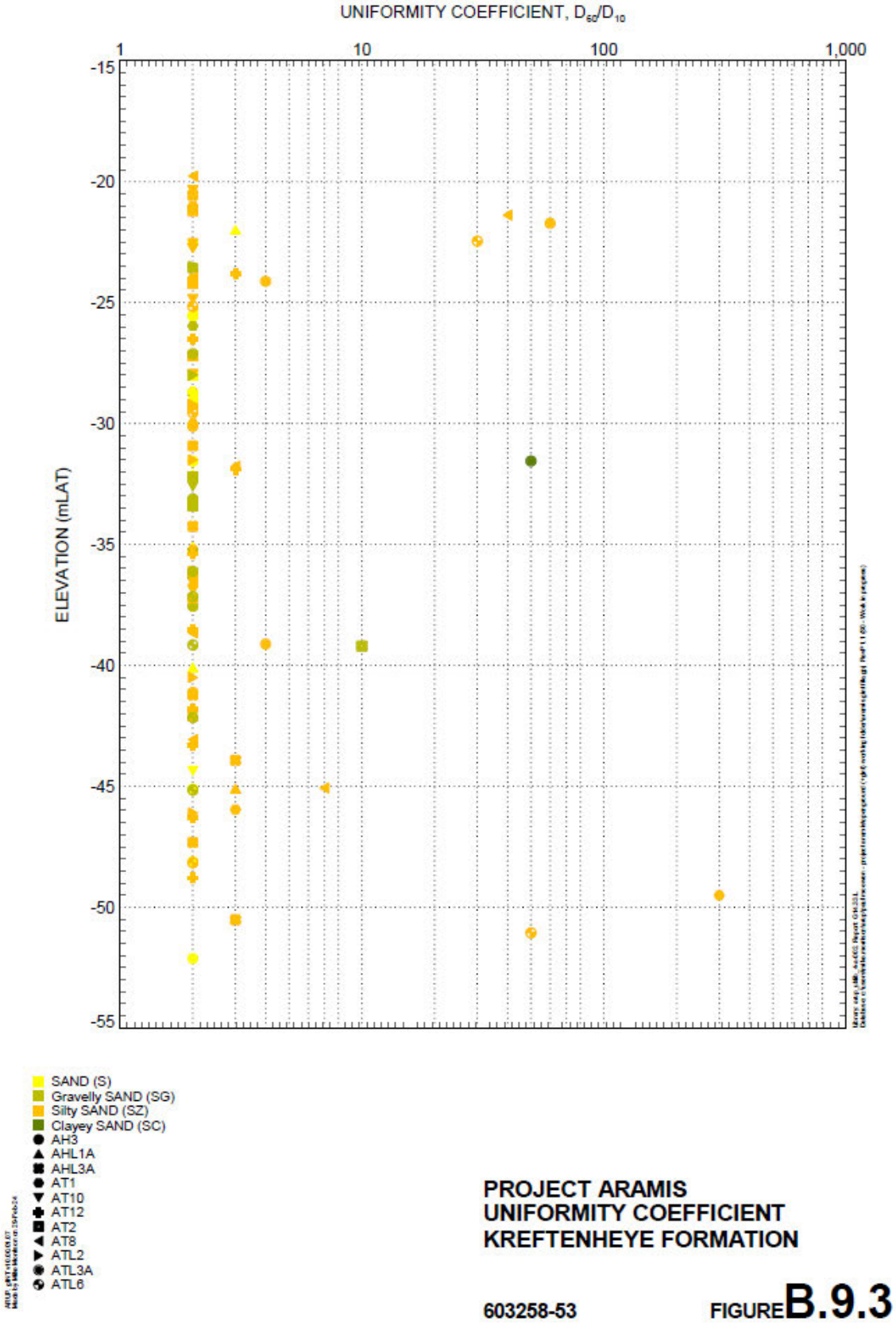


Figure B.9.3: Uniformity Coefficient - Kreftenheye Formation

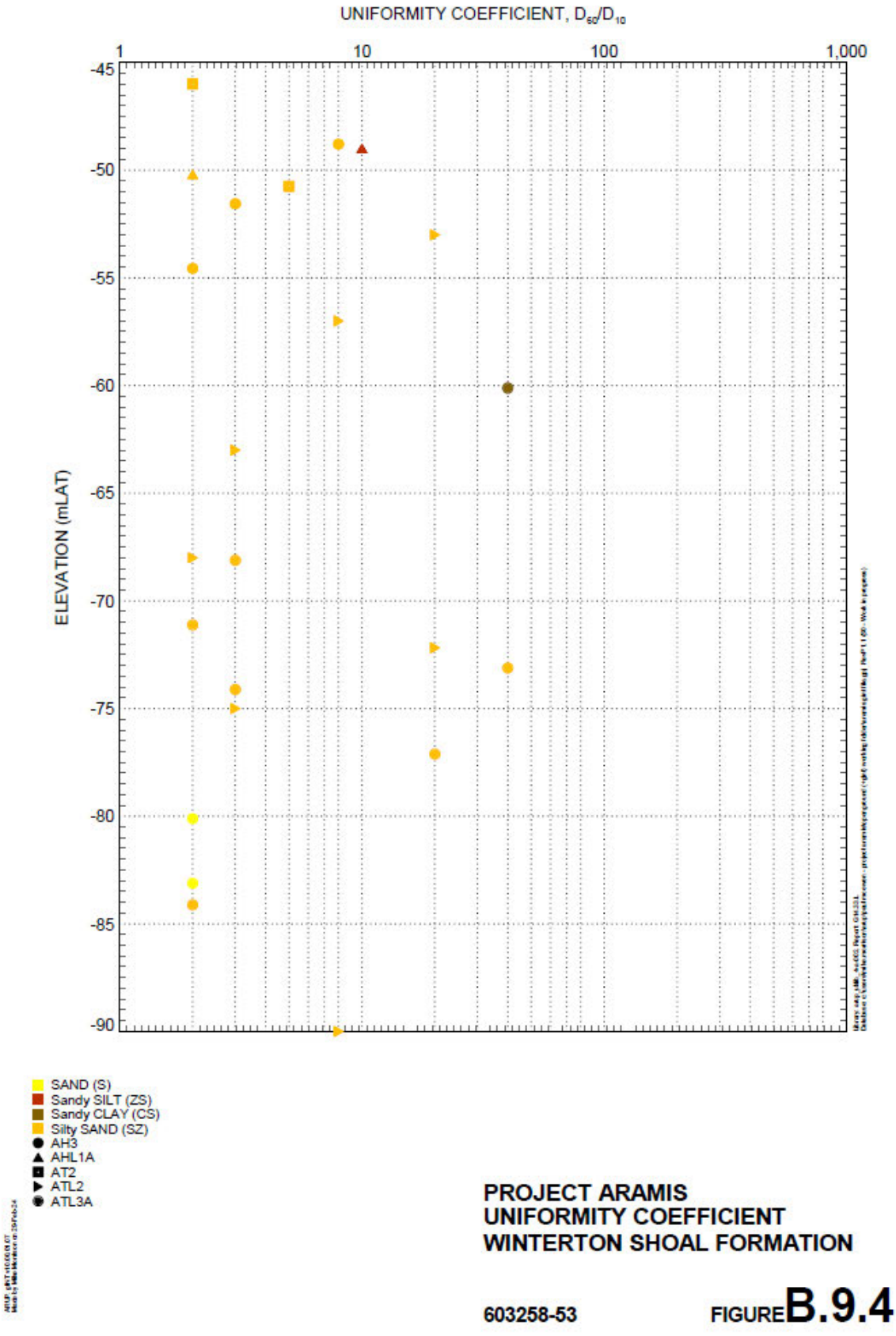


Figure B.9.4: Uniformity Coefficient - Winterton Shoal Formation

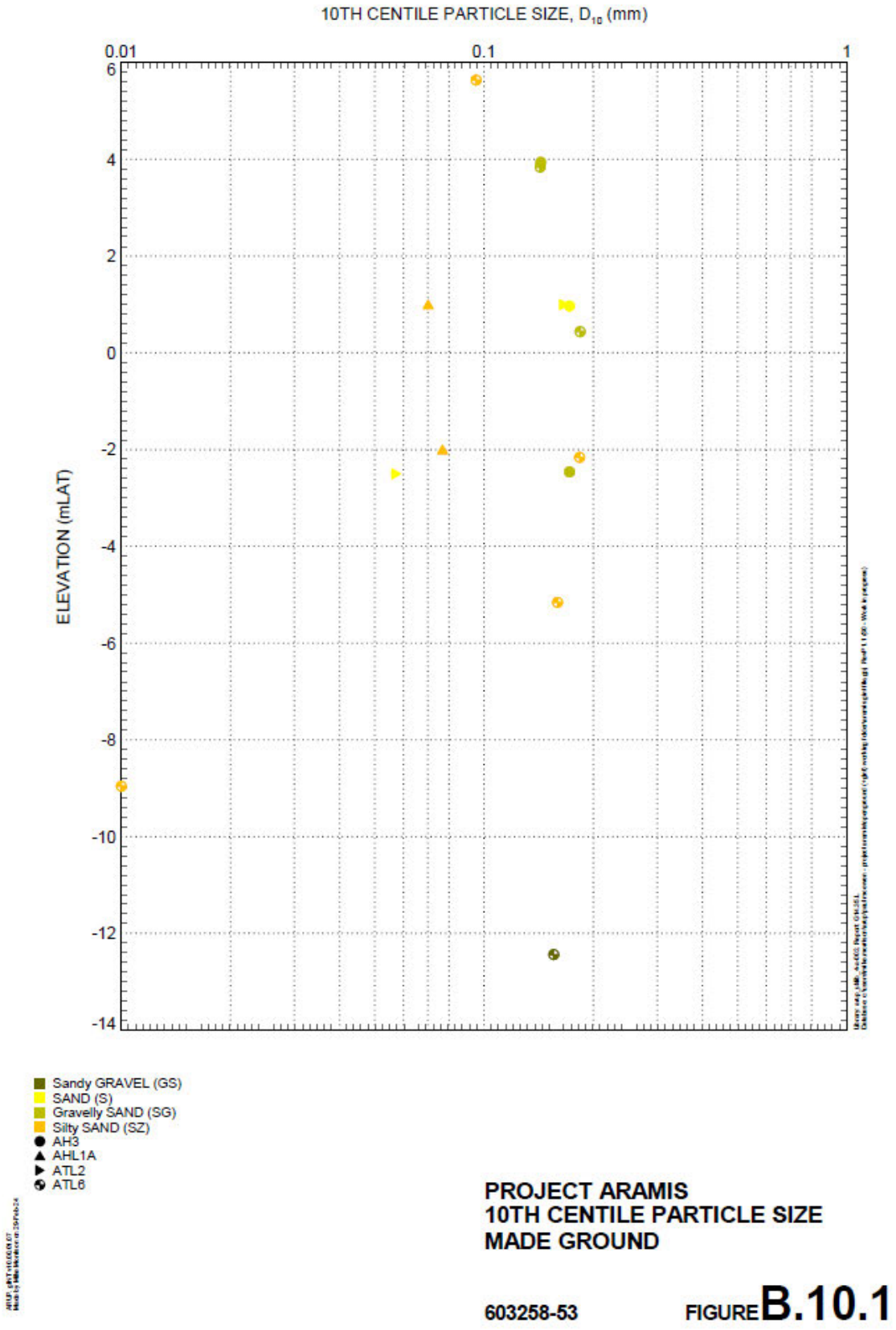


Figure B.10.1: D_{10} Particle Size - Made Ground

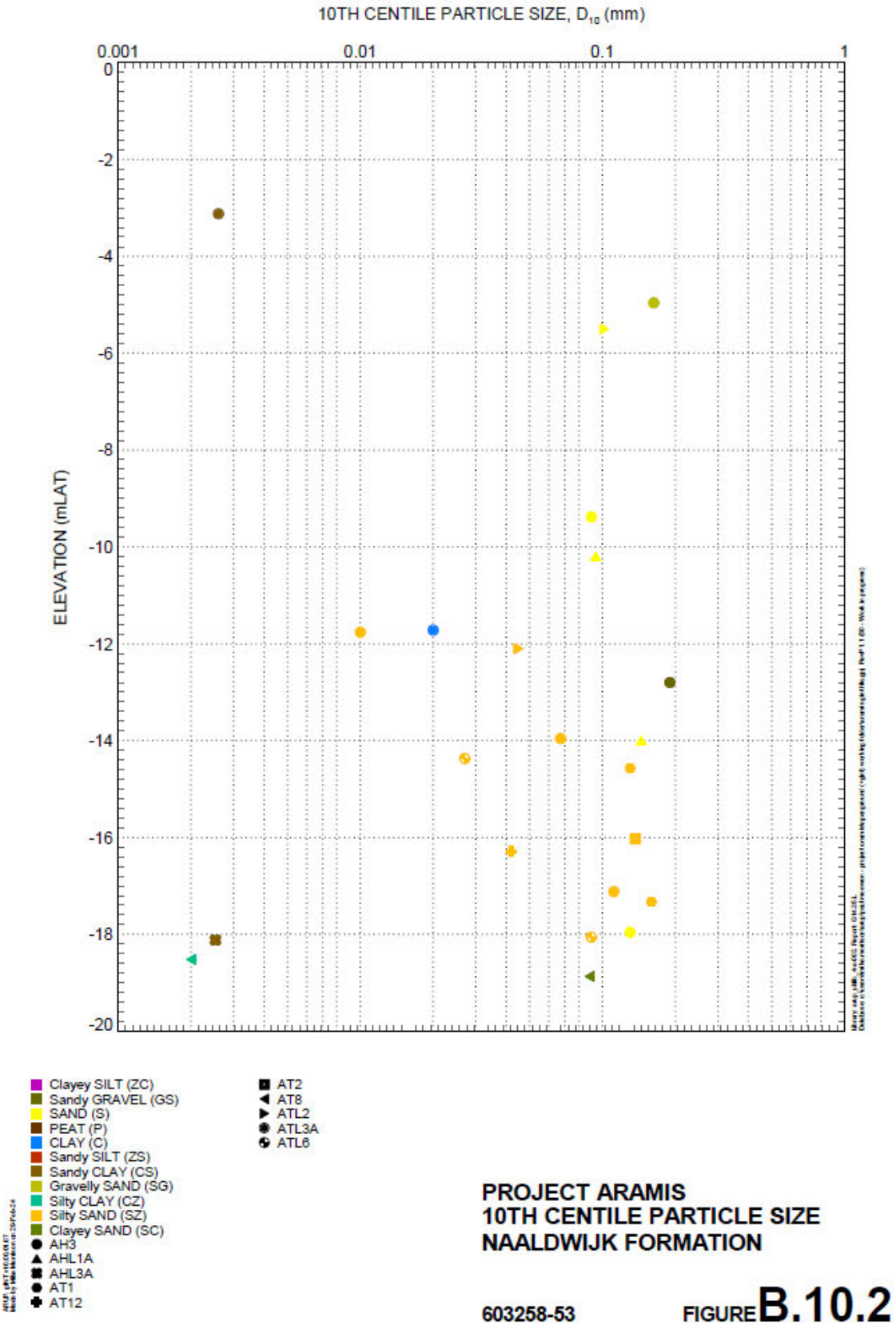


Figure B.10.2: D_{10} Particle Size - Naaldwijk Formation

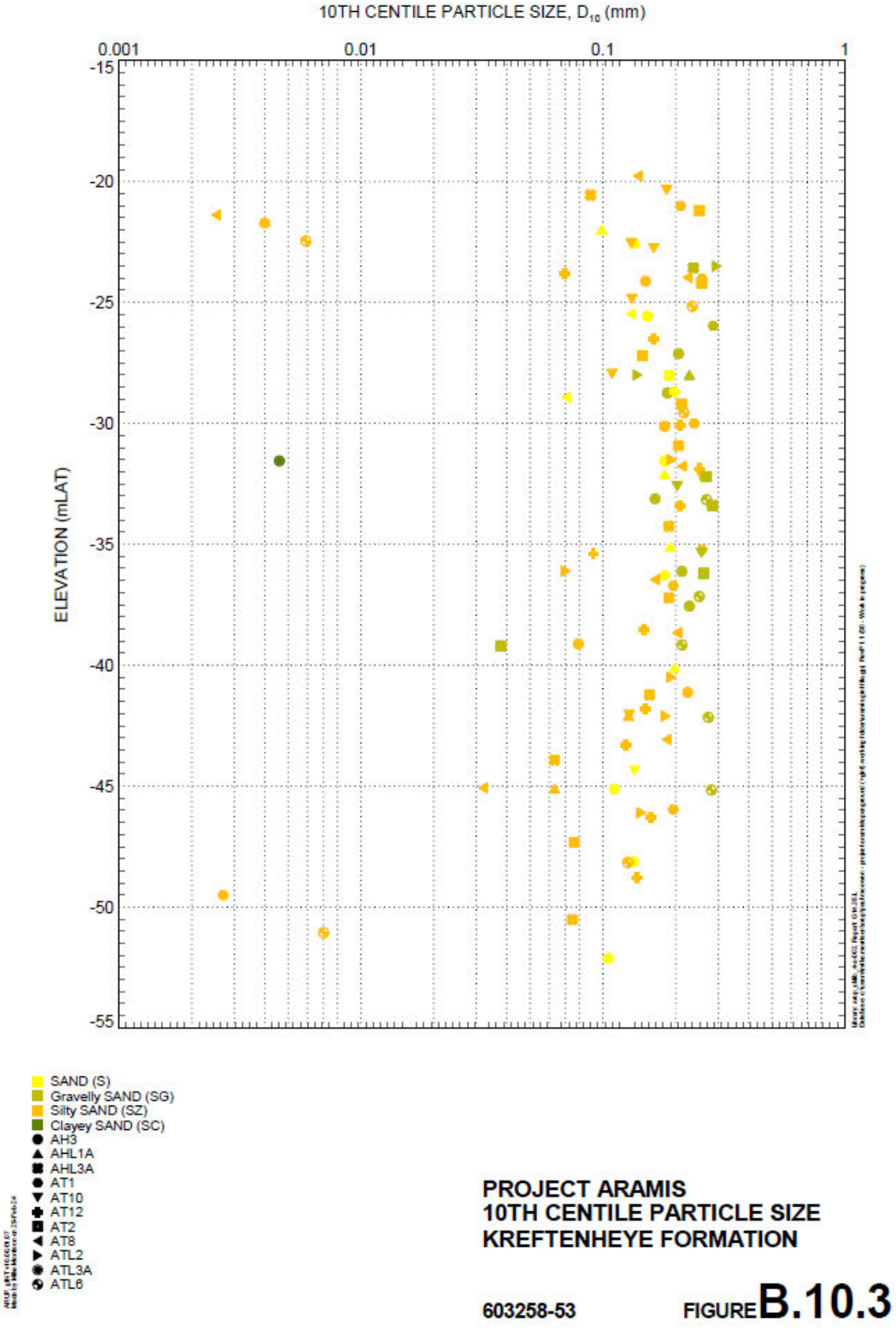


Figure B.10.3: D_{10} Particle Size - Kreftenheye Formation

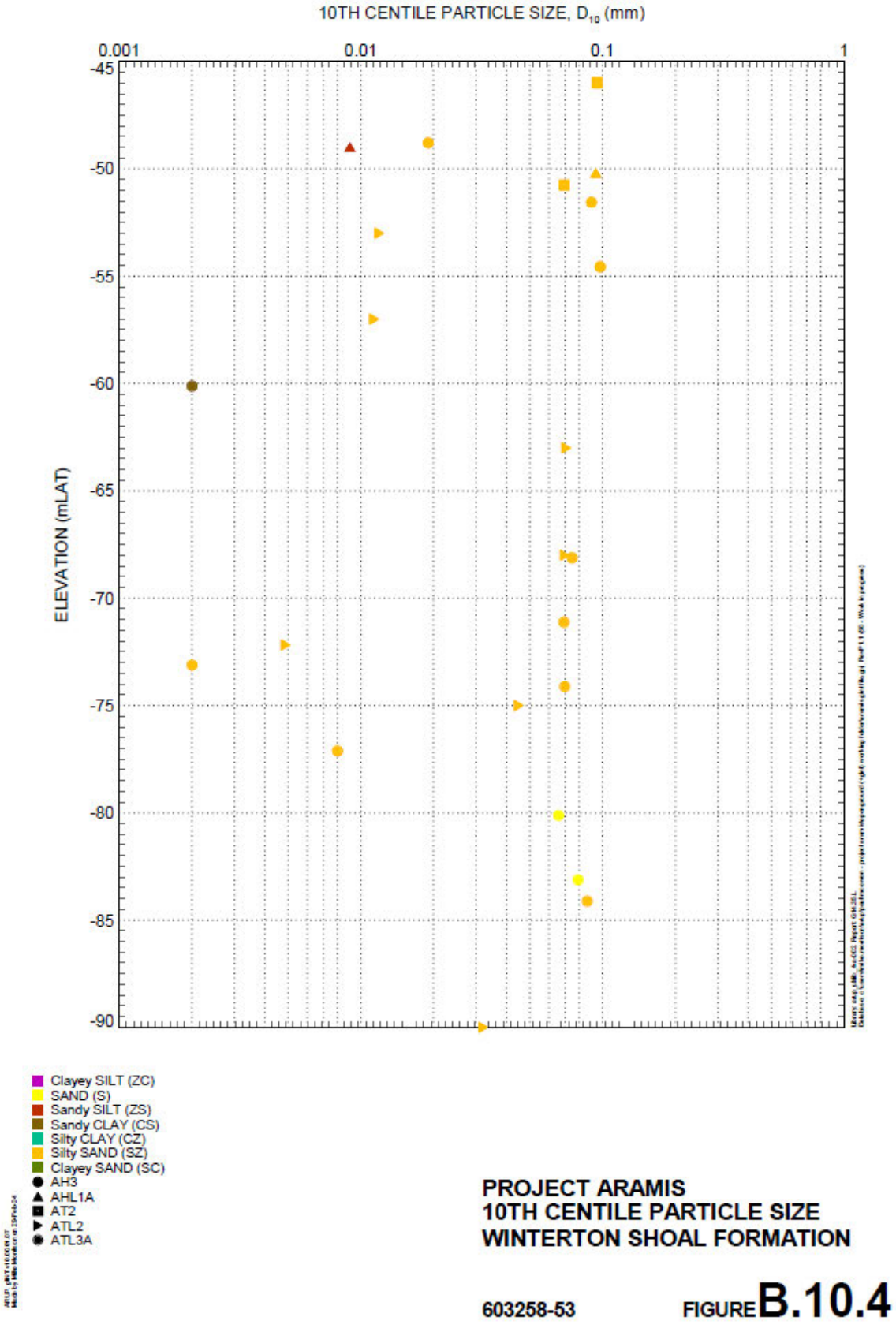
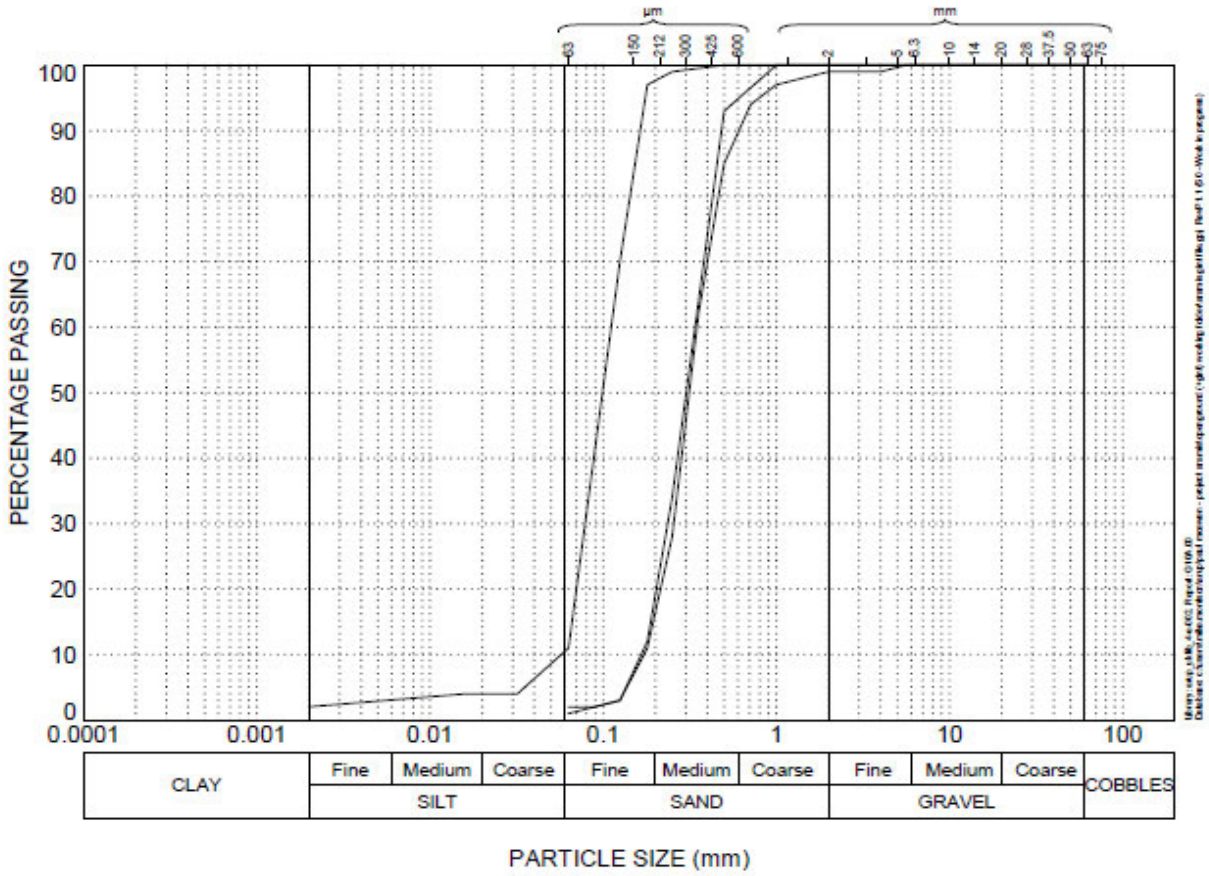


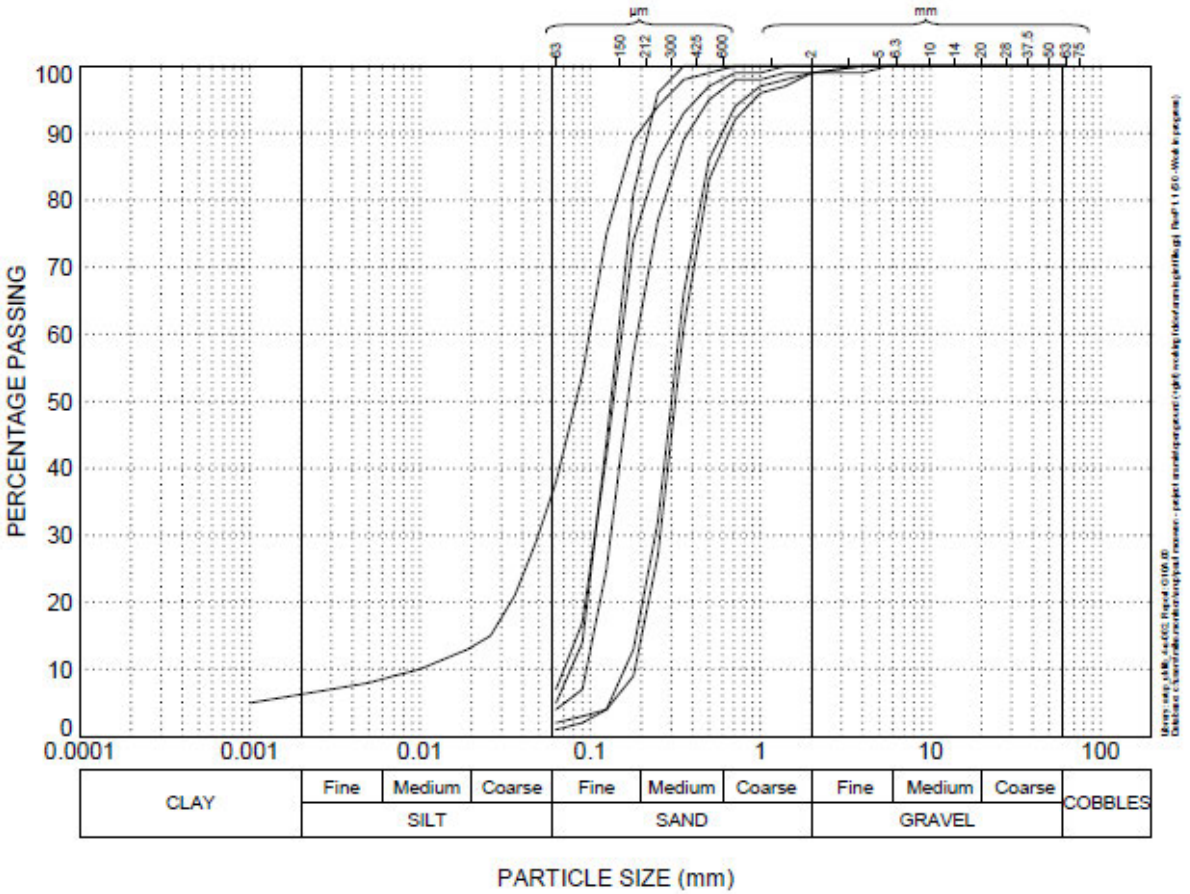
Figure B.10.4: D_{10} Particle Size - Winterton Shoal Formation

MADE GROUND



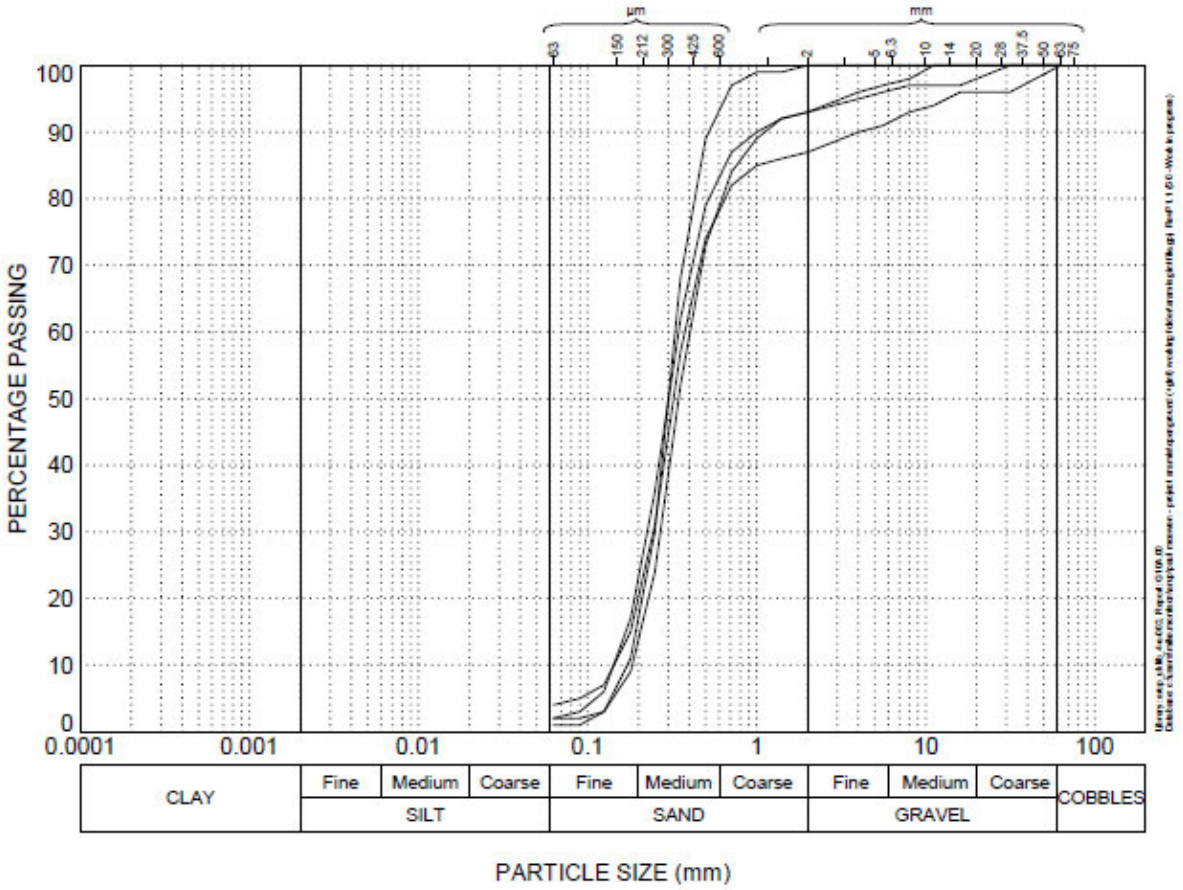
PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
MGR-S

Figure B.11.1: Made Ground PSD - Sand



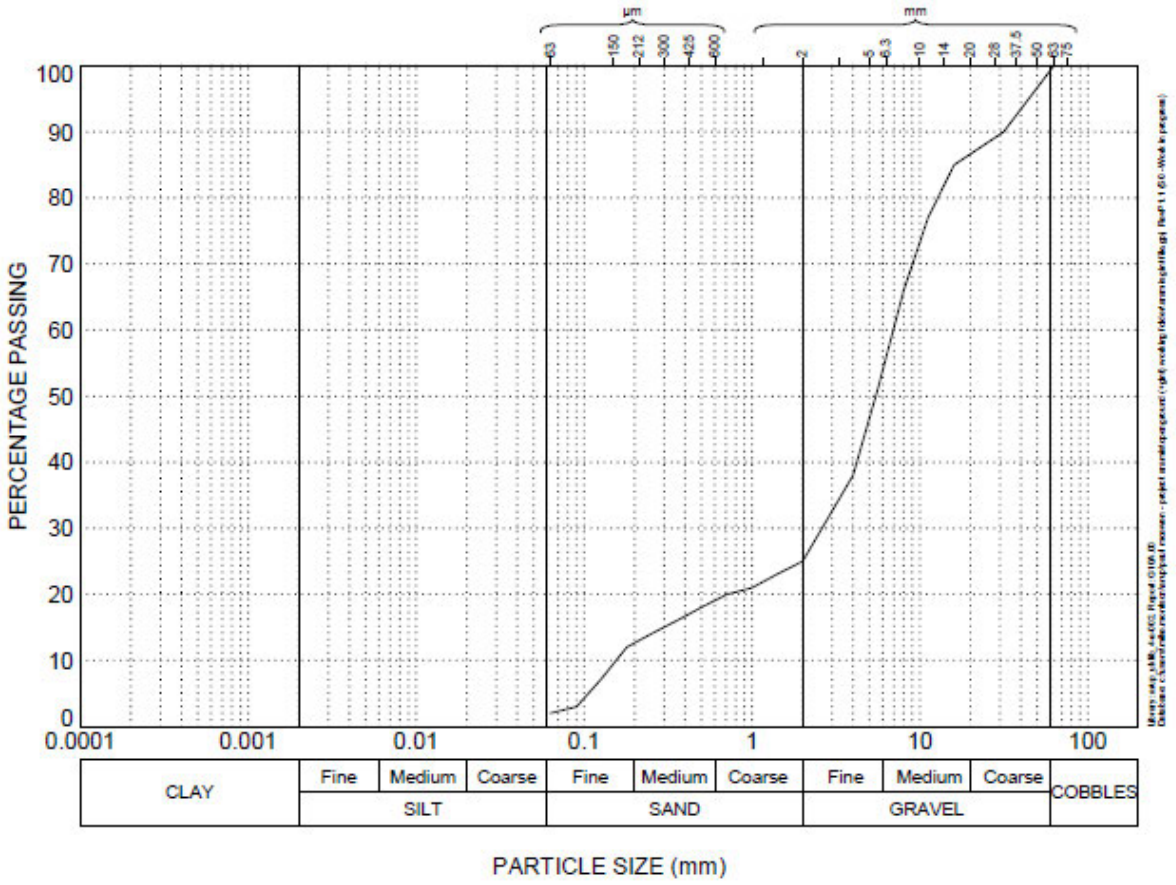
PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
MGR-SZ

Figure B.11.2: Made Ground PSD - Silty Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
MGR-SG

Figure B.11.3: Made Ground PSD - Gravelly Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
MGR-GS

Figure B.11.4 Made Ground PSD - Sandy Gravel

NAALDWIJK FORMATION

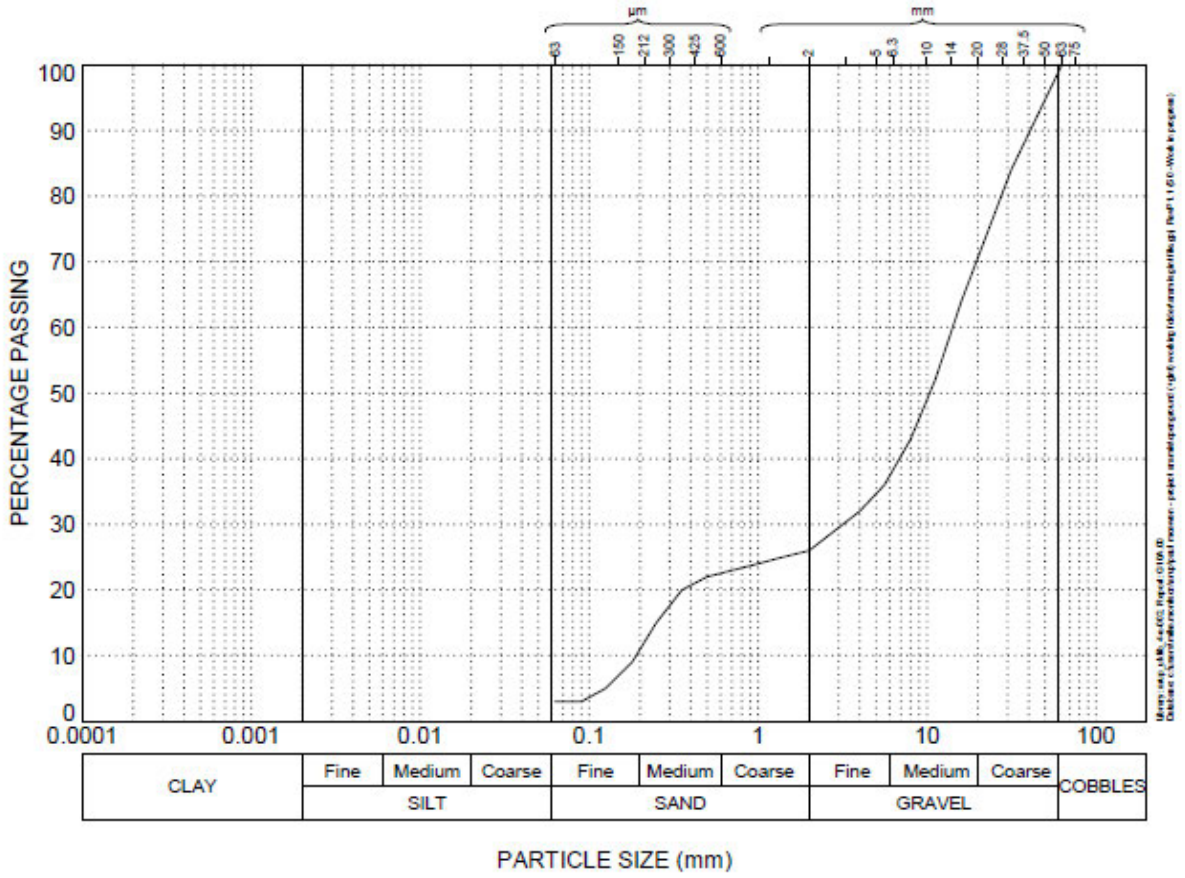
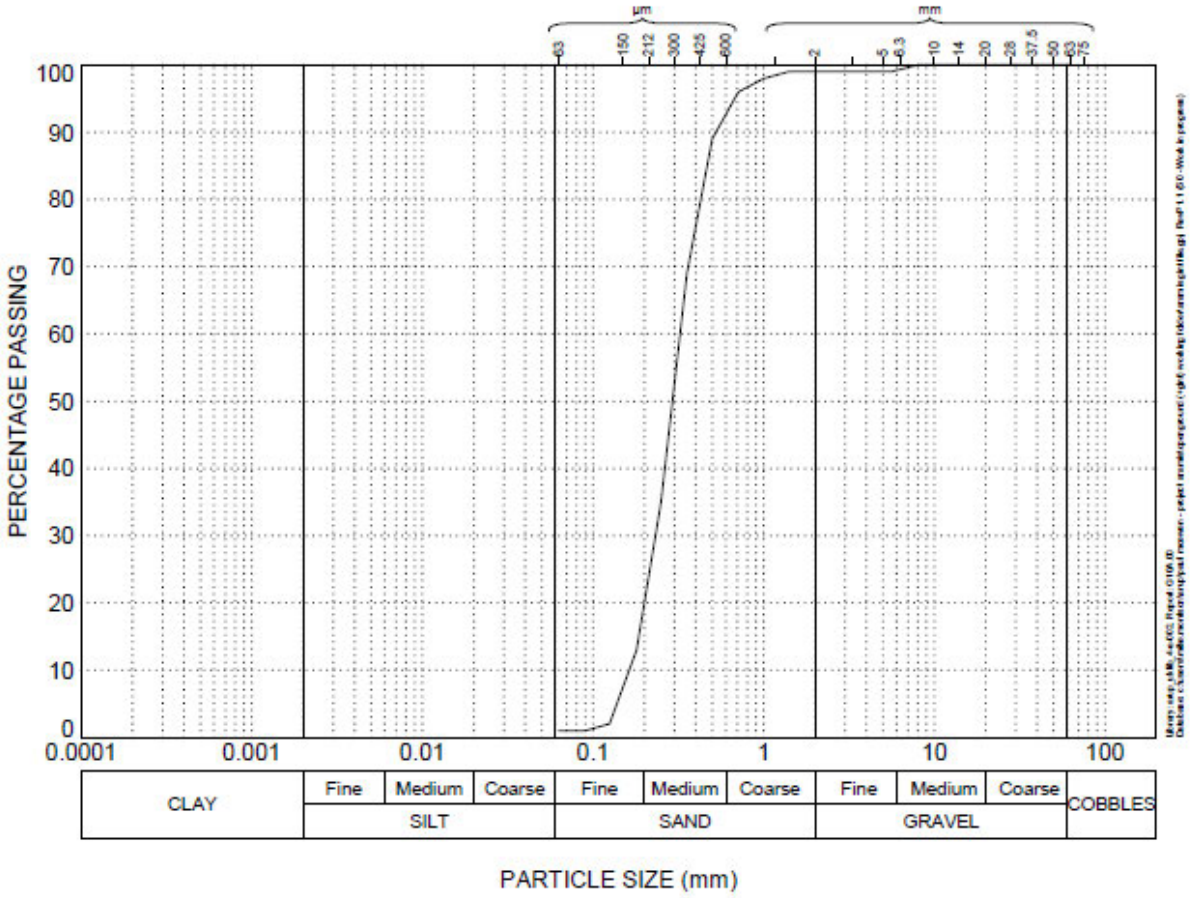
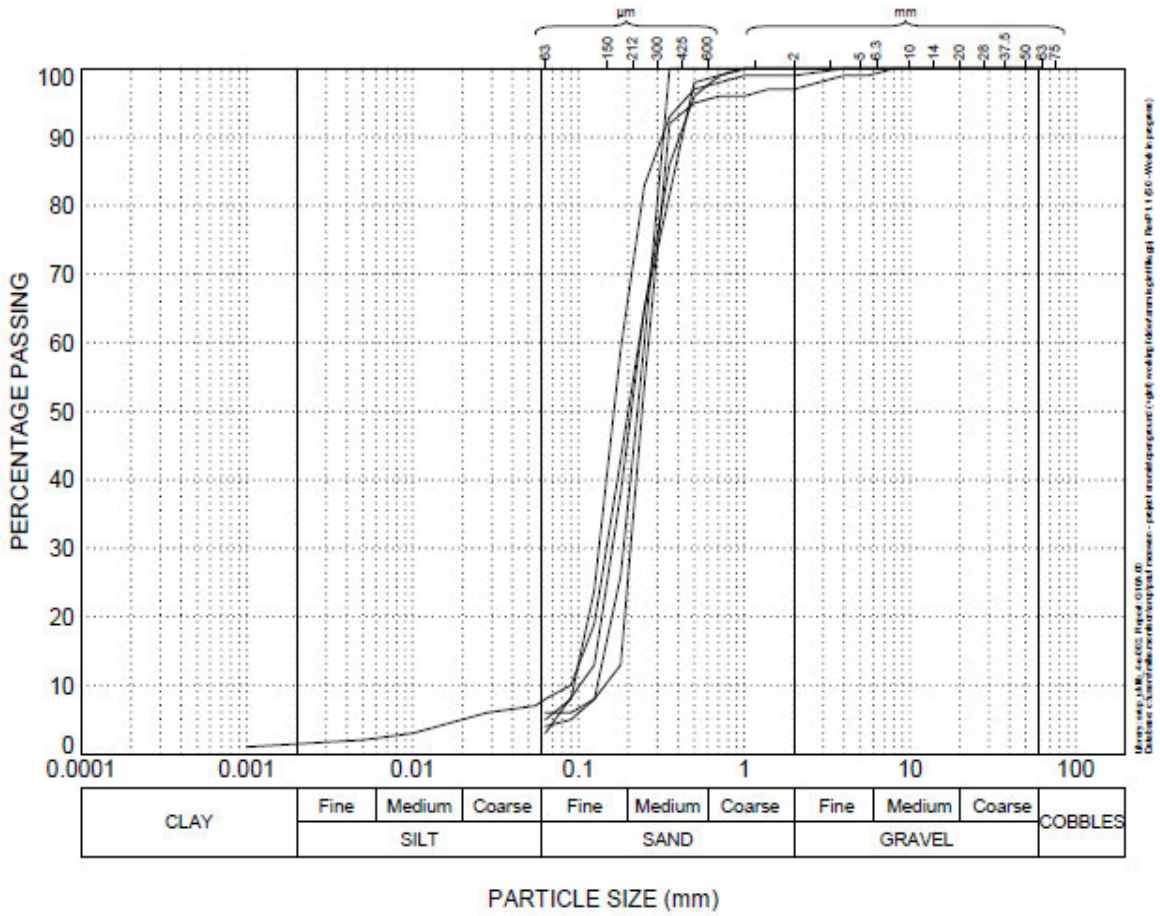


Figure B.12.1: Naaldwijk Formation PSD - Sandy Gravel



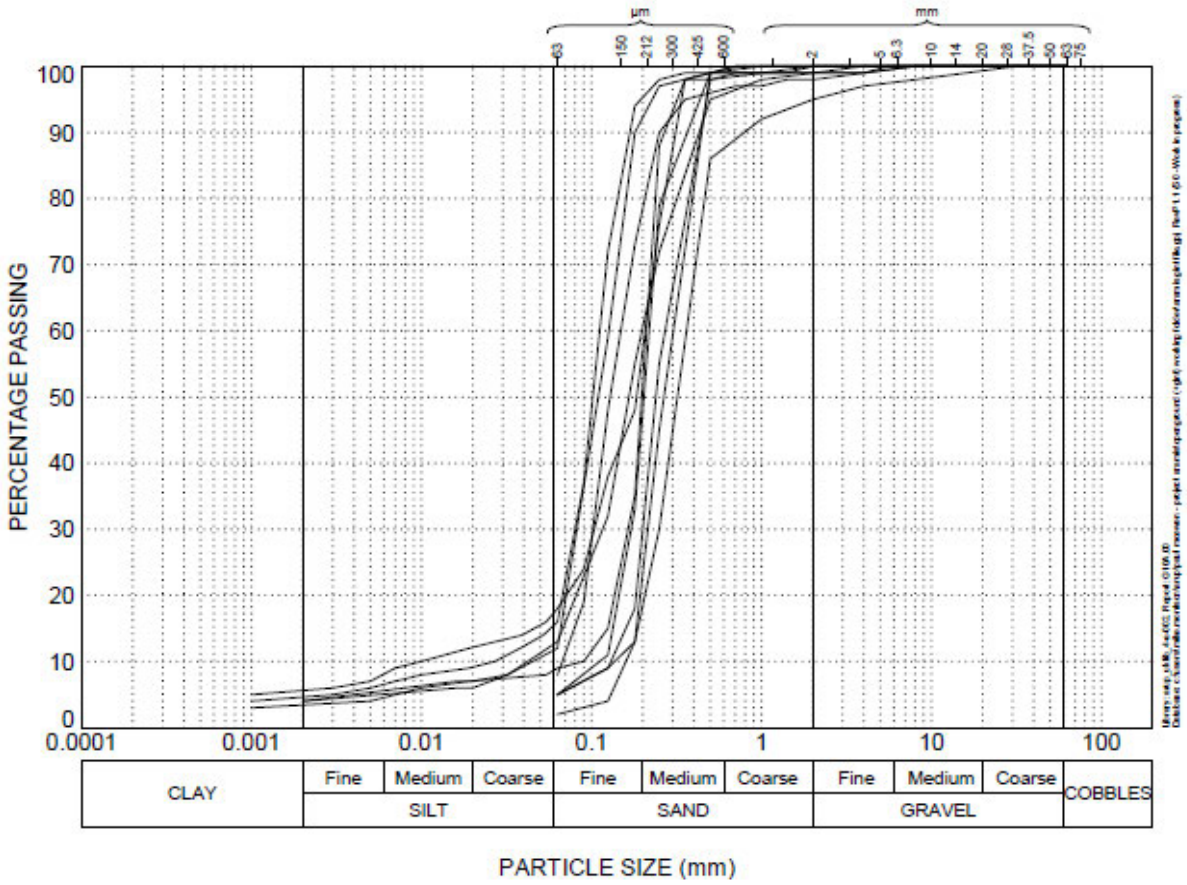
PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-SG

Figure B.12.2: Naaldwijk Formation PSD – Gravelly Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-S

Figure B.12.3: Naaldwijk Formation PSD - Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-SZ

Figure B.12.4: Naaldwijk Formation PSD -Silty Sand

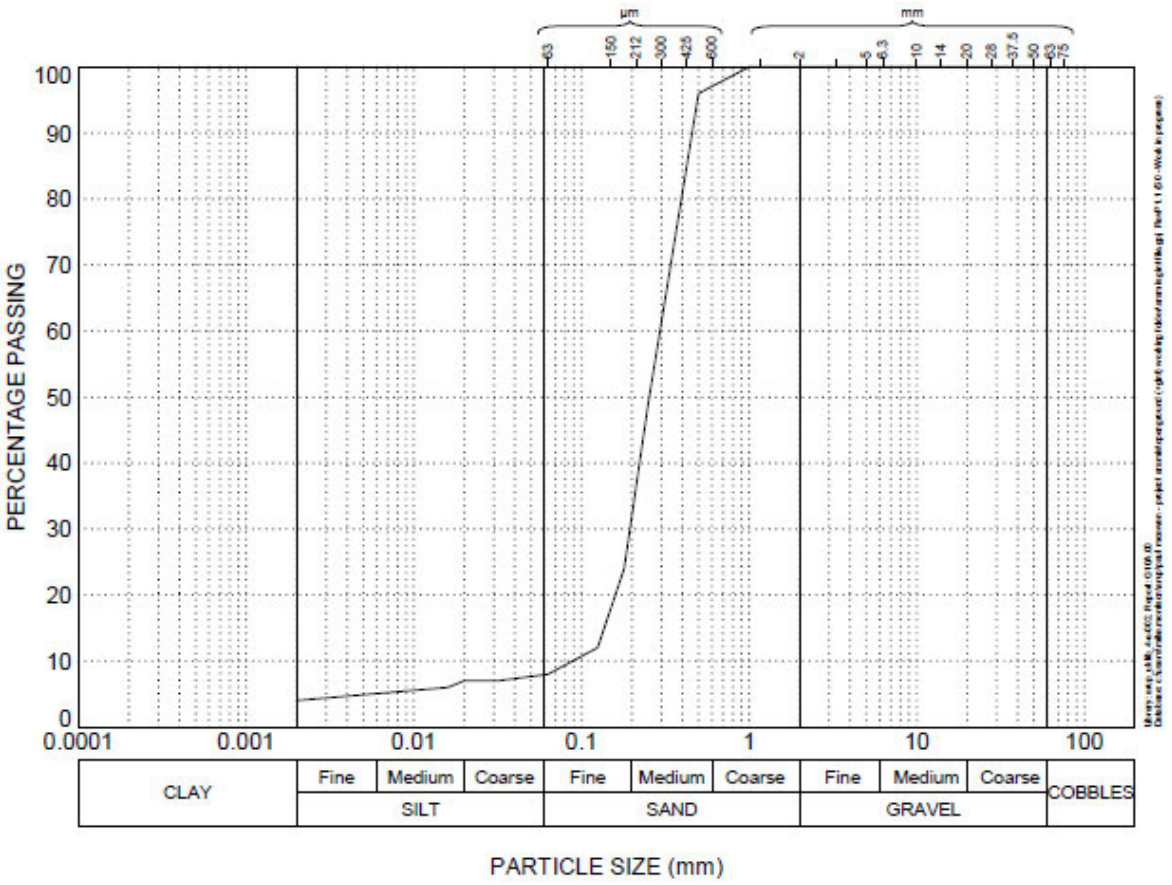


Figure B.12.5: Naaldwijk Formation PSD - Clayey Sand

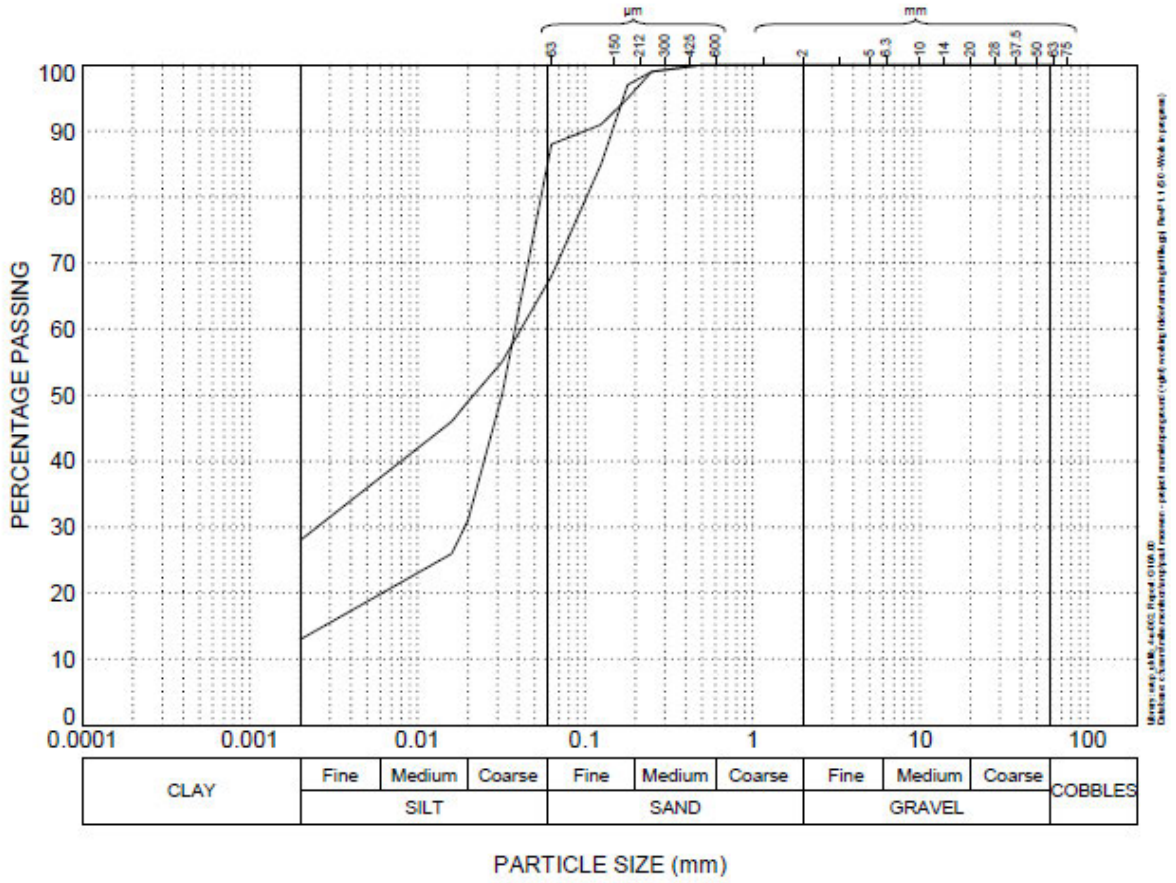


Figure B.12.6: Naaldwijk Formation PSD - Sandy Silt

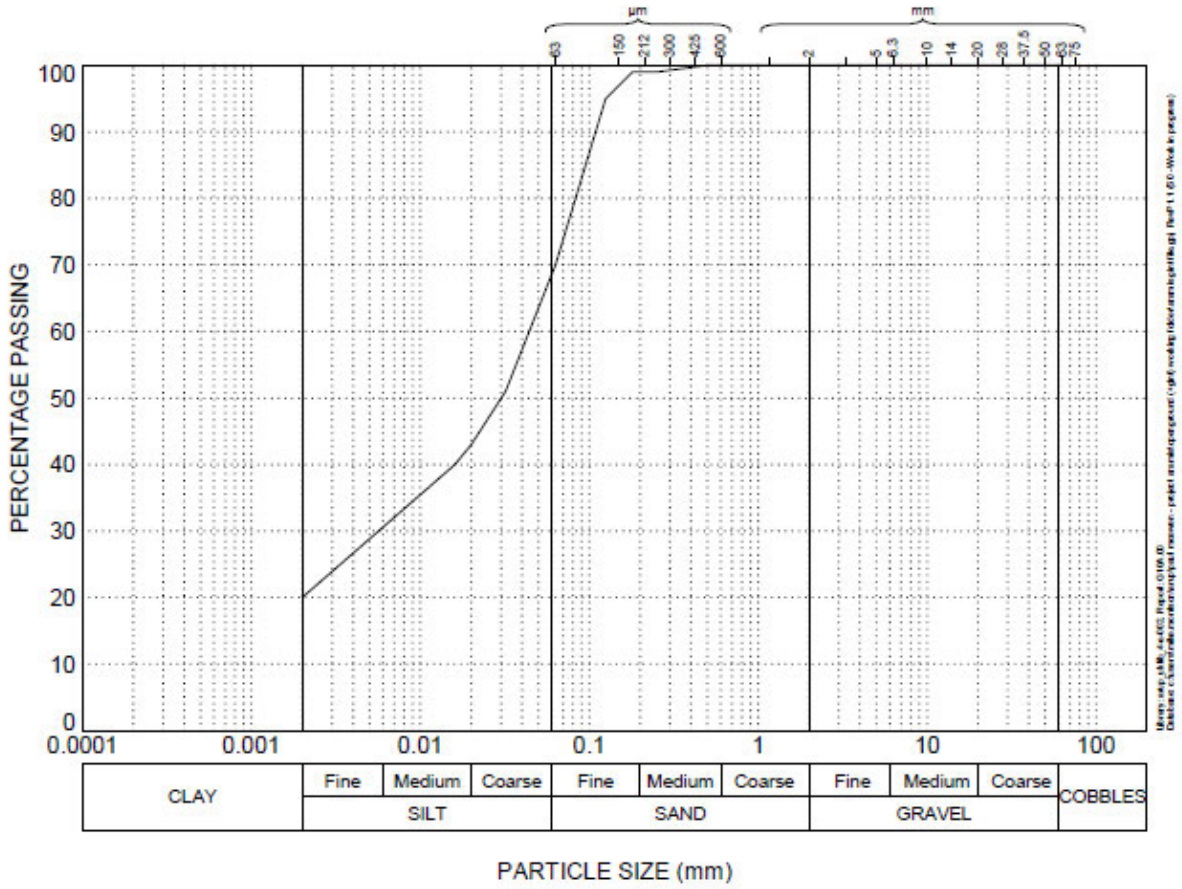
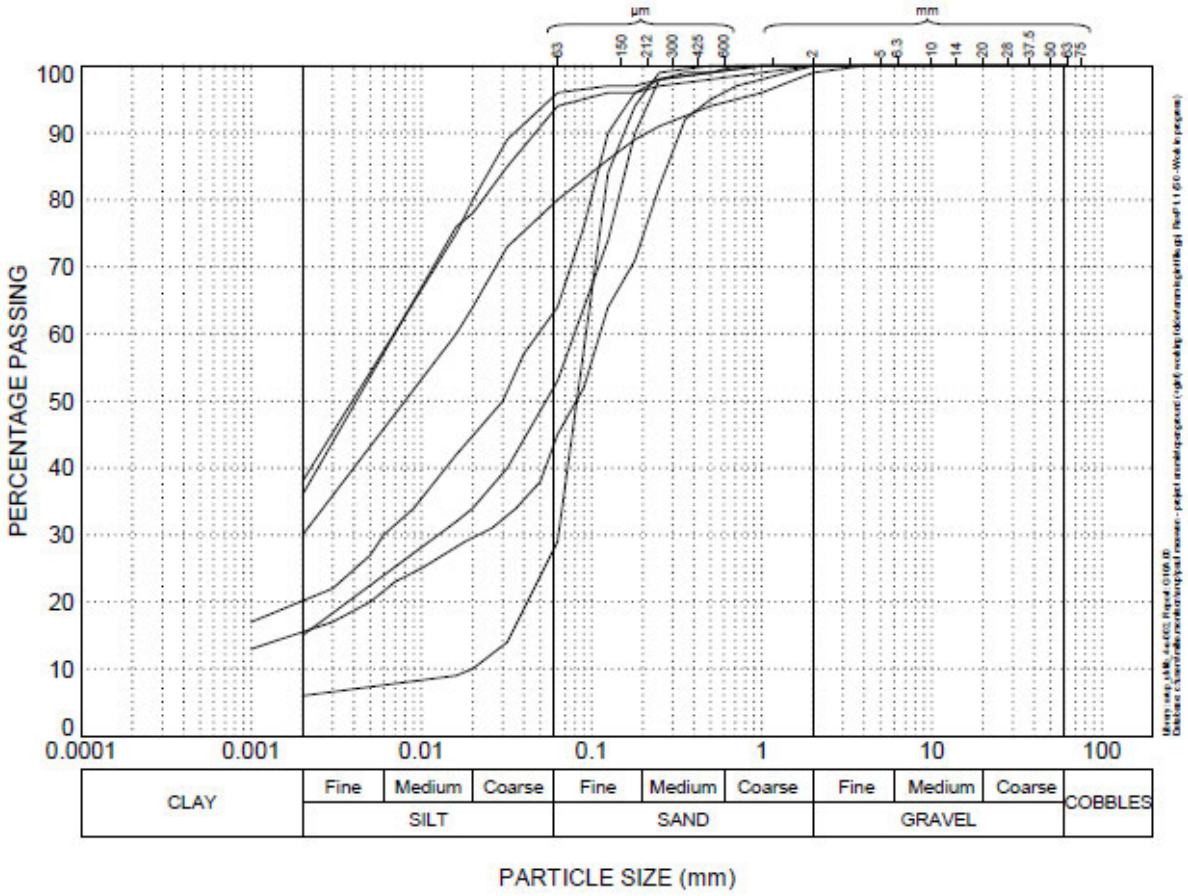
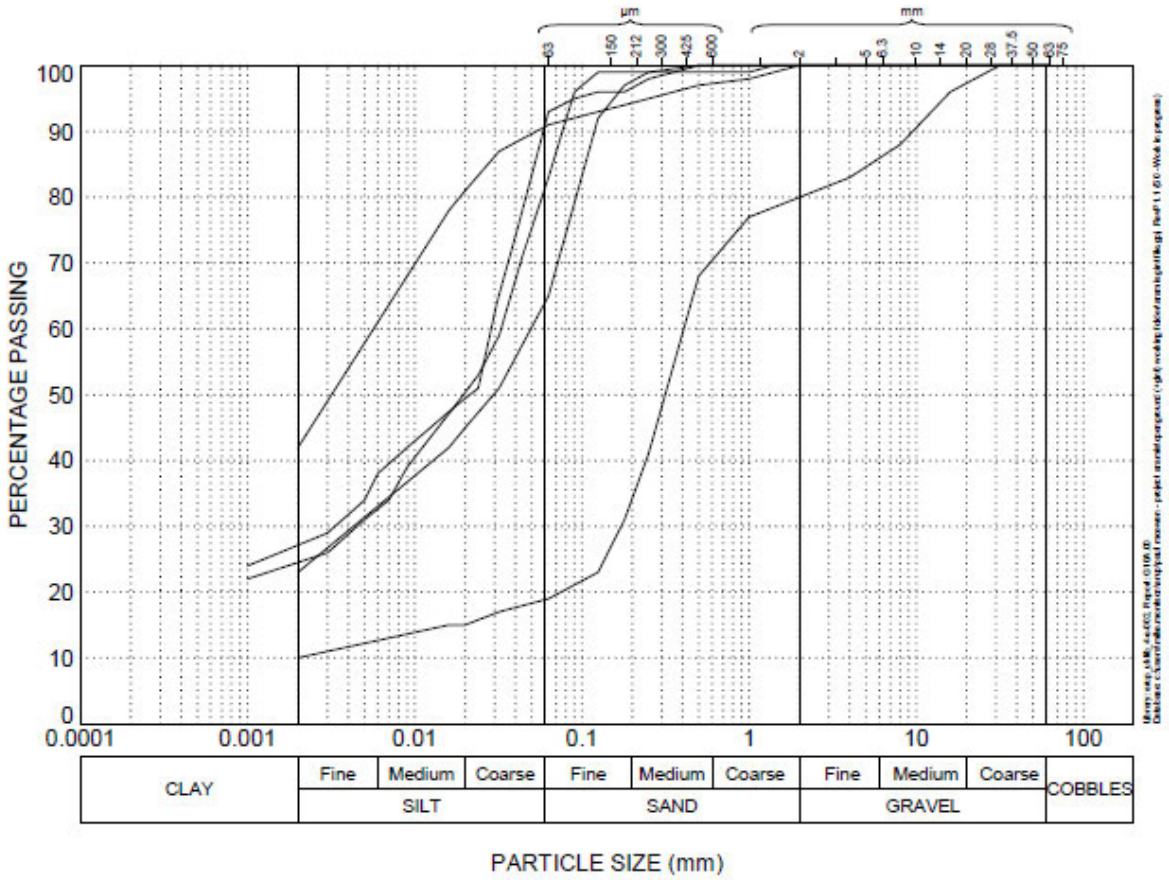


Figure B.12.7: Naaldwijk Formation PSD - Clayey Silt



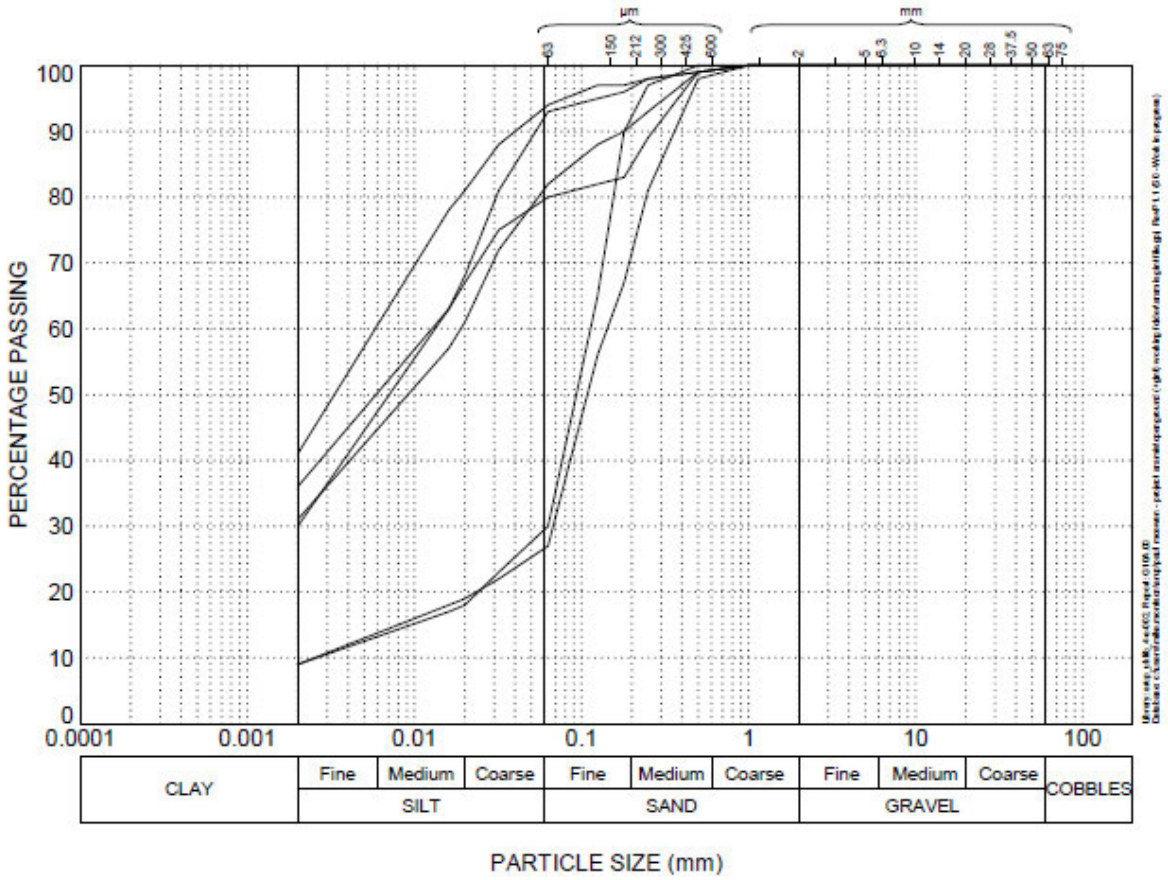
PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-C

Figure B.12.8: Naaldwijk Formation PSD - Clay



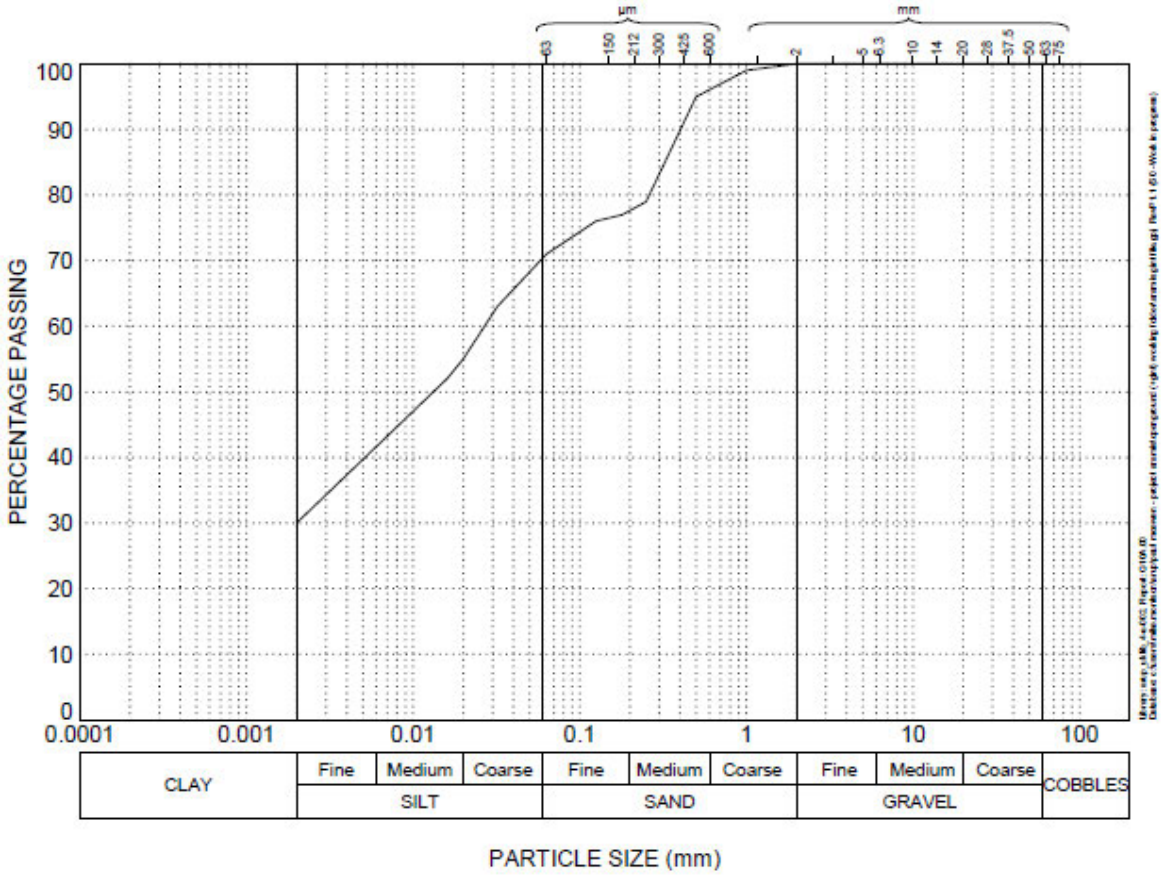
PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-CZ

Figure B.12.9: Naaldwijk Formation PSD - Silty Clay



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-CS

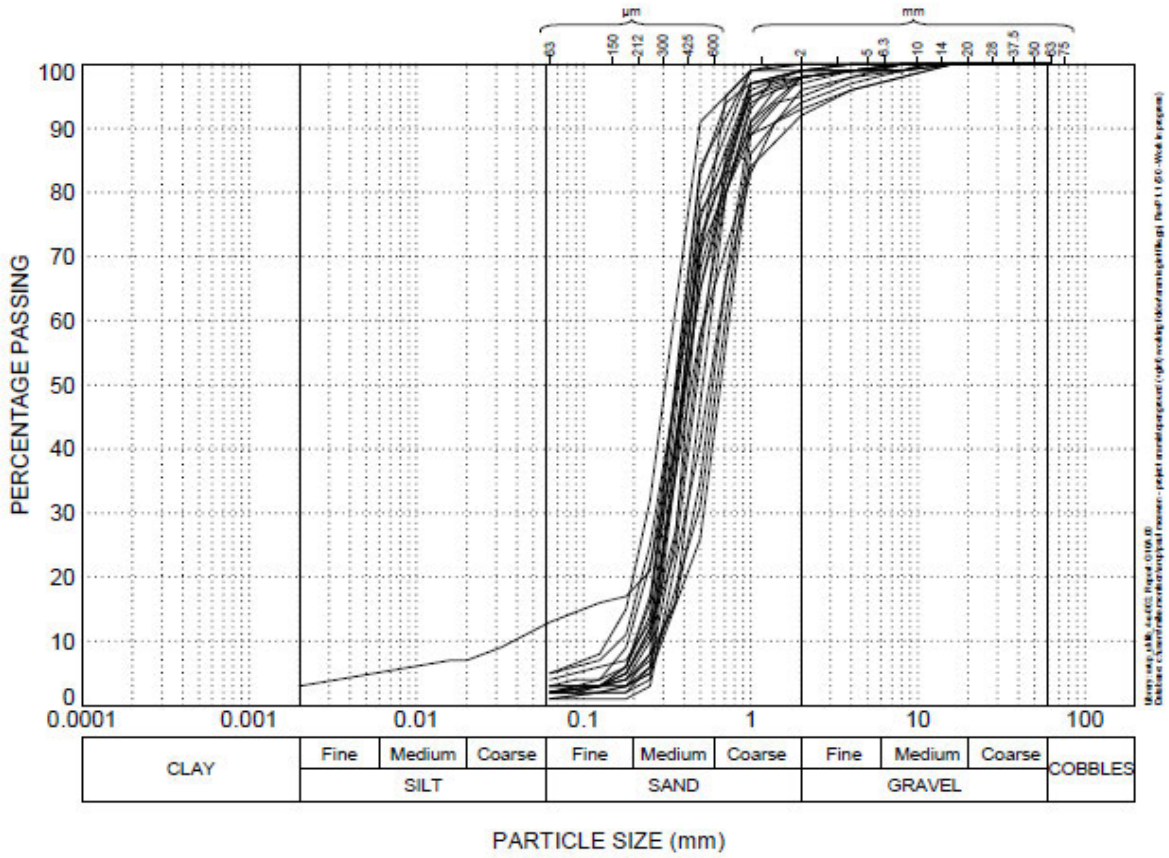
Figure B.12.10: Naaldwijk Formation PSD - Sandy Clay



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
NLD-P

Figure B.12.11: Naaldwijk Formation PSD - Peat

KREFTENHEYE FORMATION



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
KR-SG

Figure B.13.1: Kreftenheye Formation PSD - Gravelly Sand

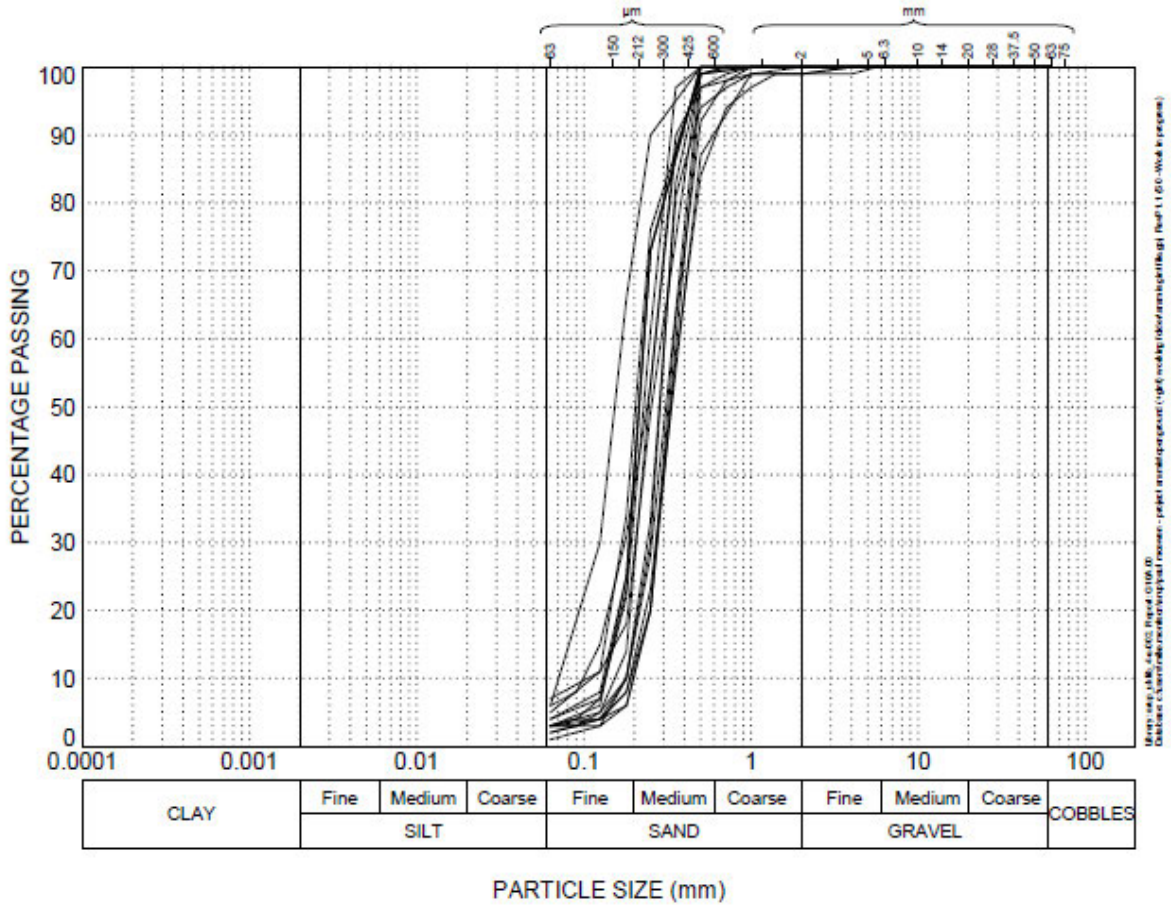
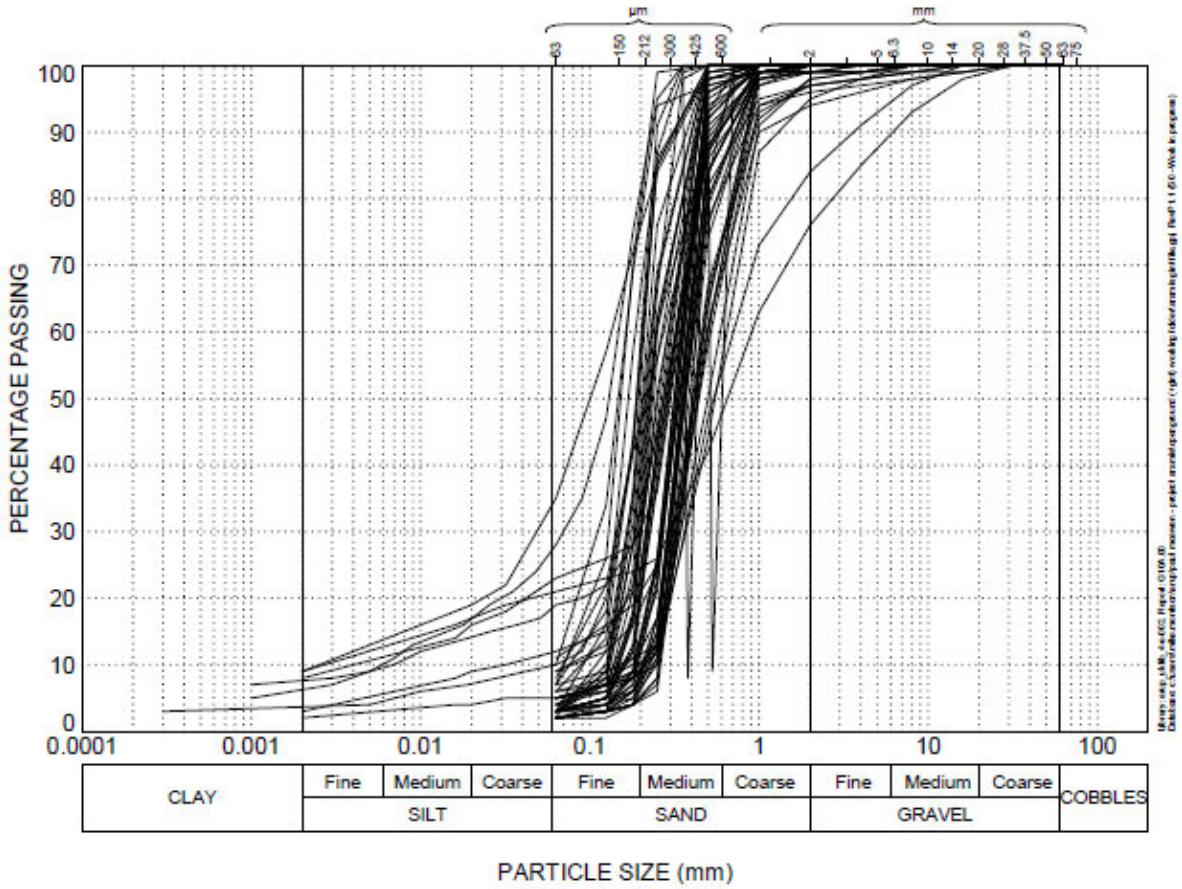
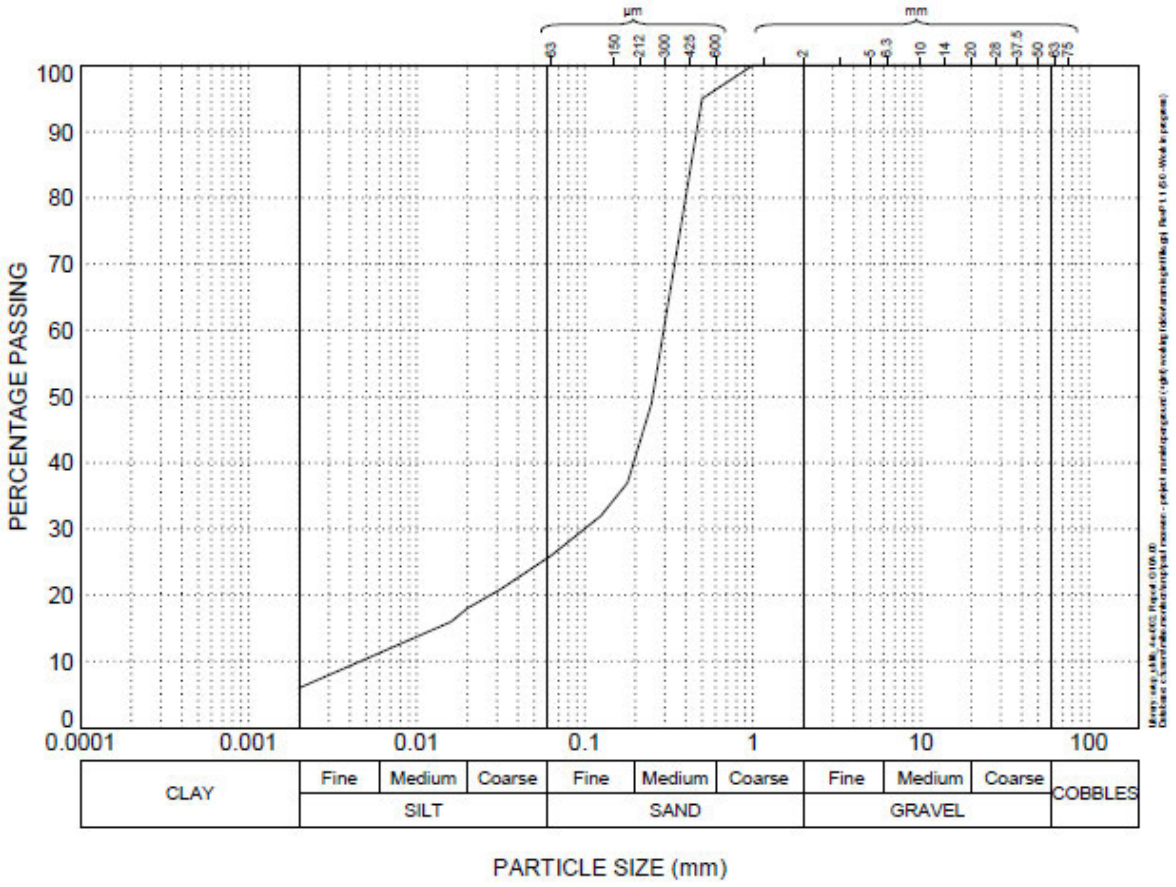


Figure B.13.2: Kreftenheye Formation PSD - Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
KR-SZ

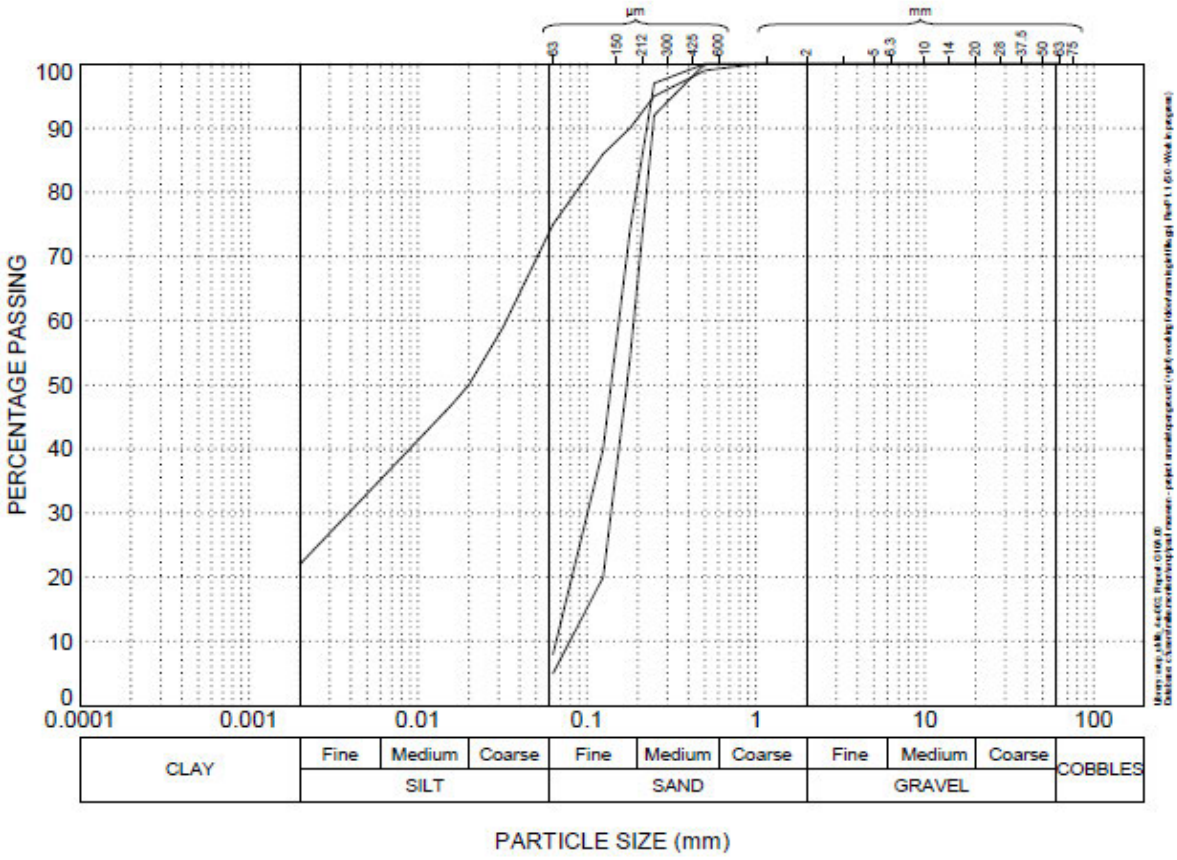
Figure B.13.3: Kreftenheye Formation PSD - Silty Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
KR-SC

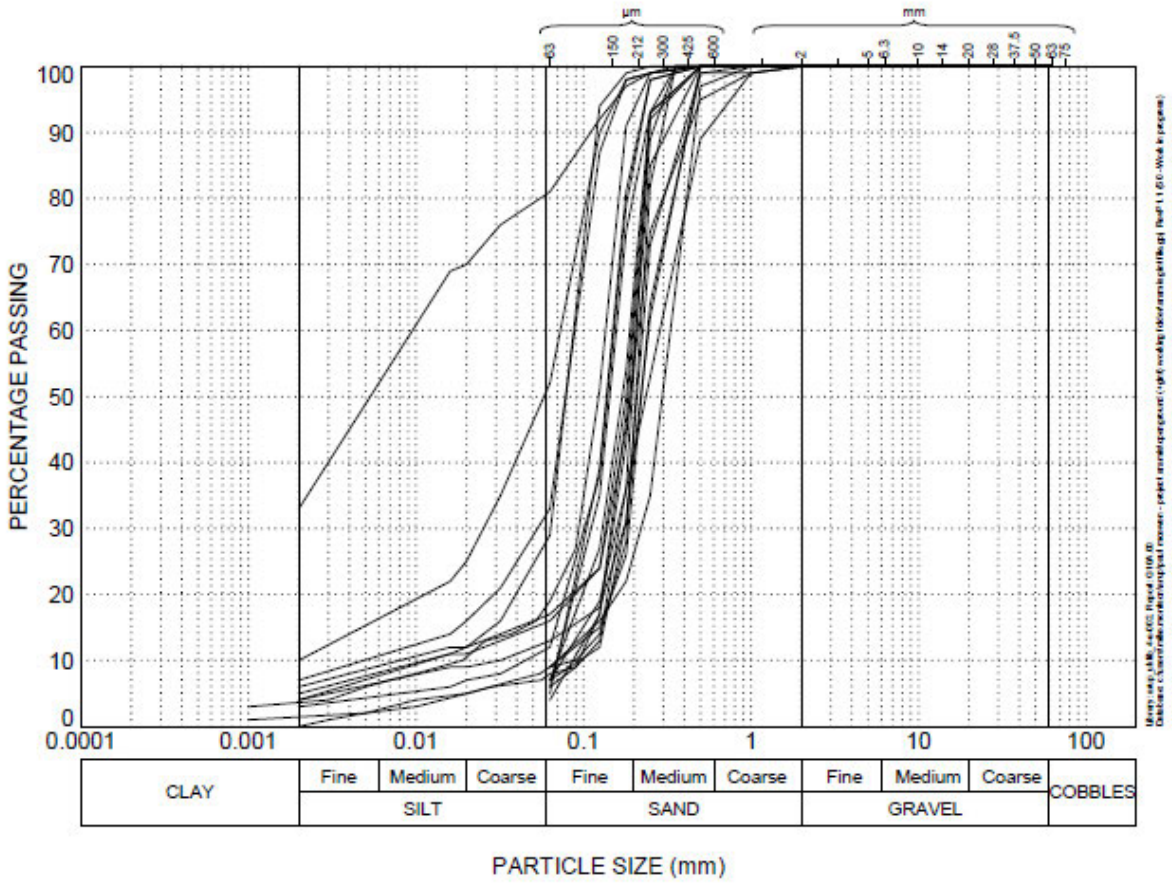
Figure B.13.4: Kreftenheye Formation PSD - Clayey Sand

WINTERTON SHOAL FORMATION



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
WN-S

Figure B.14.1: Winterton Shoal Formation PSD - Sand



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
WN-SZ

Figure B.14.2: Winterton Shoal Formation PSD - Silty Sand

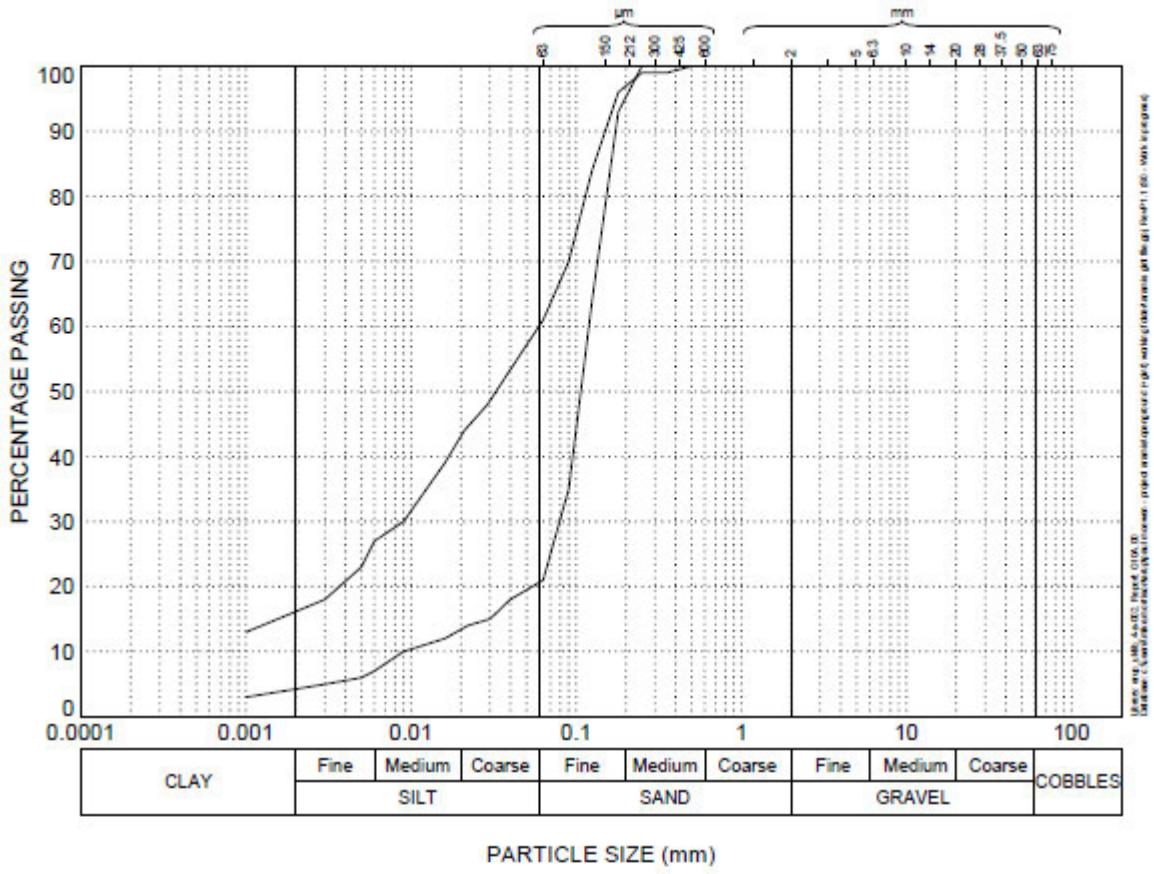
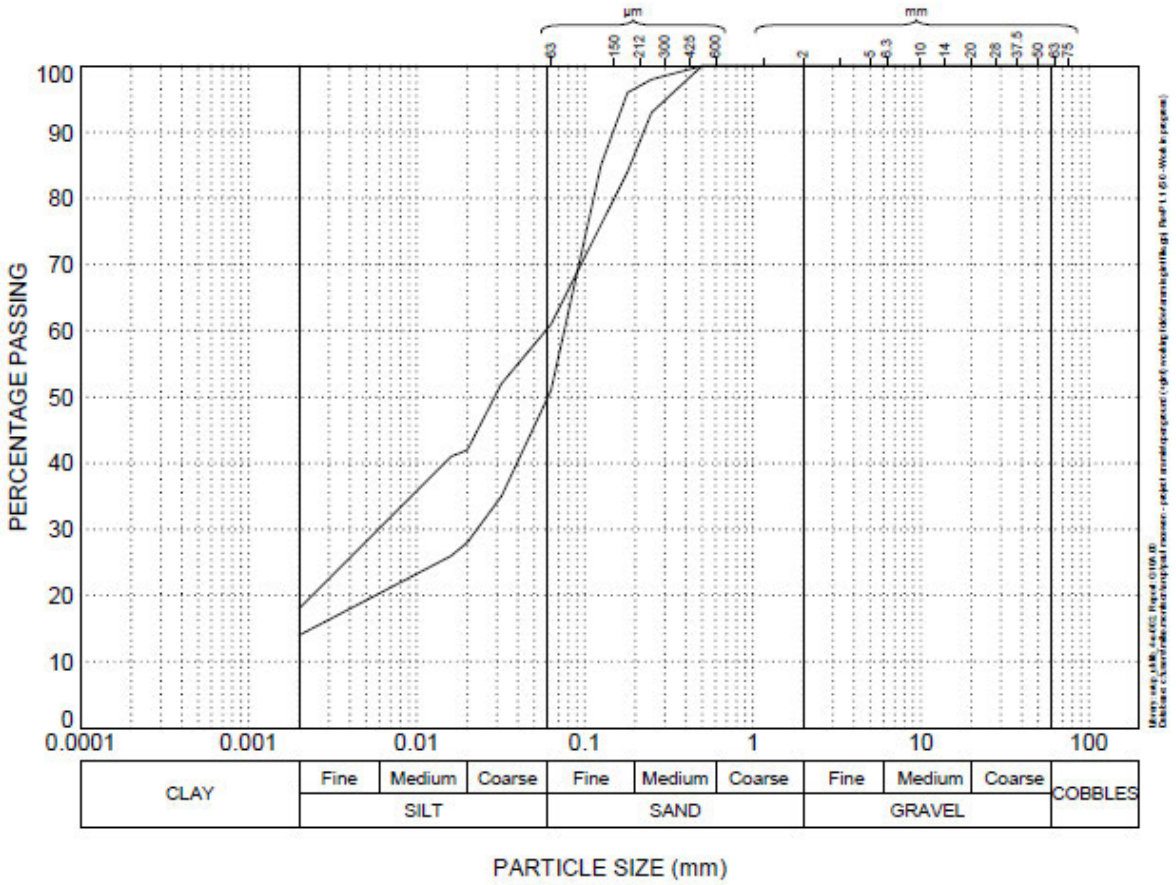
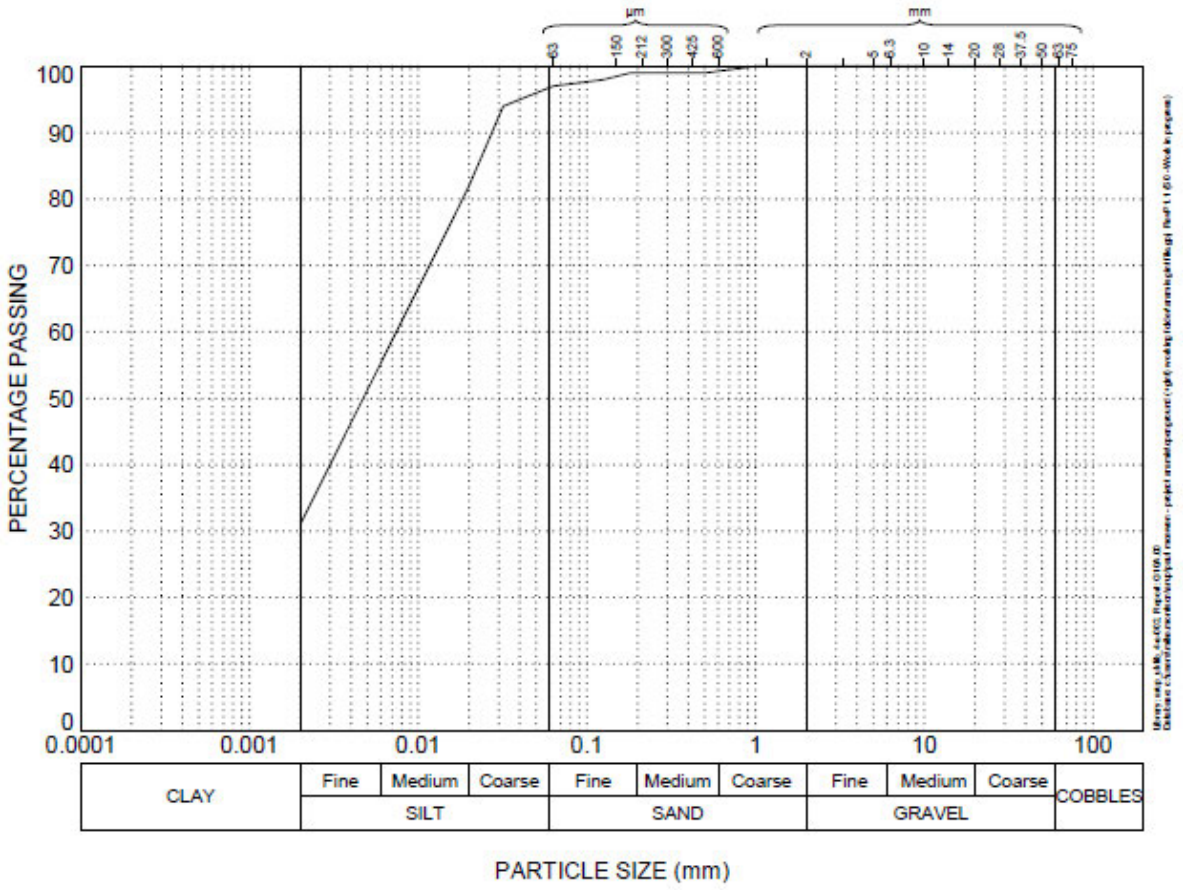


Figure B.14.3: Winterton Shoal Formation PSD - Sandy Silt



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
WN-ZC

Figure B.14.4: Winterton Shoal Formation PSD - Clayey Silt



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
WN-C

Figure B.14.5: Winterton Shoal Formation PSD - Clay

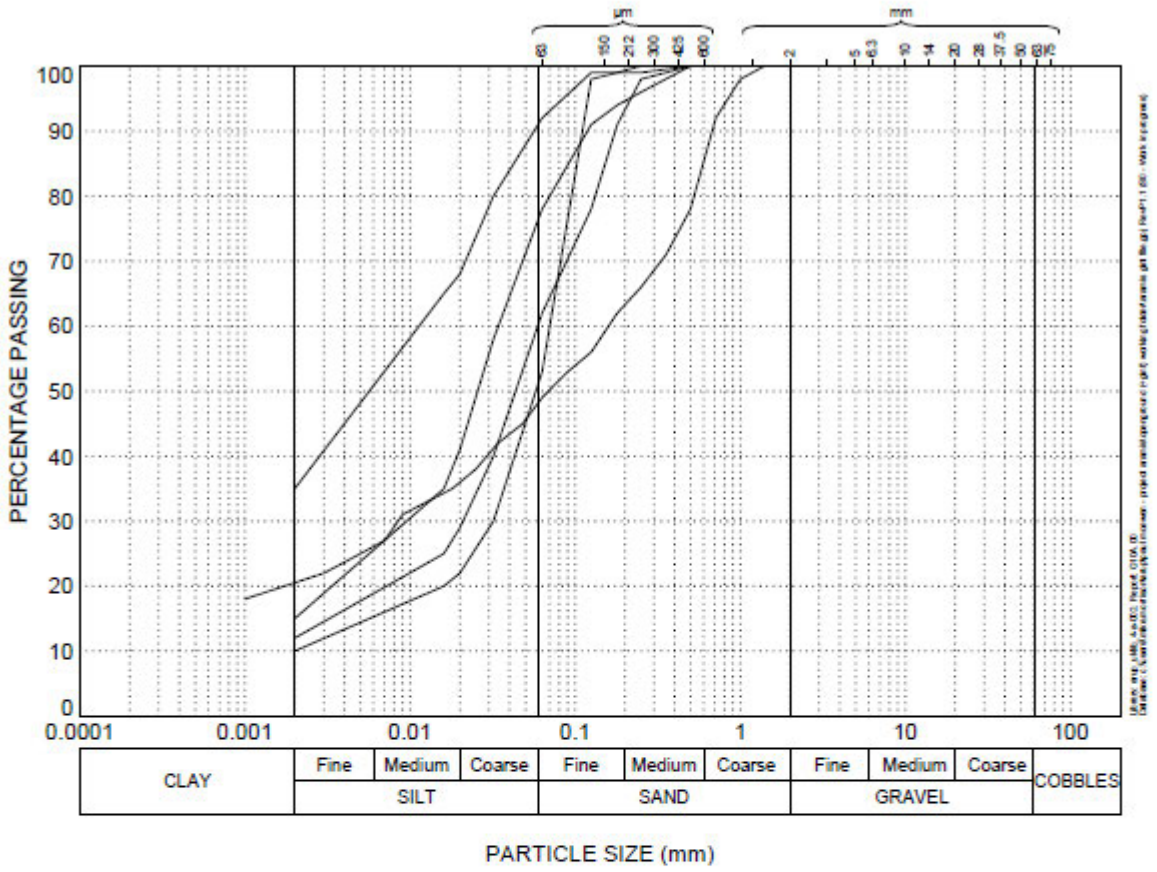
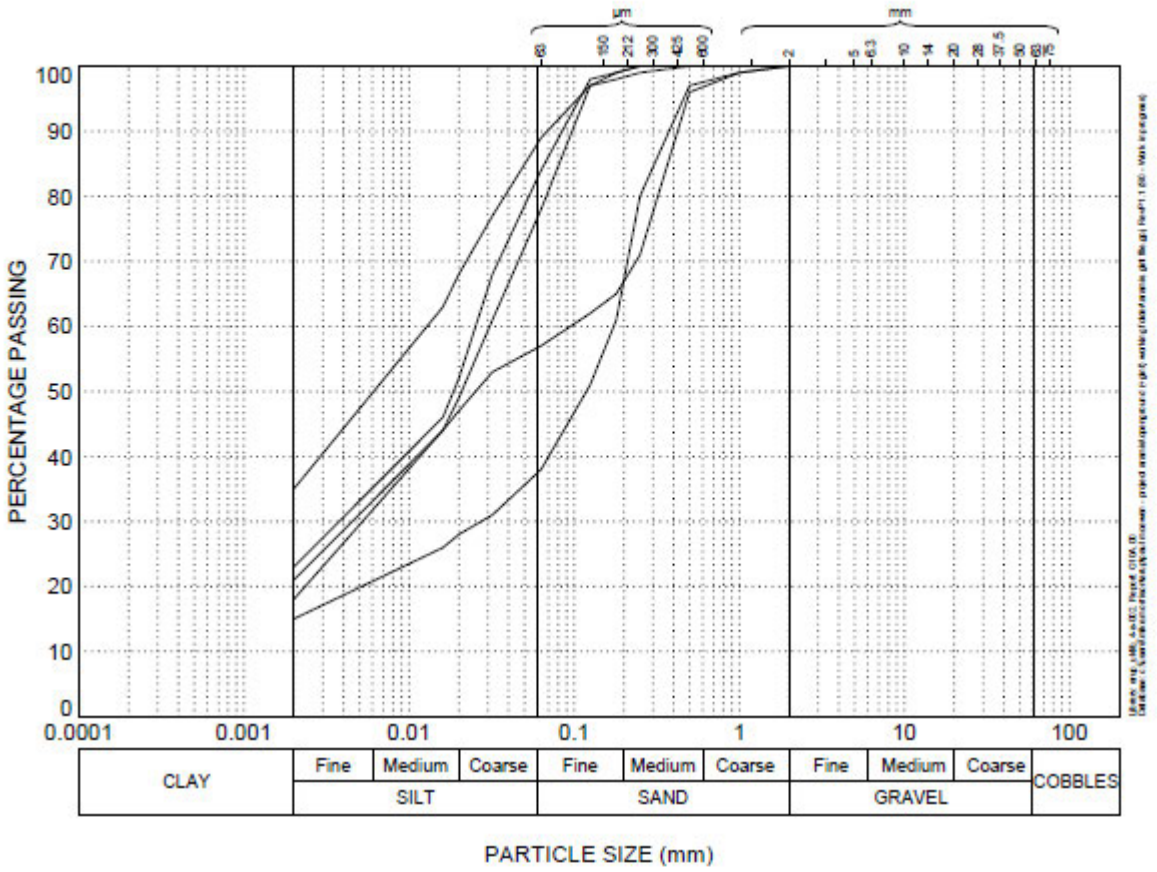


Figure B.14.6: Winterton Shoal Formation PSD - Sandy Clay



PROJECT ARAMIS
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
WN-CZ

Figure B.14.7: Winterton Shoal Formation PSD - Silty Clay

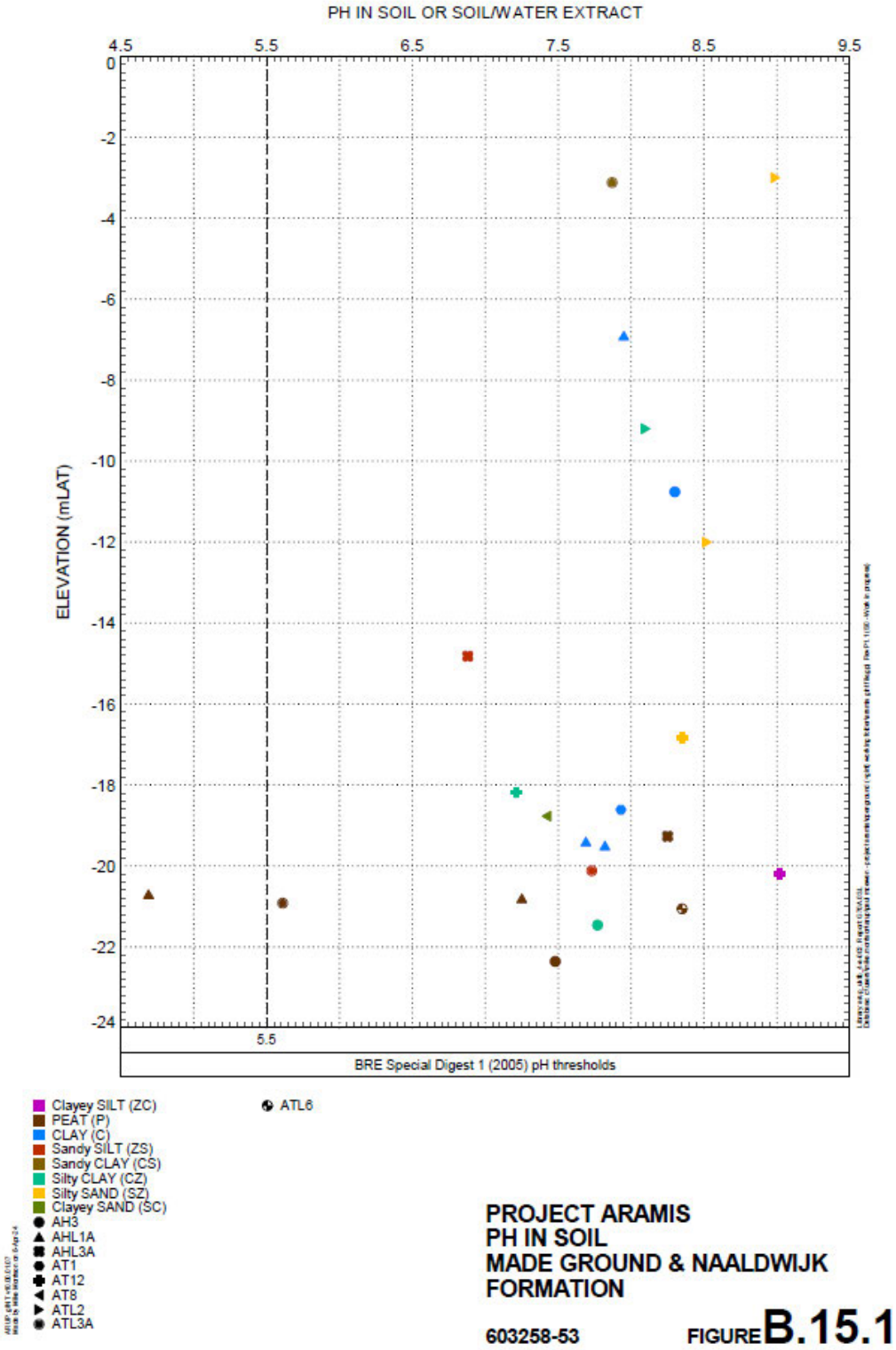


Figure B.15.1: Made Ground and Naaldwijk Formation – Soil pH

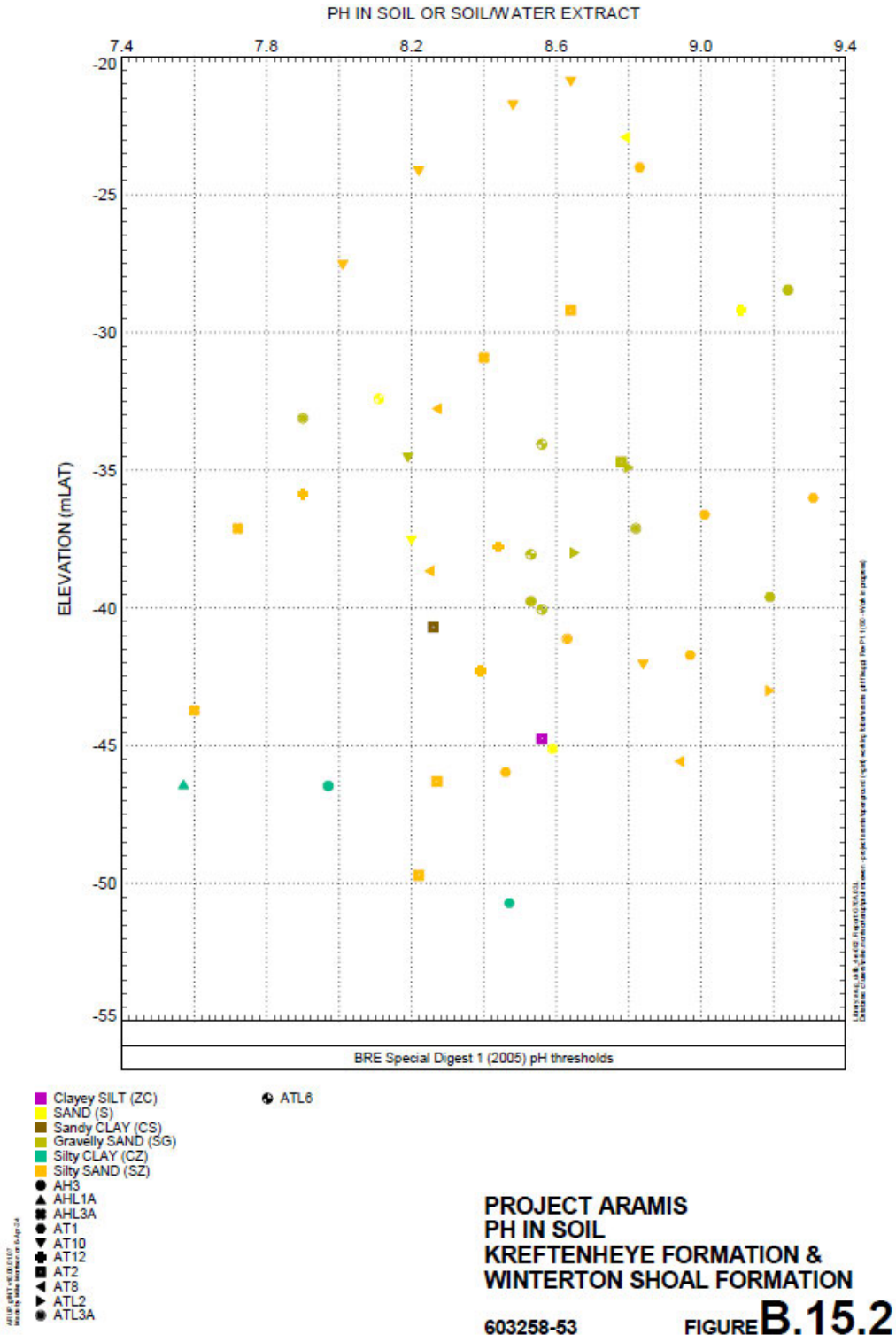


Figure B.15.2: Kreftenheye and Winterton Shoal Formations – Soil pH

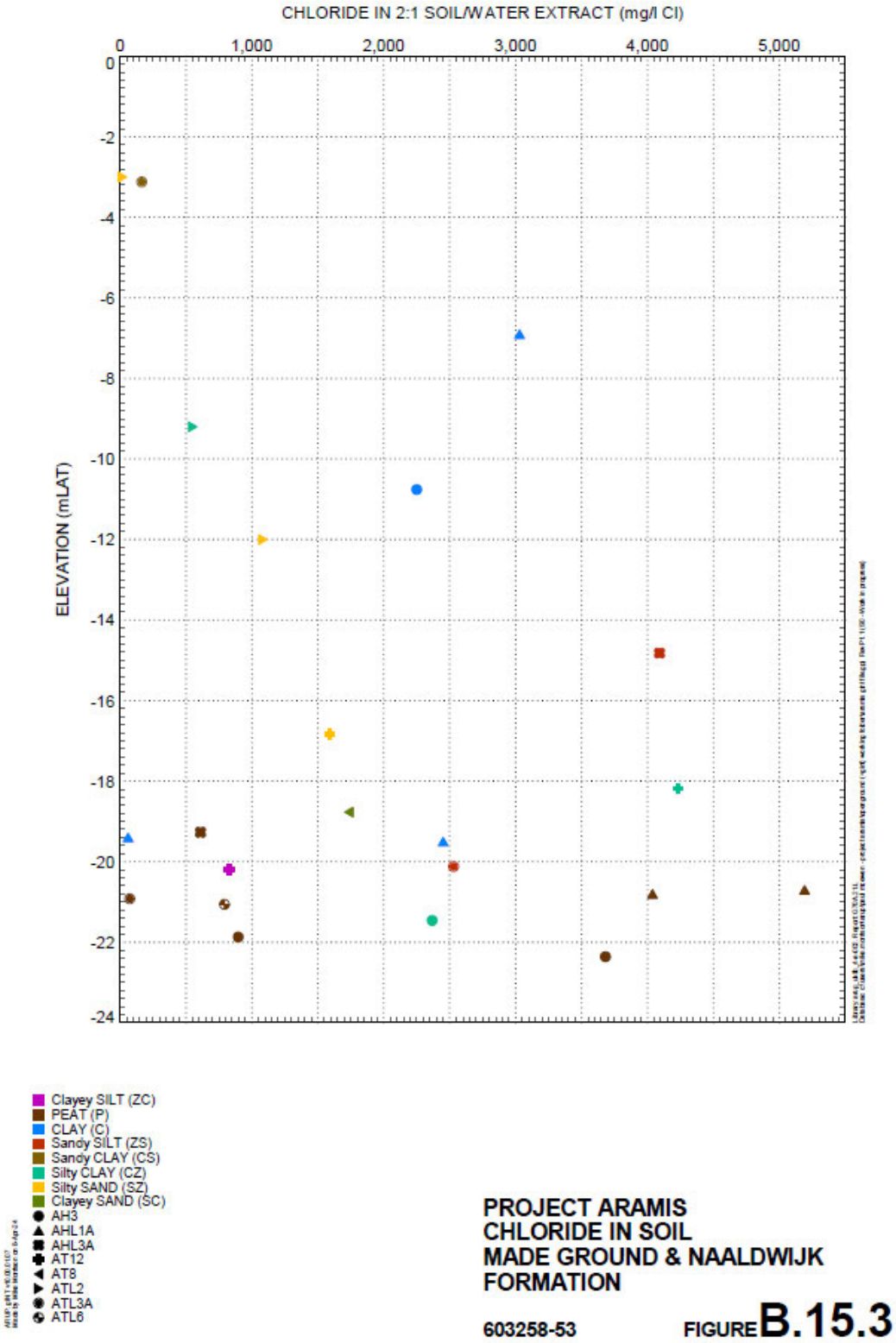


Figure B.15.3: Made Ground and Naaldwijk Formation – Soil Chloride

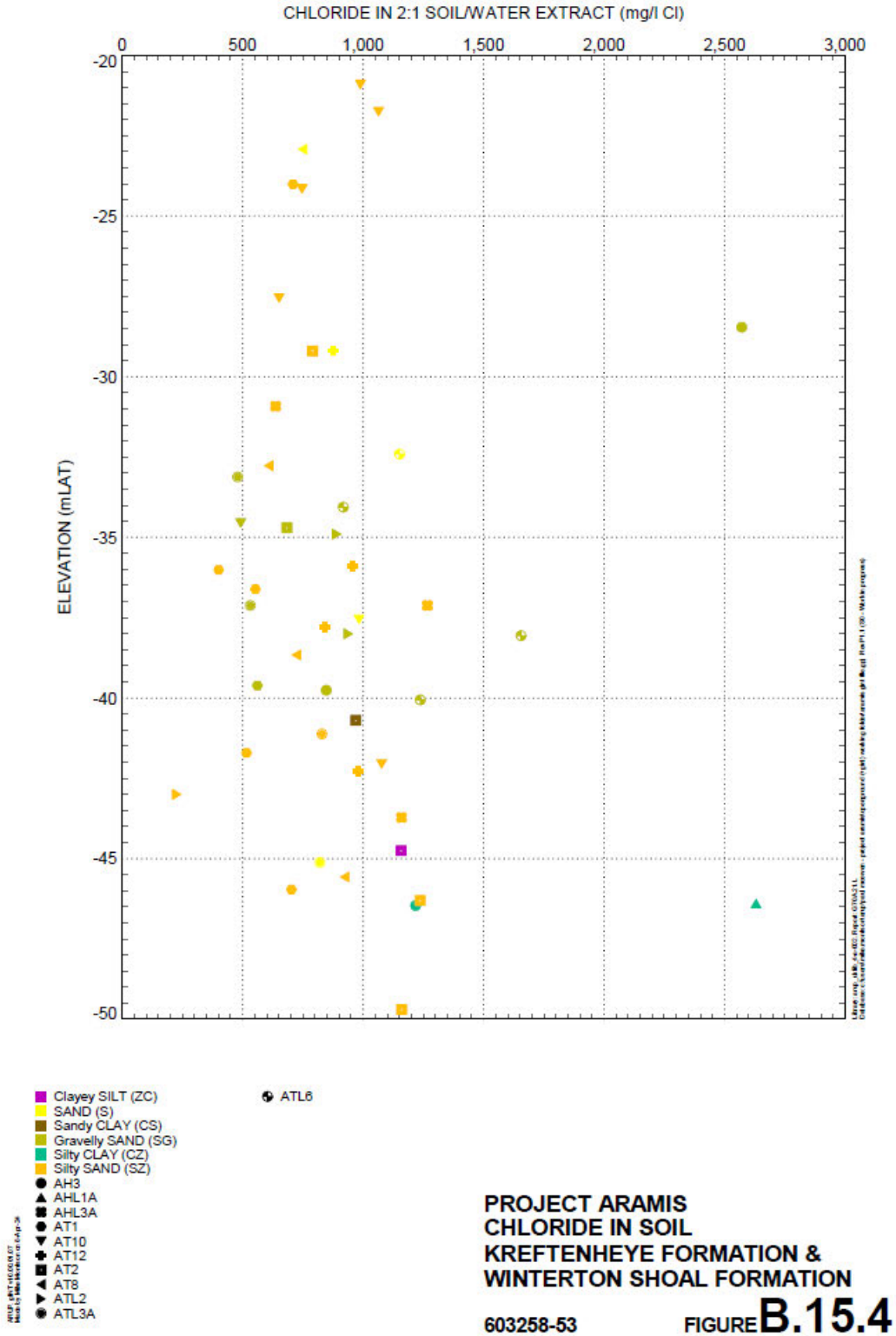


Figure B.15.4: Kreftenheye and Winterton Shoal Formations – Soil Chloride

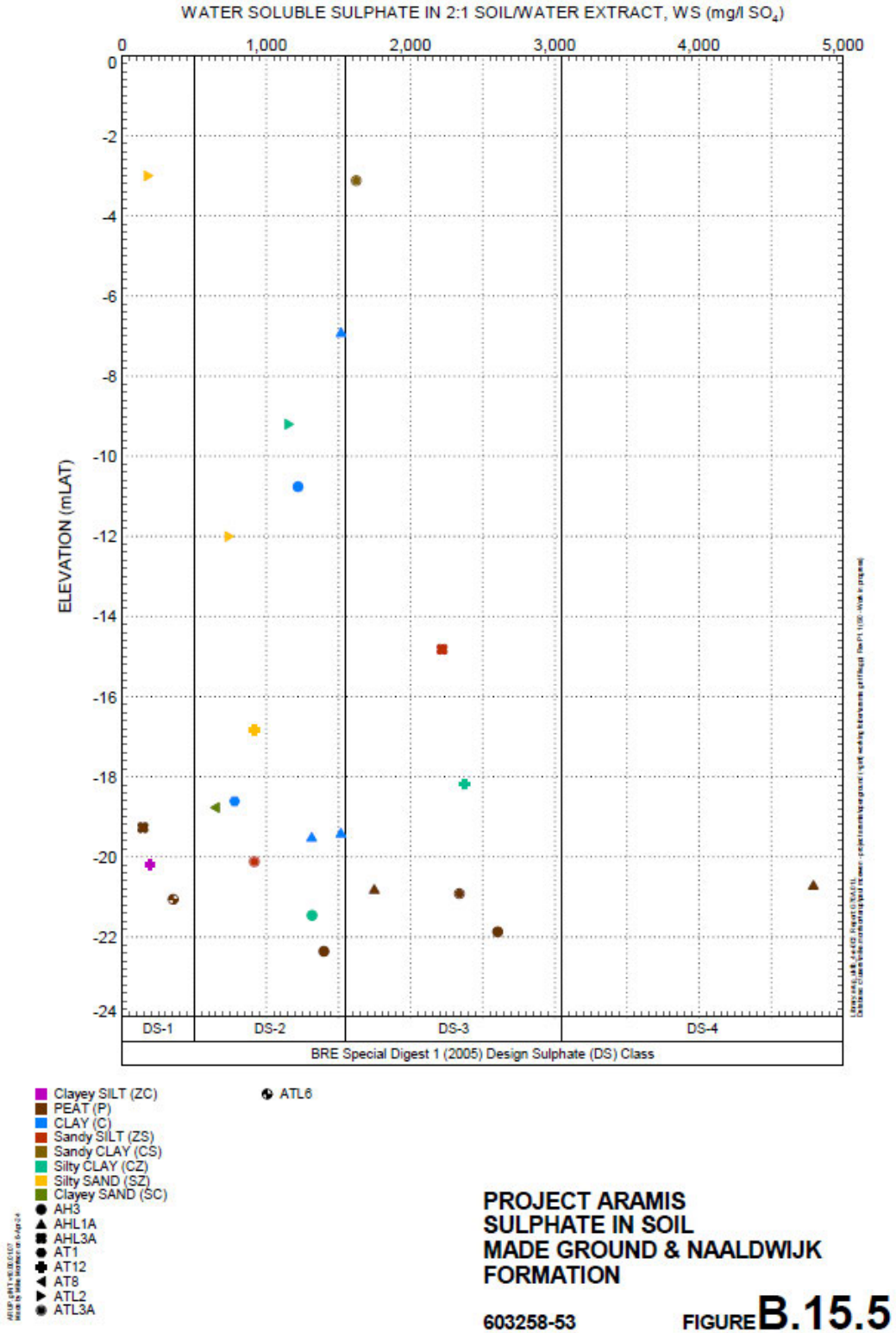


Figure B.15.5: Made Ground and Naaldwijk Formation – Soil Sulphate

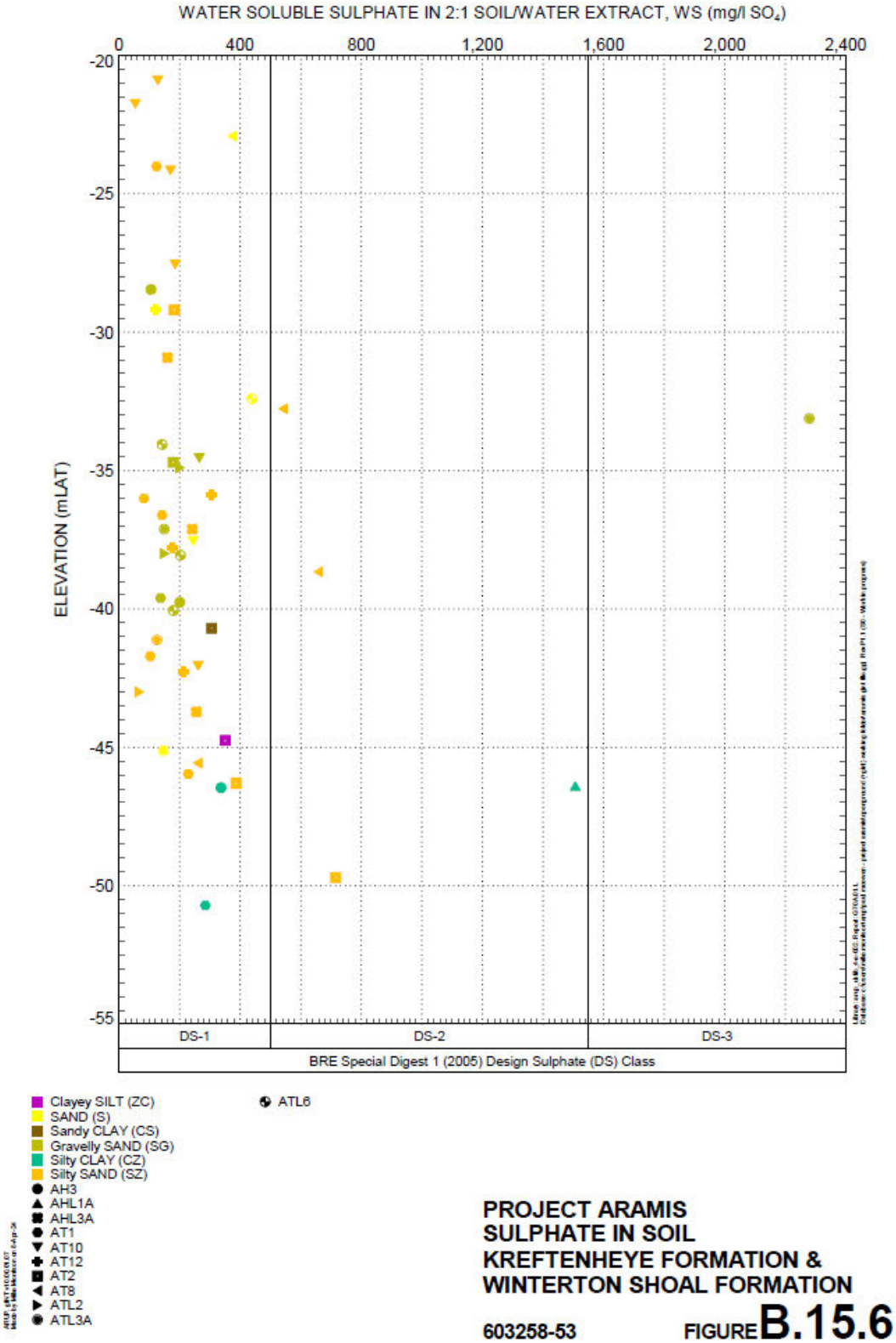


Figure B.15.6: Kreftenheye and Winterton Shoal Formations – Soil Sulphate

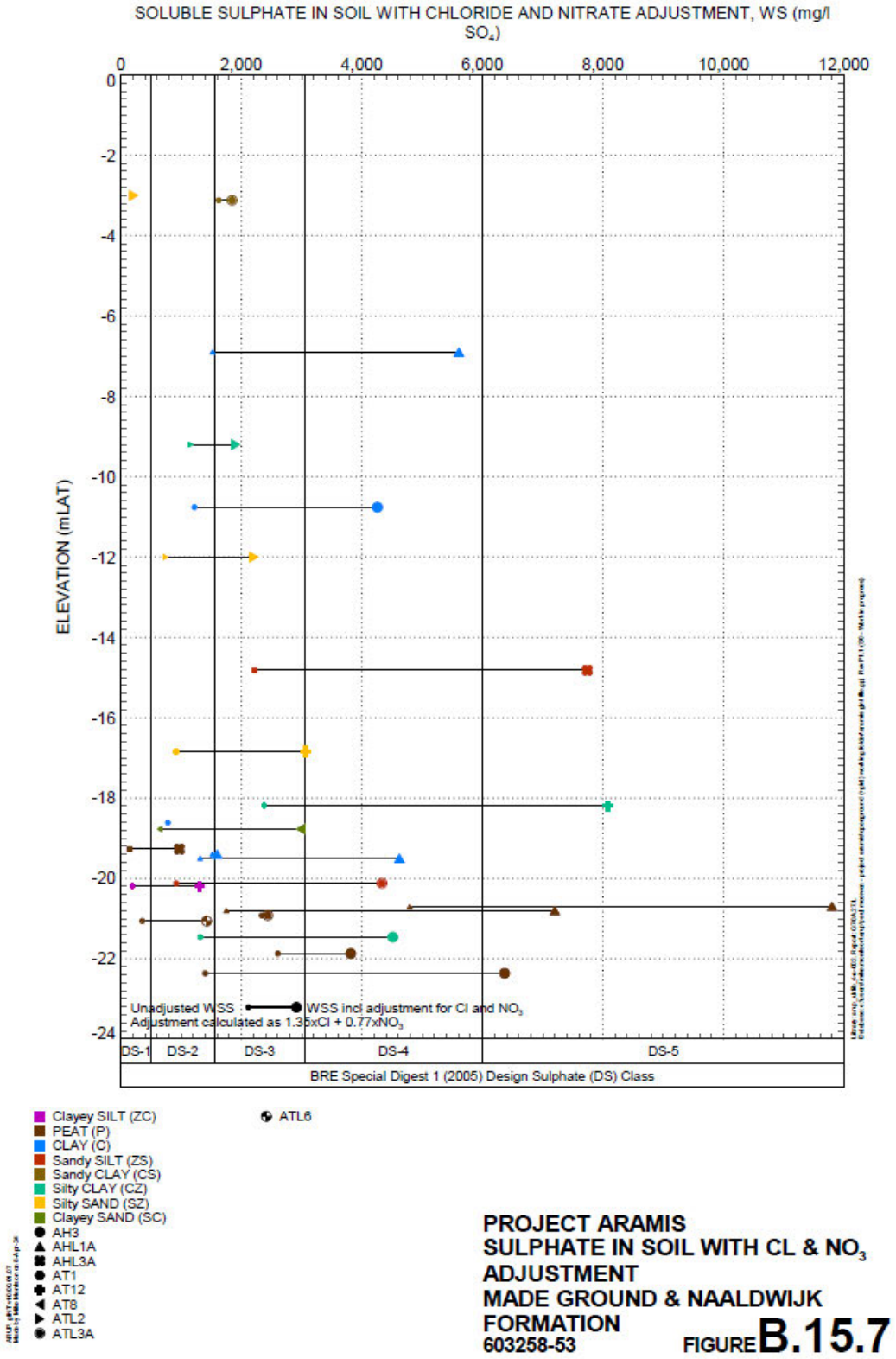


Figure B.15.7: Made Ground and Naaldwijk Formation – Soil Sulphate, Cl/NO_3 correction

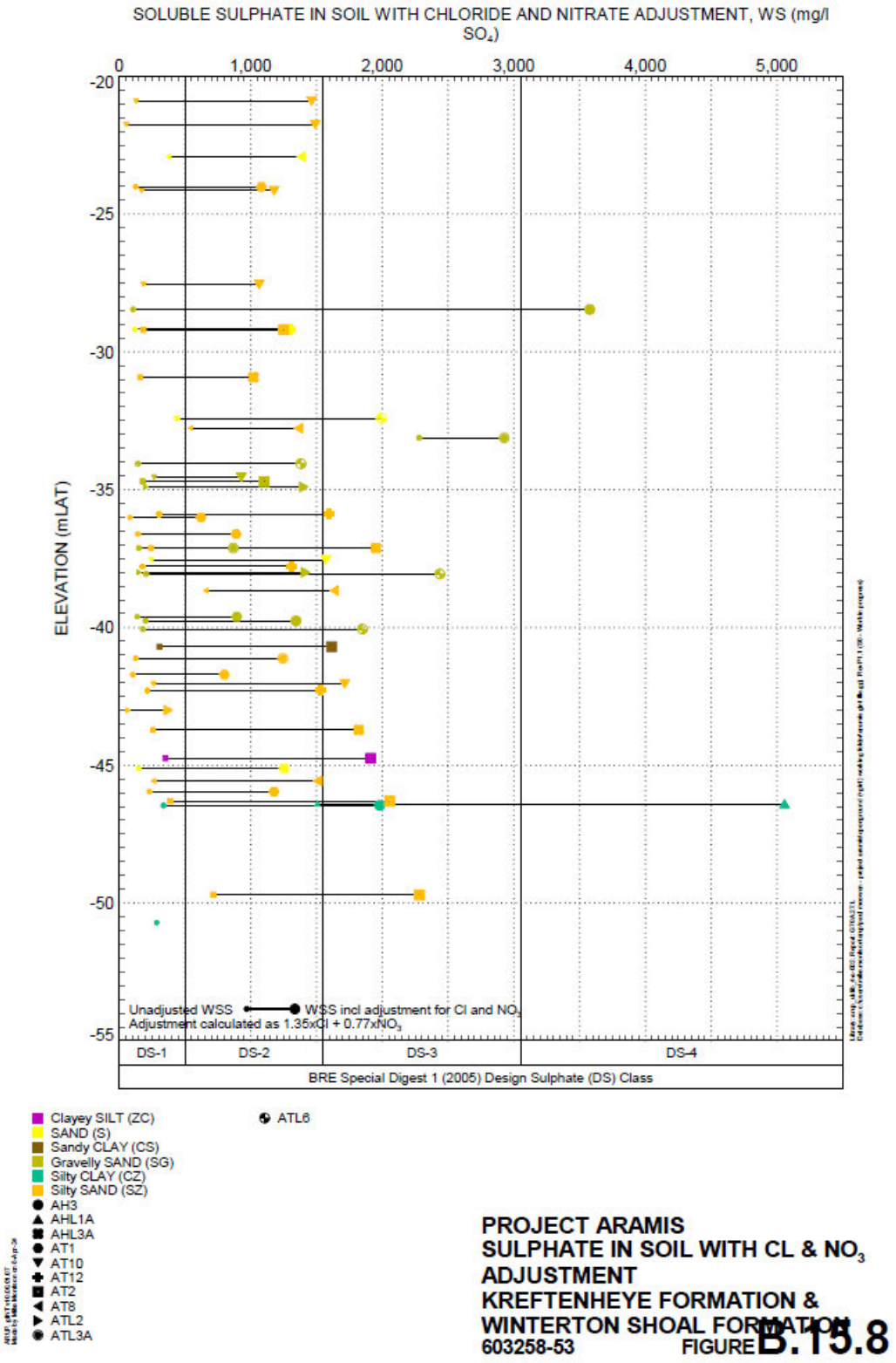


Figure B.15.8: Kreftenheye and Winterton Shoal Formations – Soil Sulphate, Cl/NO_3 correction

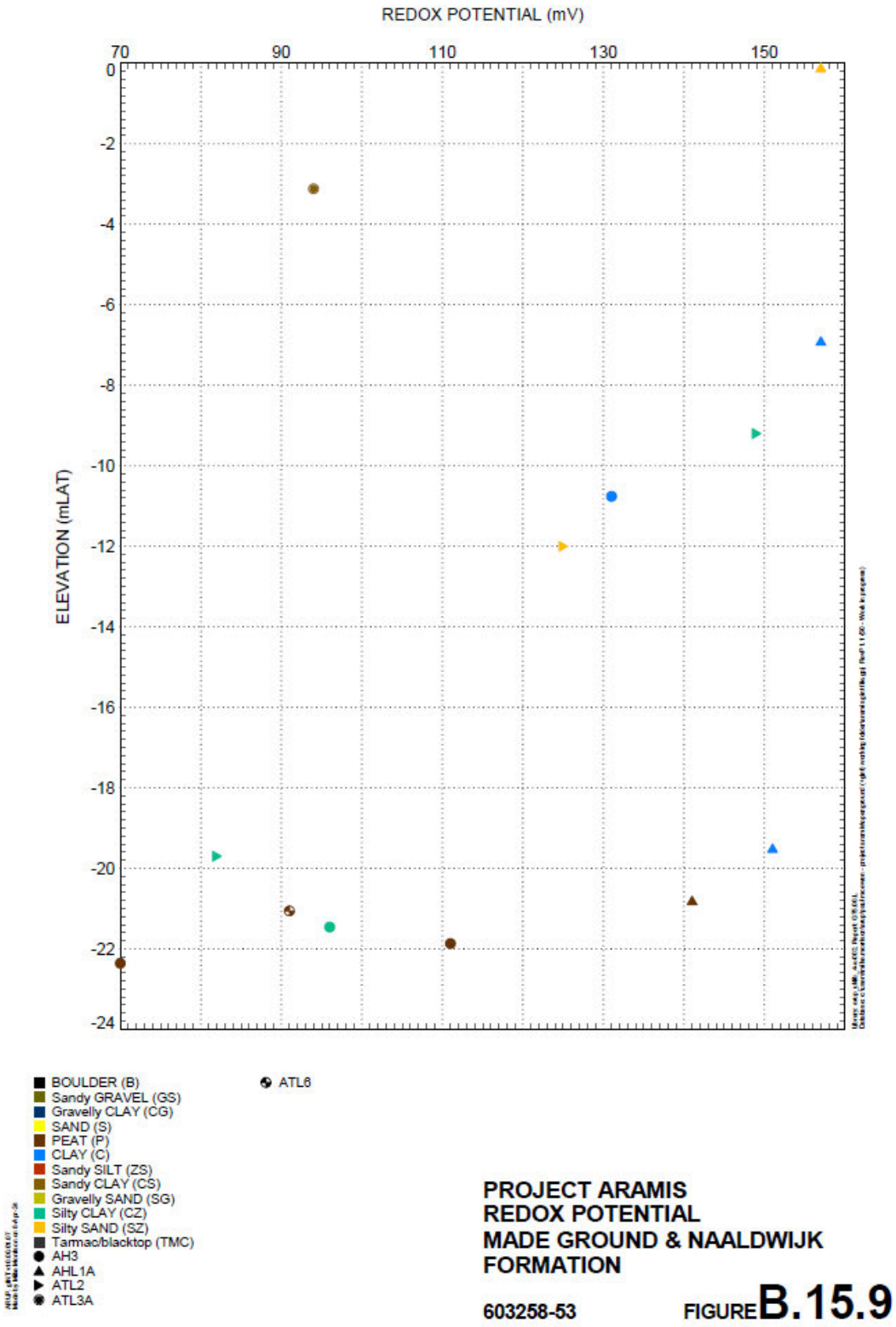


Figure B.15.9: Made Ground and Naaldwijk Formation – Soil Redox Potential

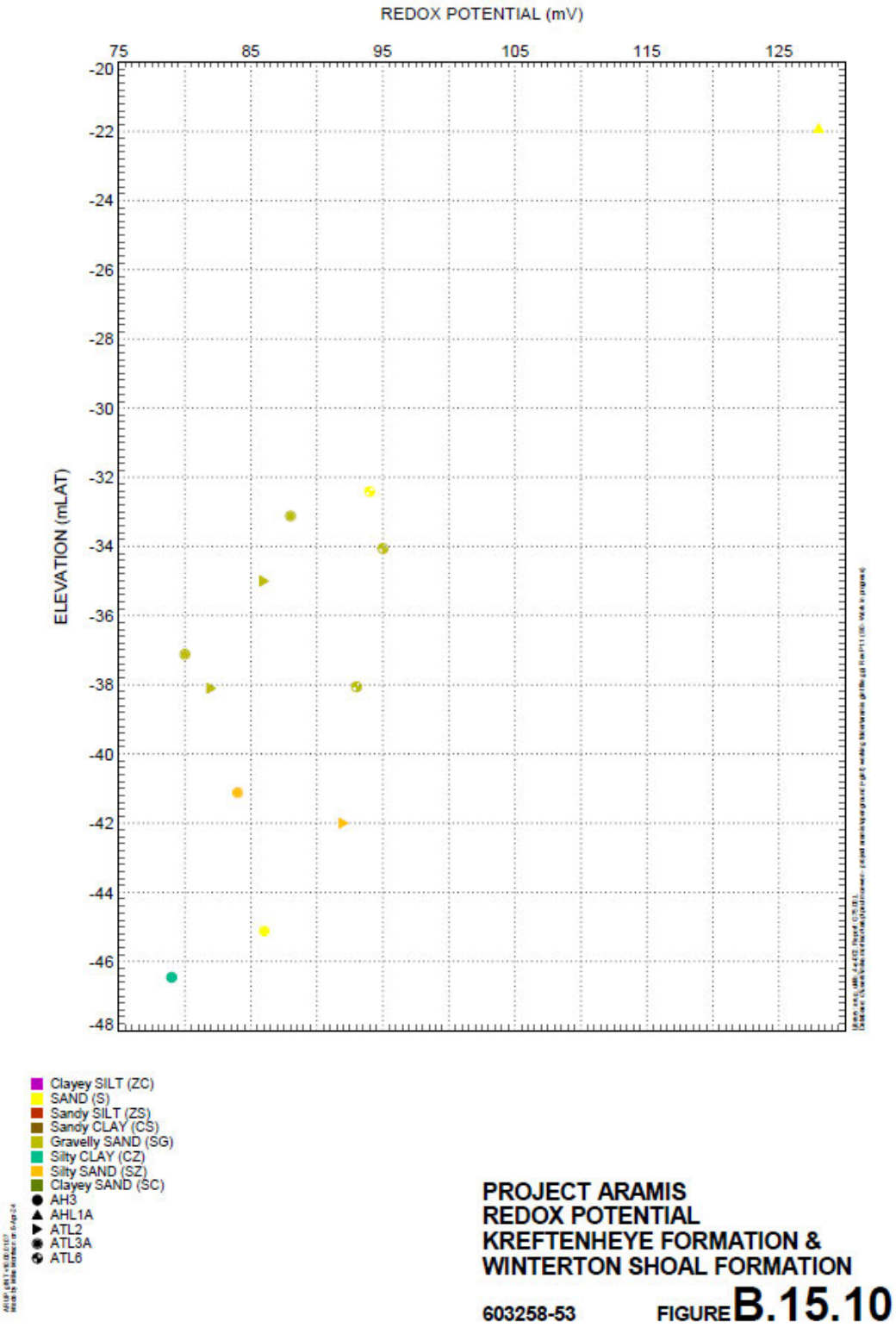


Figure B.15.10: Kreftenheye and Winterton Shoal Formations – Soil Redox Potential

APPENDIX C CPT INTERPRETATION

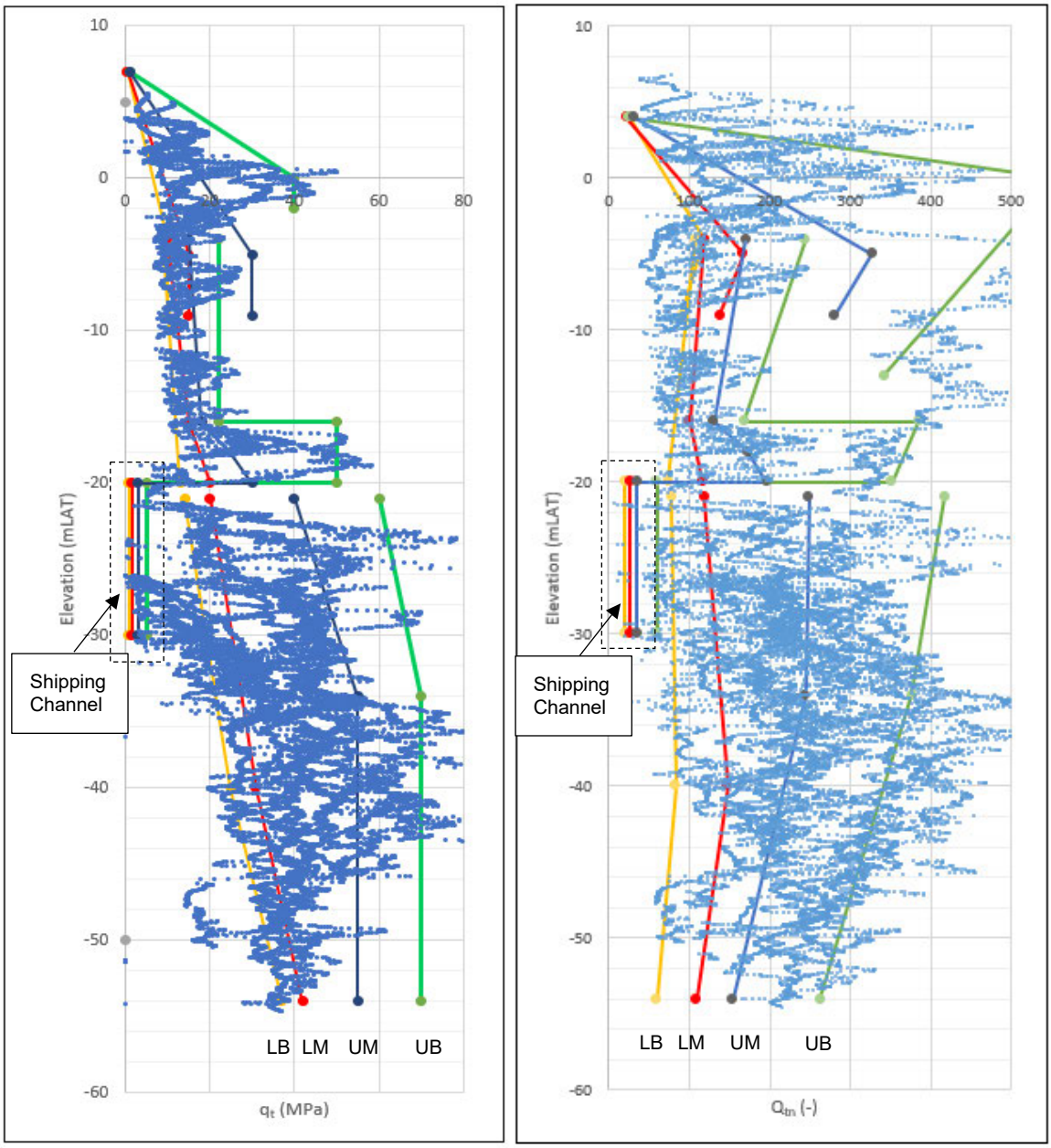


Figure C-1: CPT Design Profiles for Sands

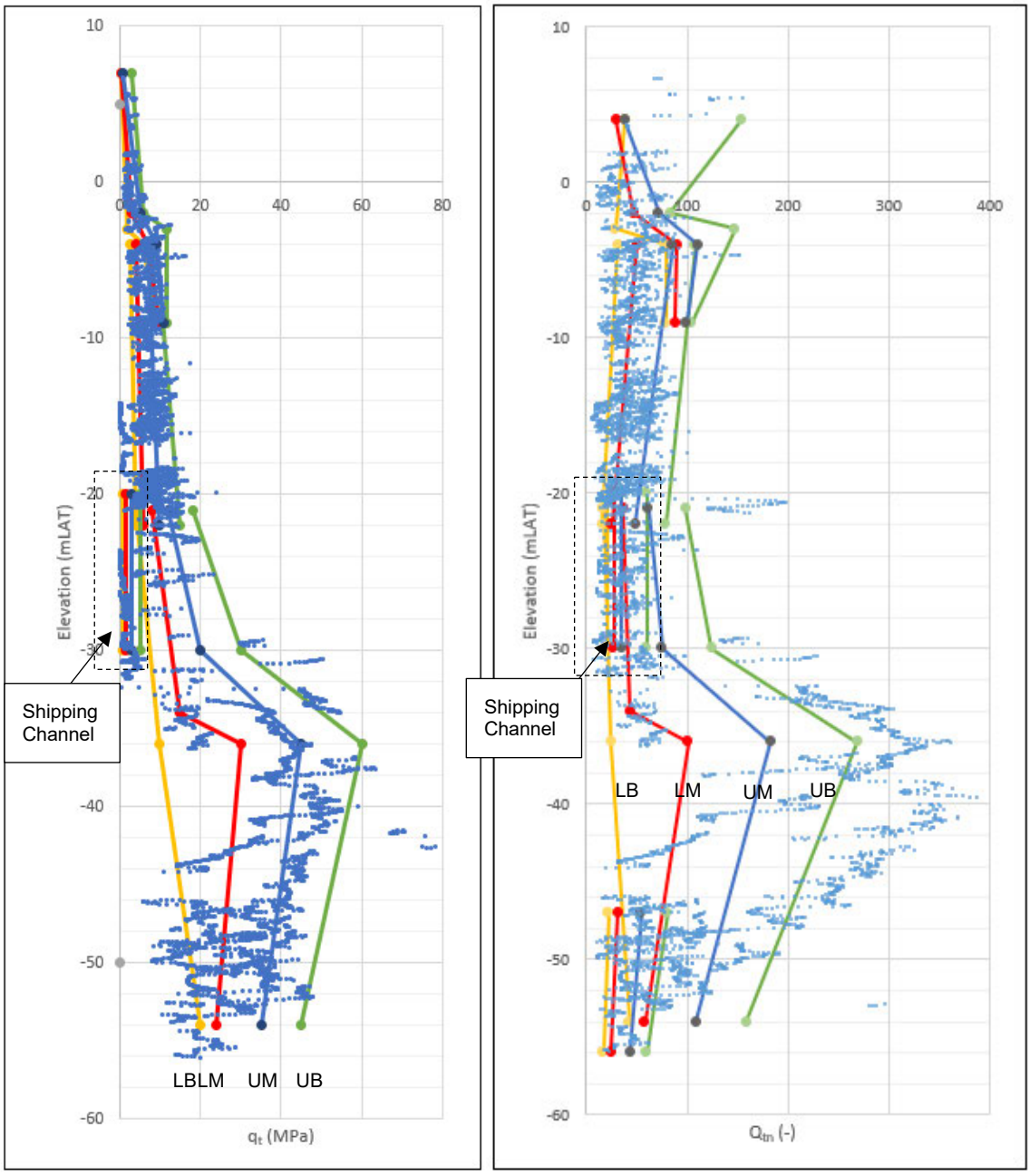


Figure C-2: CPT Design Profiles for Silty Sands

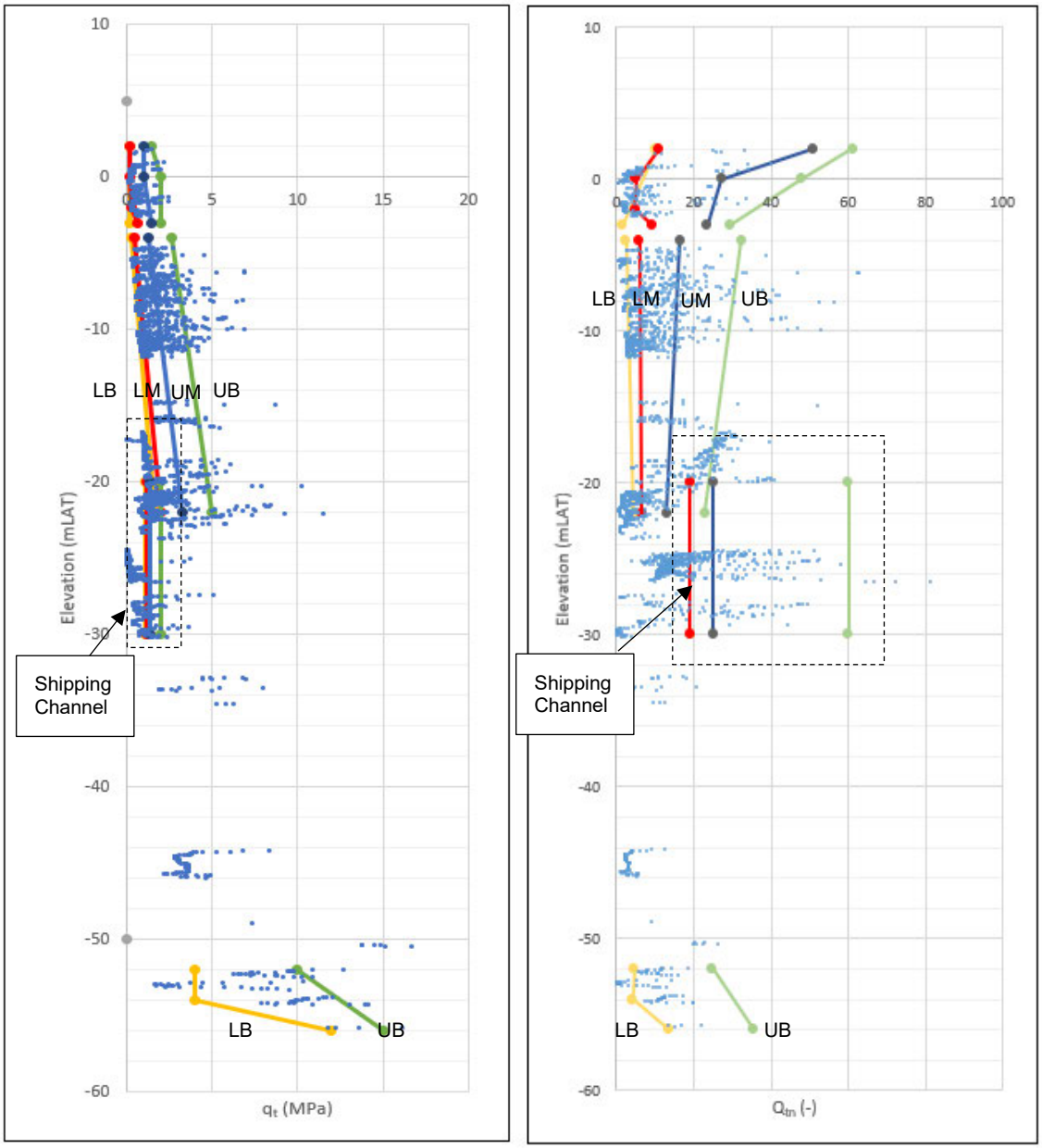


Figure C-3: Design Profiles for Clays

ATL1

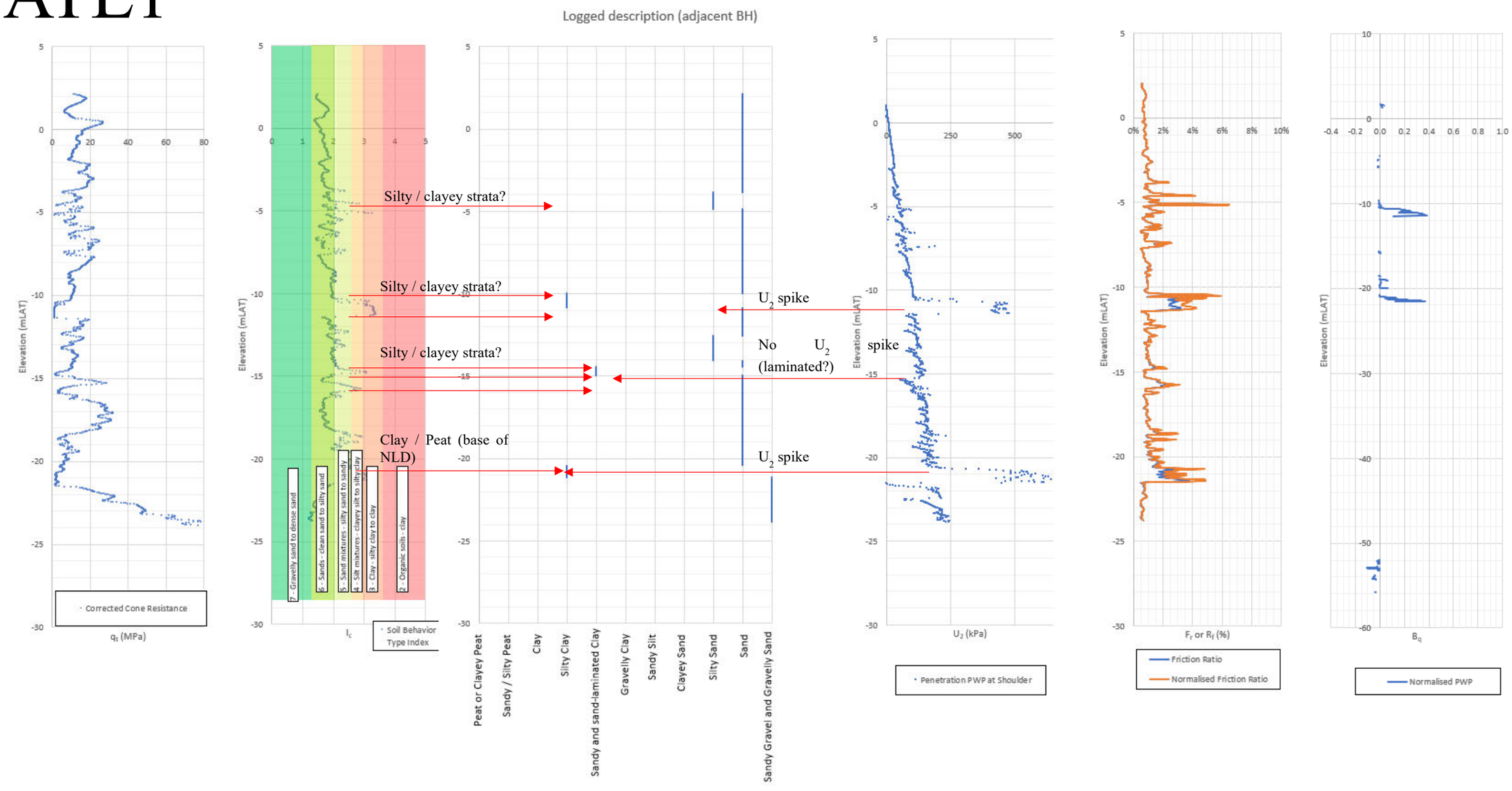


Figure C-4: CPT to borehole cross-correlation, CPT ATL1 / BH ATL2 – Separation Distance = 19m

ATL1A

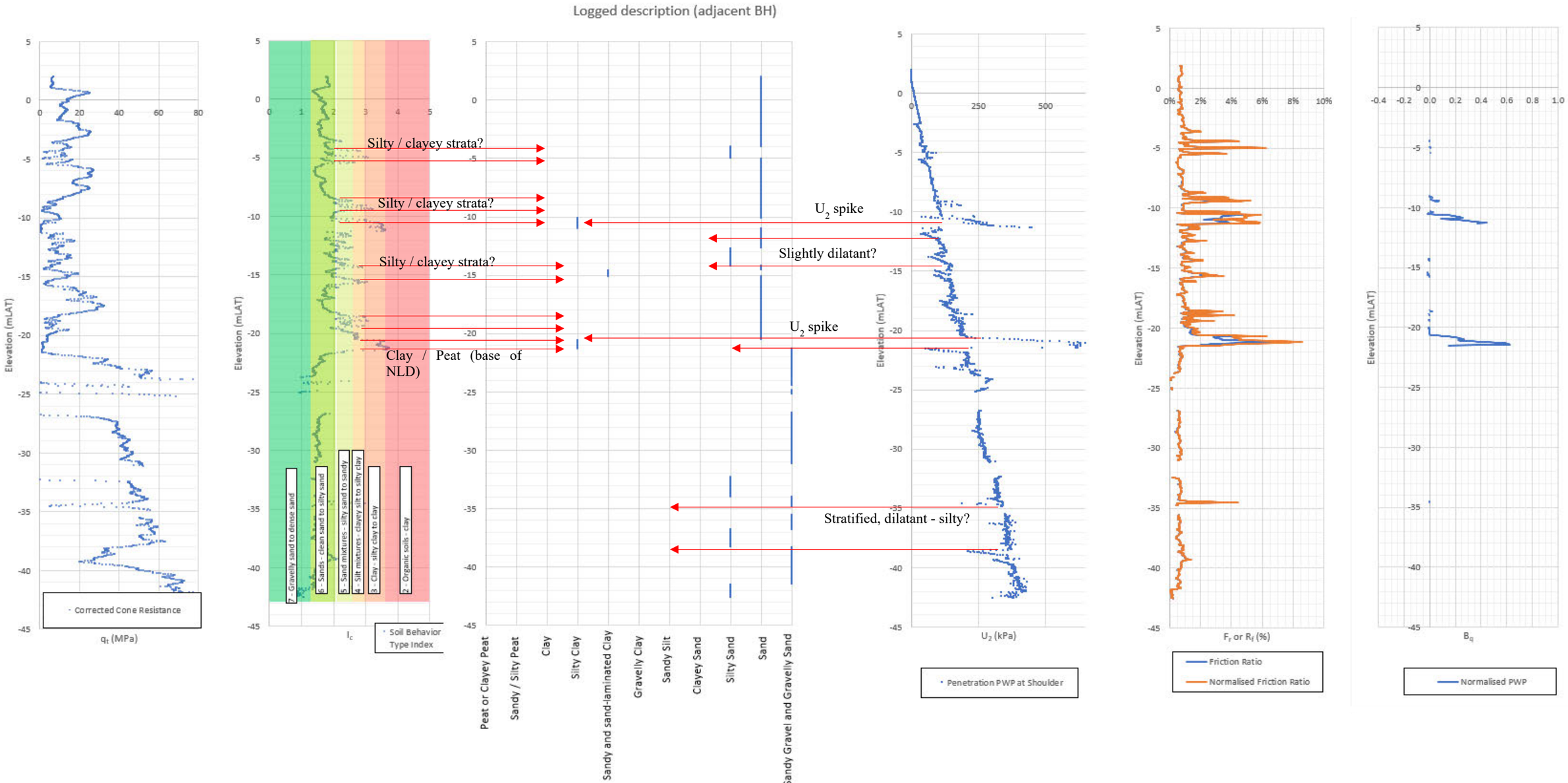


Figure C-5: CPT to borehole cross-correlation, CPT ATL1A / BH ATL2 – Separation Distance = 15m

ATL1D

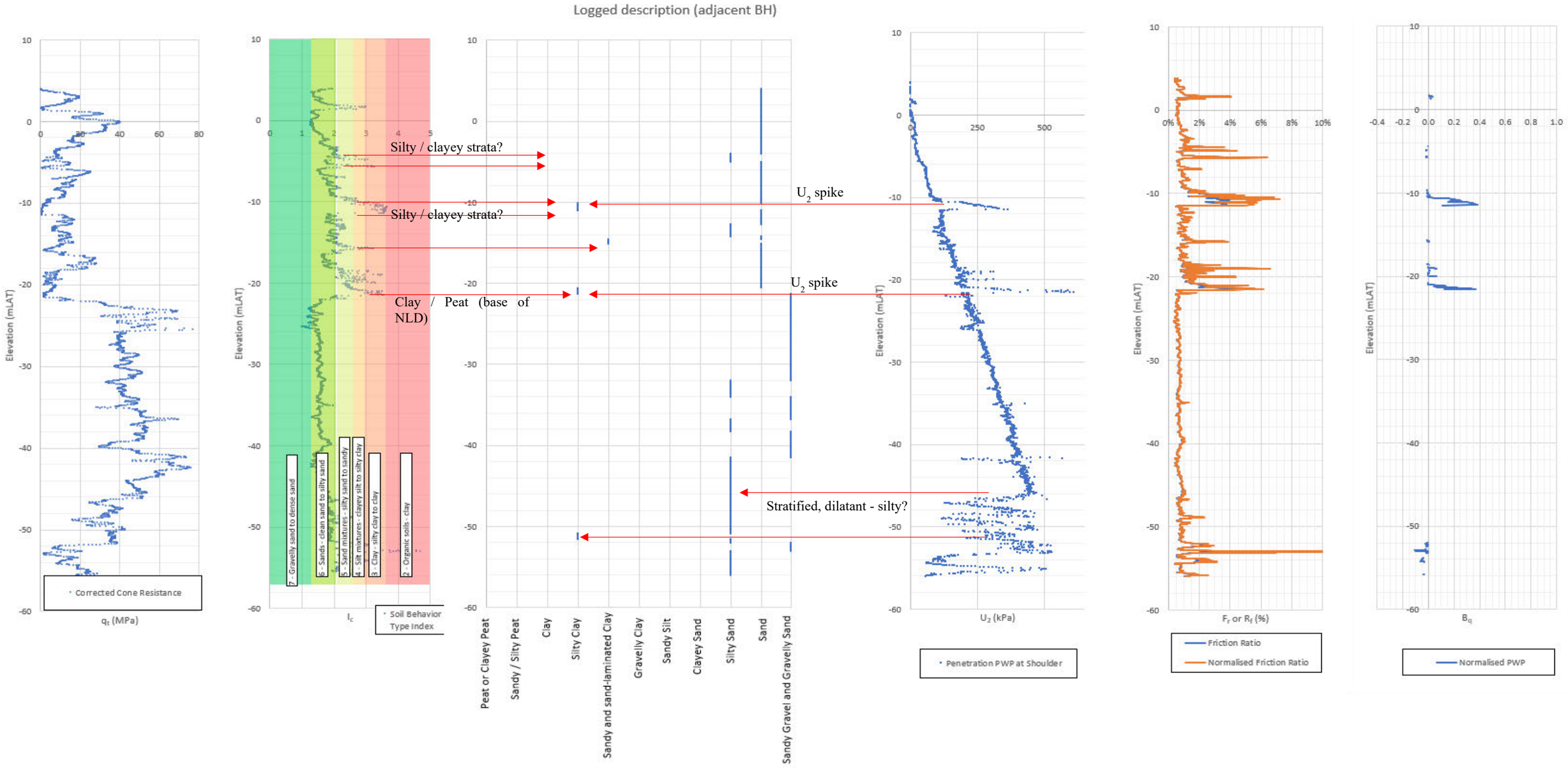


Figure C-6: CPT to borehole cross-correlation, CPT ATL1D / BH ATL2 – Separation Distance = 25m

ATL4

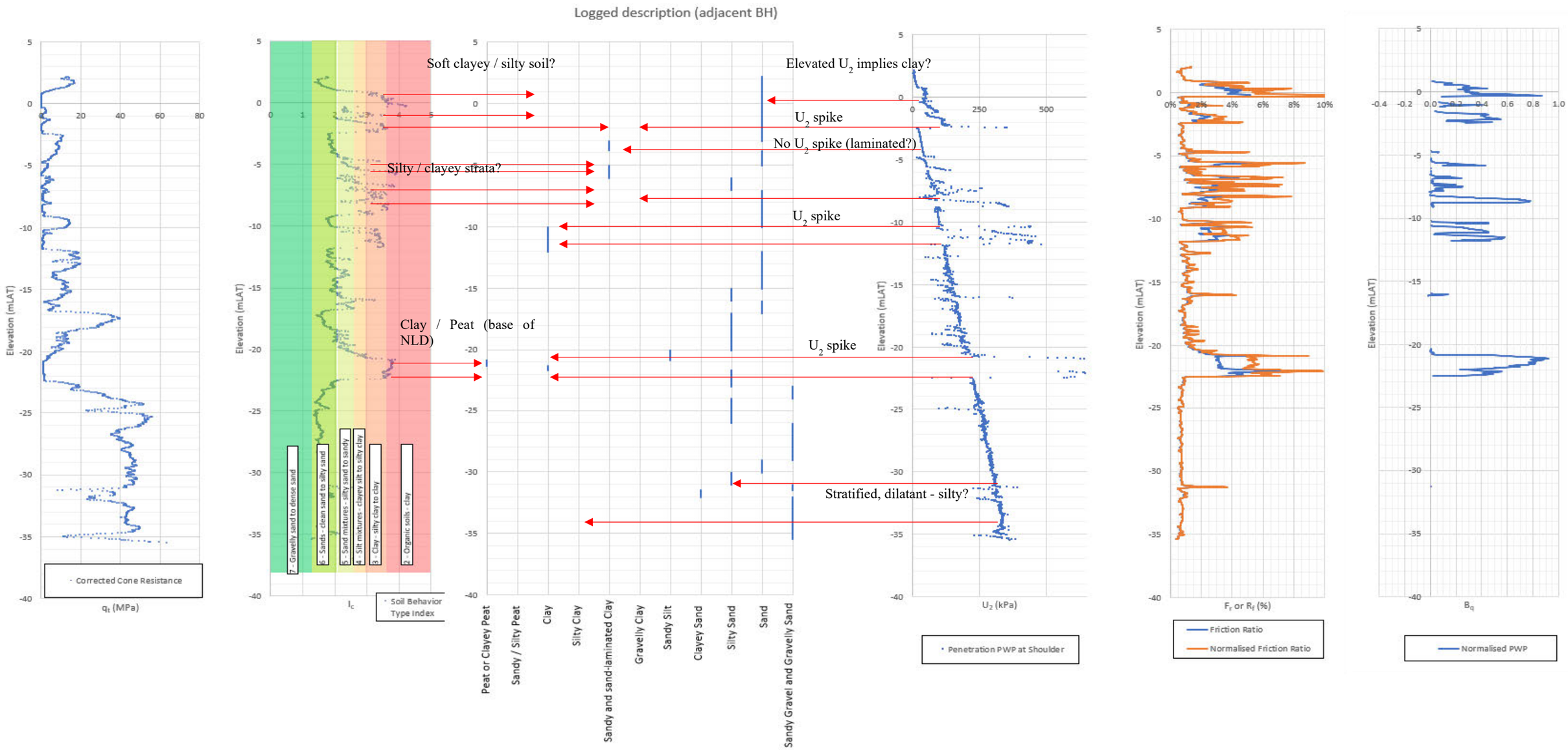


Figure C-7: CPT to borehole cross-correlation, CPT ATL4 / BH ATL3A – Separation Distance = 20m

ATL4A

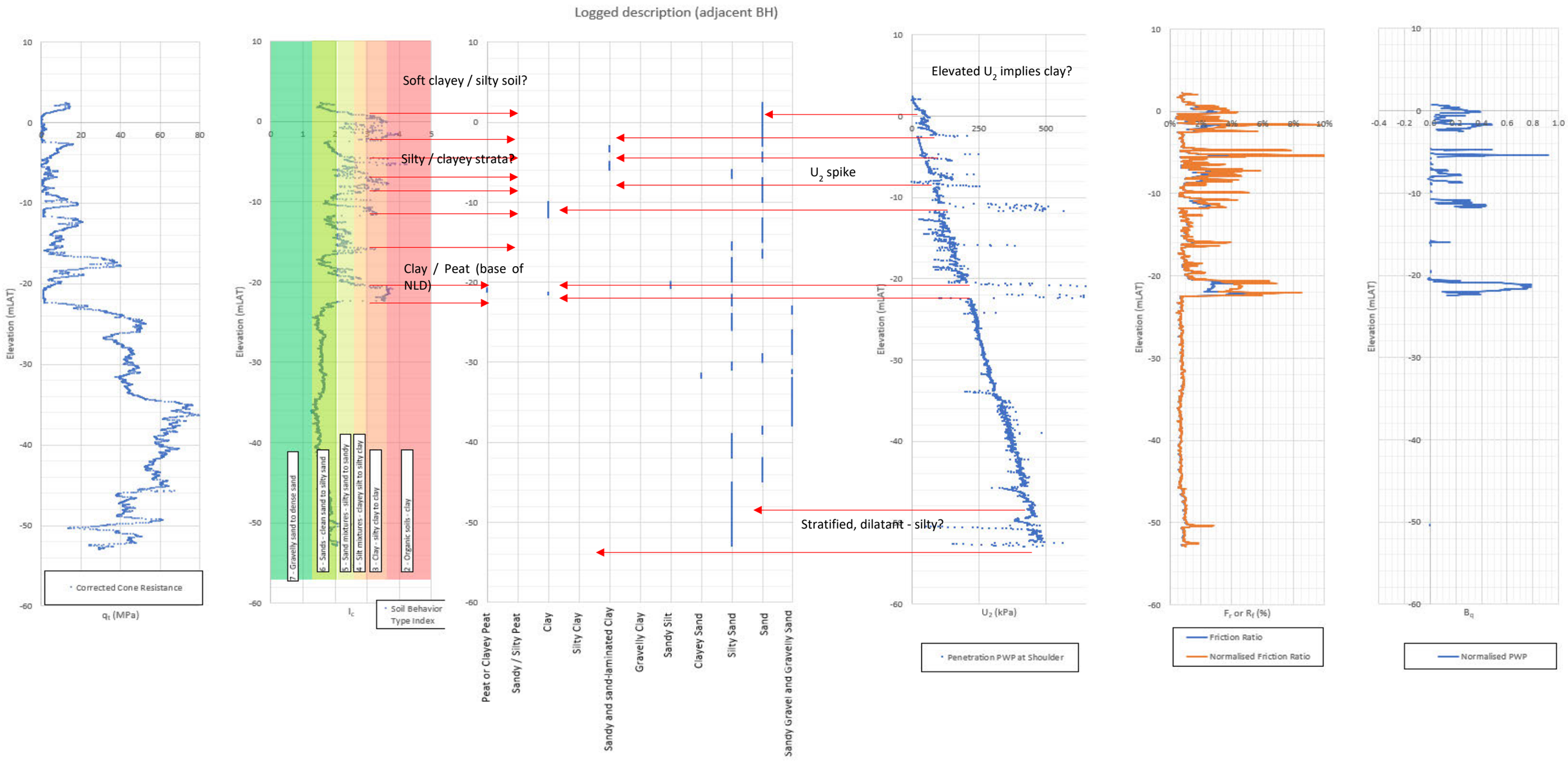


Figure C-8: CPT to borehole cross-correlation, CPT ATL4A / BH ATL3A – Separation Distance = 21m

AHL2 (offsite)

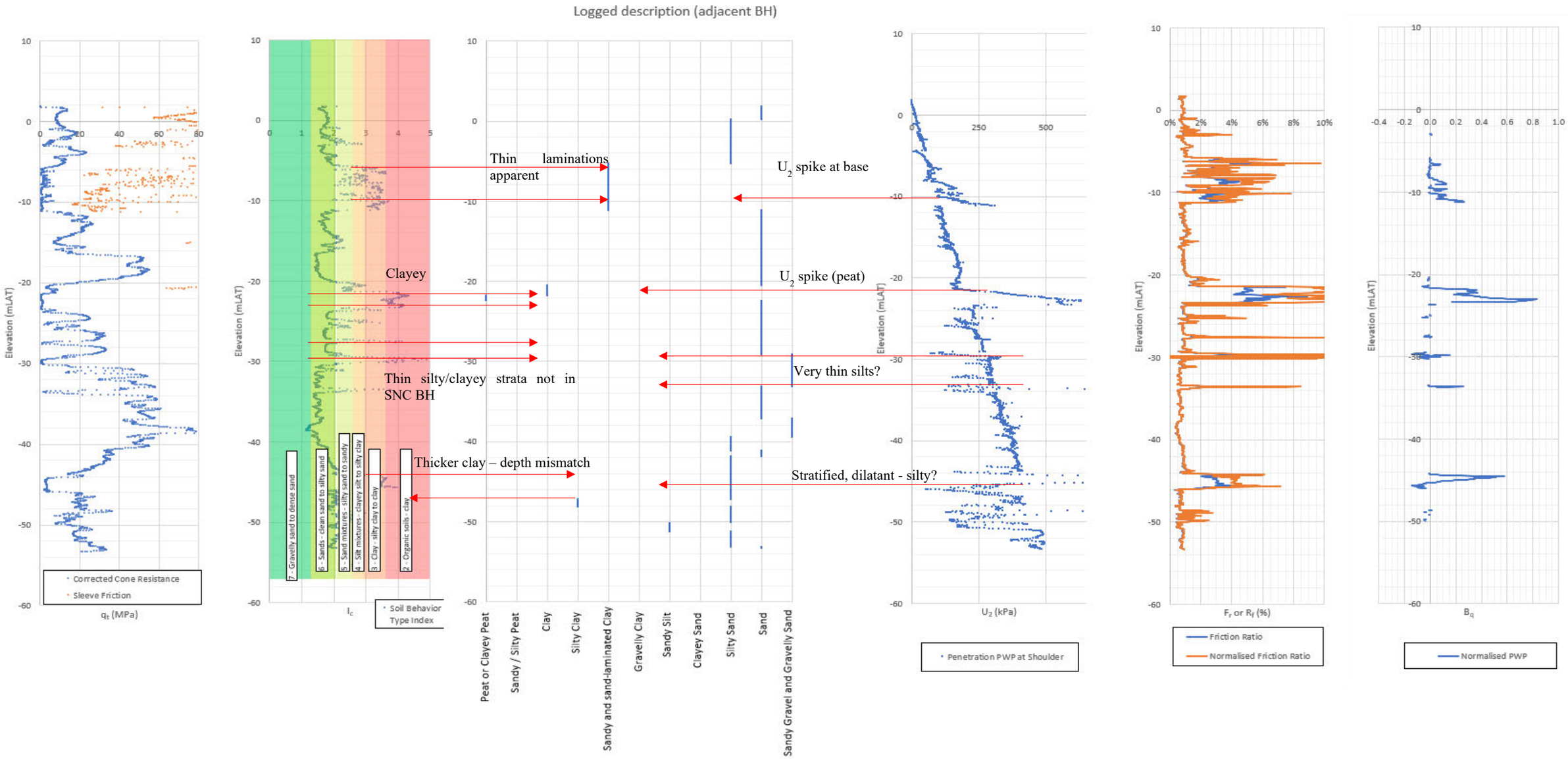


Figure C-9: CPT to borehole cross-correlation, CPT AHL2 / BH AHL1A– Separation Distance = 21m

AHL4A (offsite)

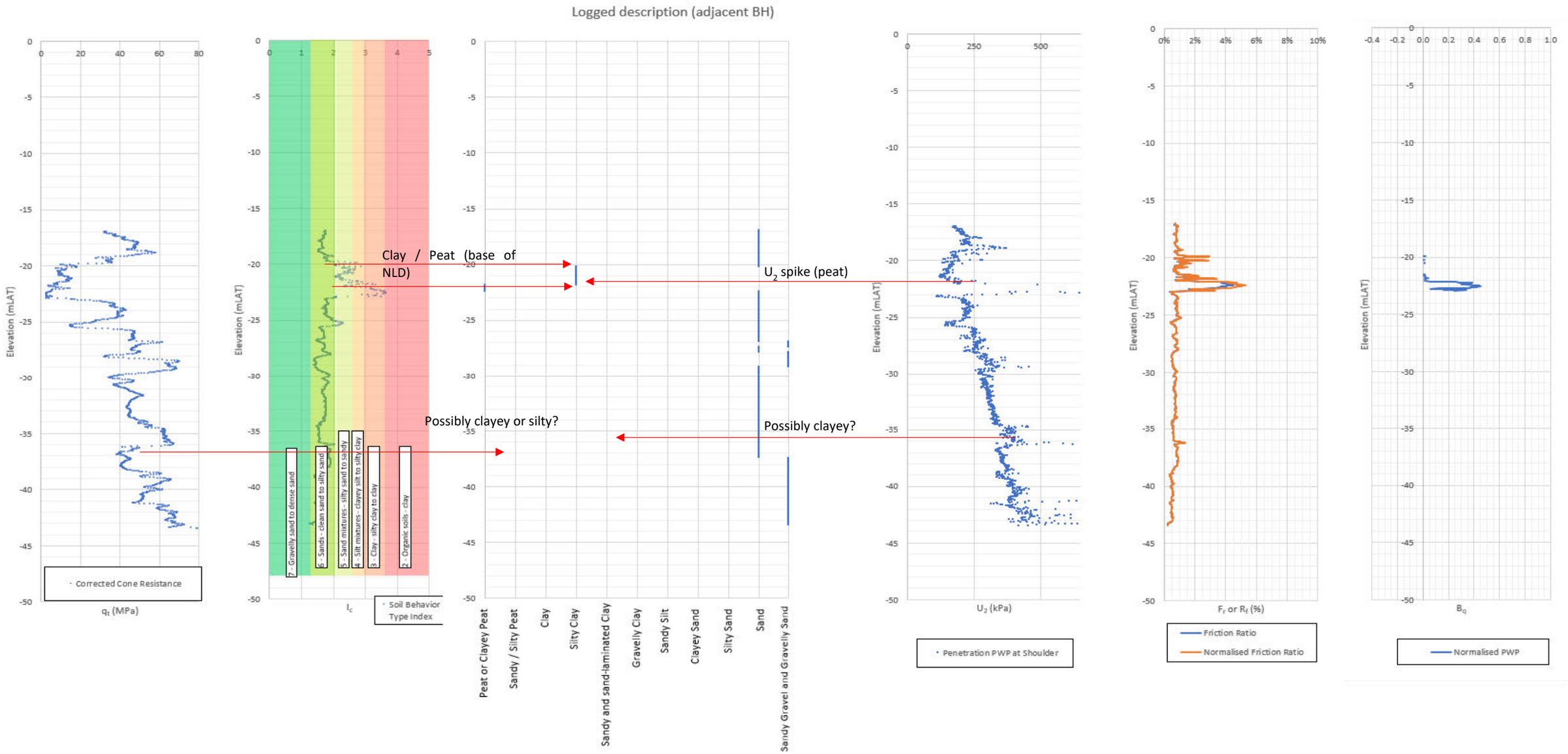


Figure C-10: CPT to borehole cross-correlation, CPT AHL4A / BH AHL3 – Separation Distance = 6m

ATL5/5B

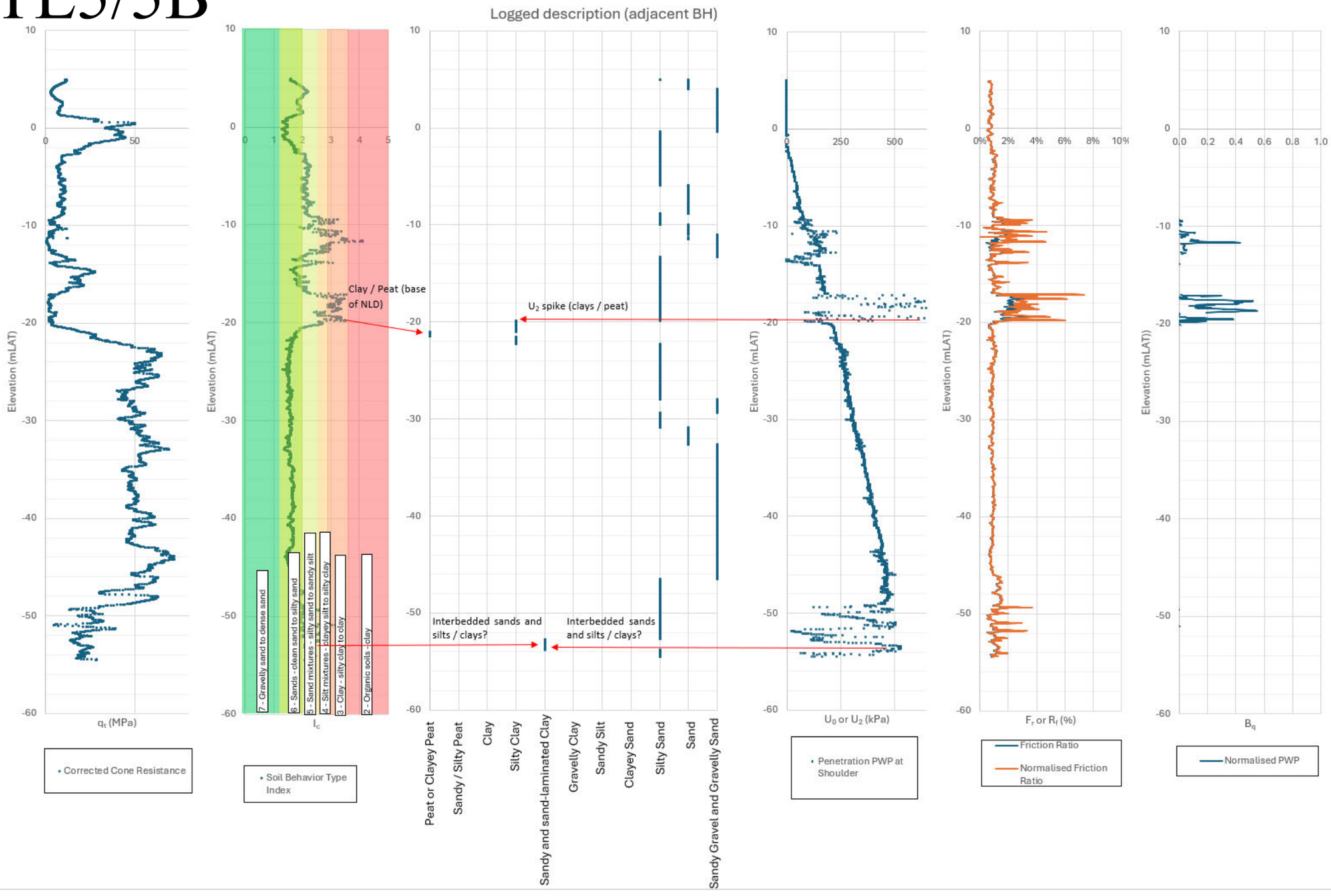


Figure C-11: CPT to borehole cross-correlation, CPT ATL5/5B / BH AHL6 – Separation Distance = 25m

AT11

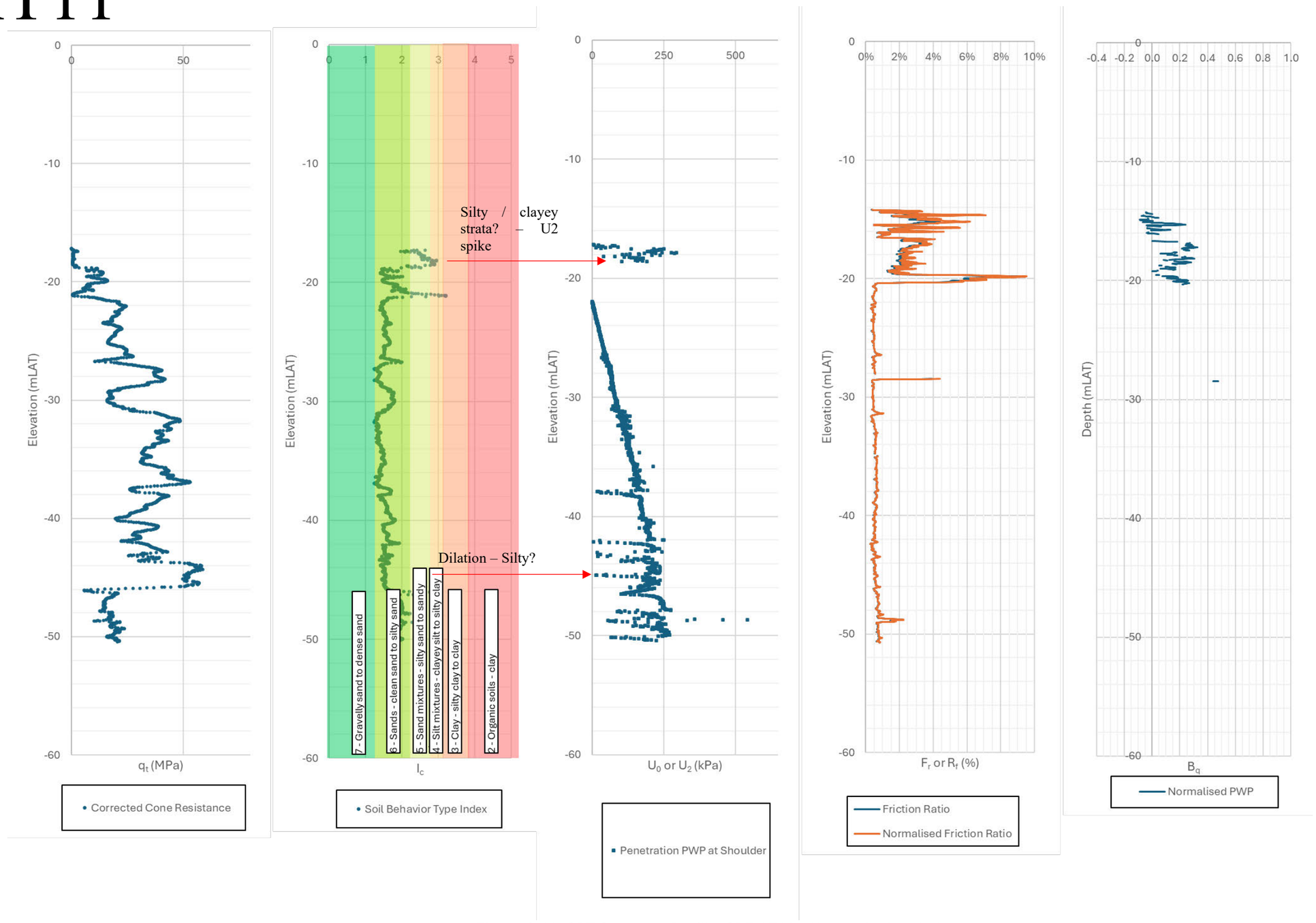


Figure C-11: CPT Summary Profile, CPT AT11 – No nearby borehole

AH4 (Offsite)

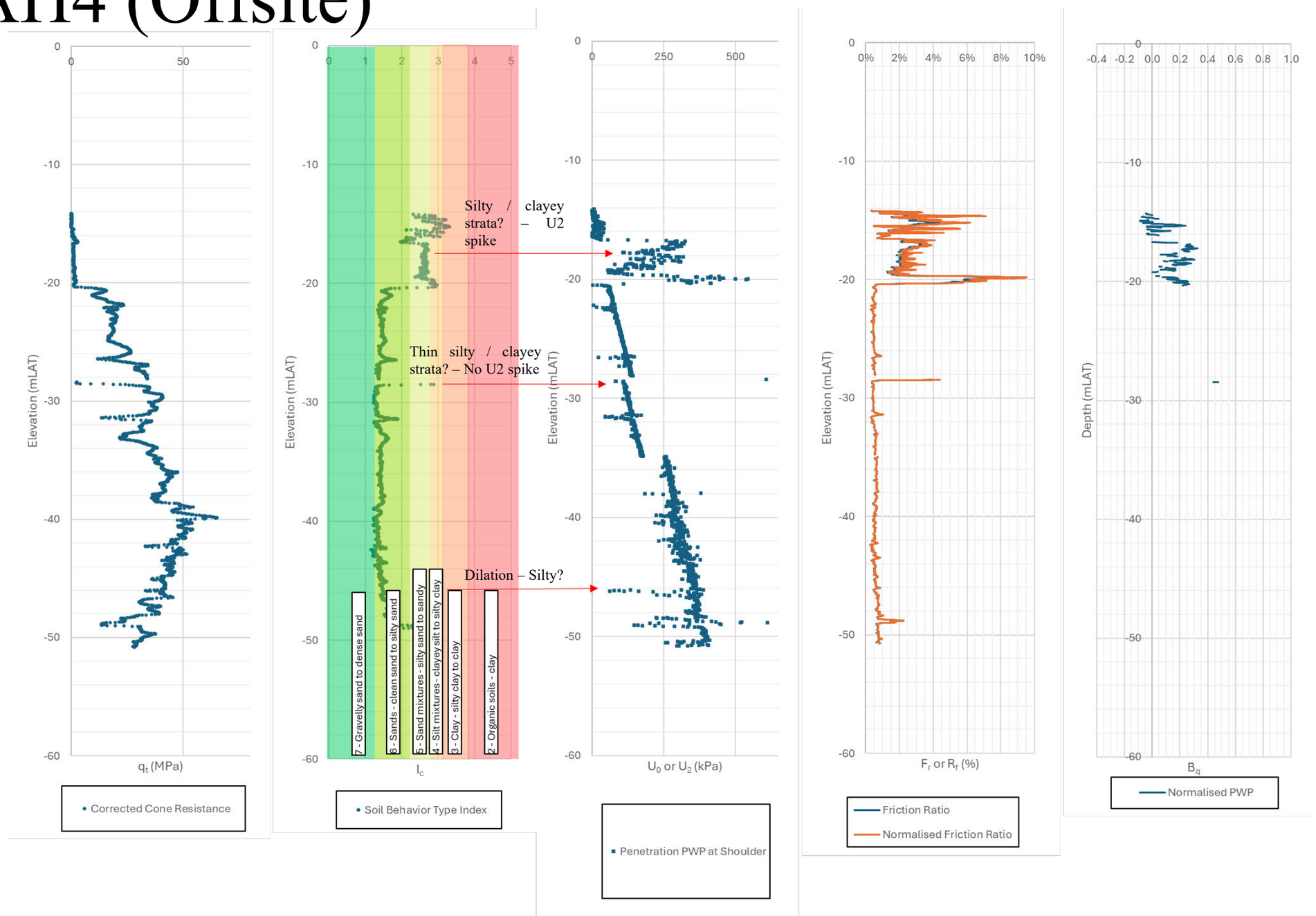


Figure C-12: CPT Summary Profile, CPT AH4 – No nearby borehole

AT3A

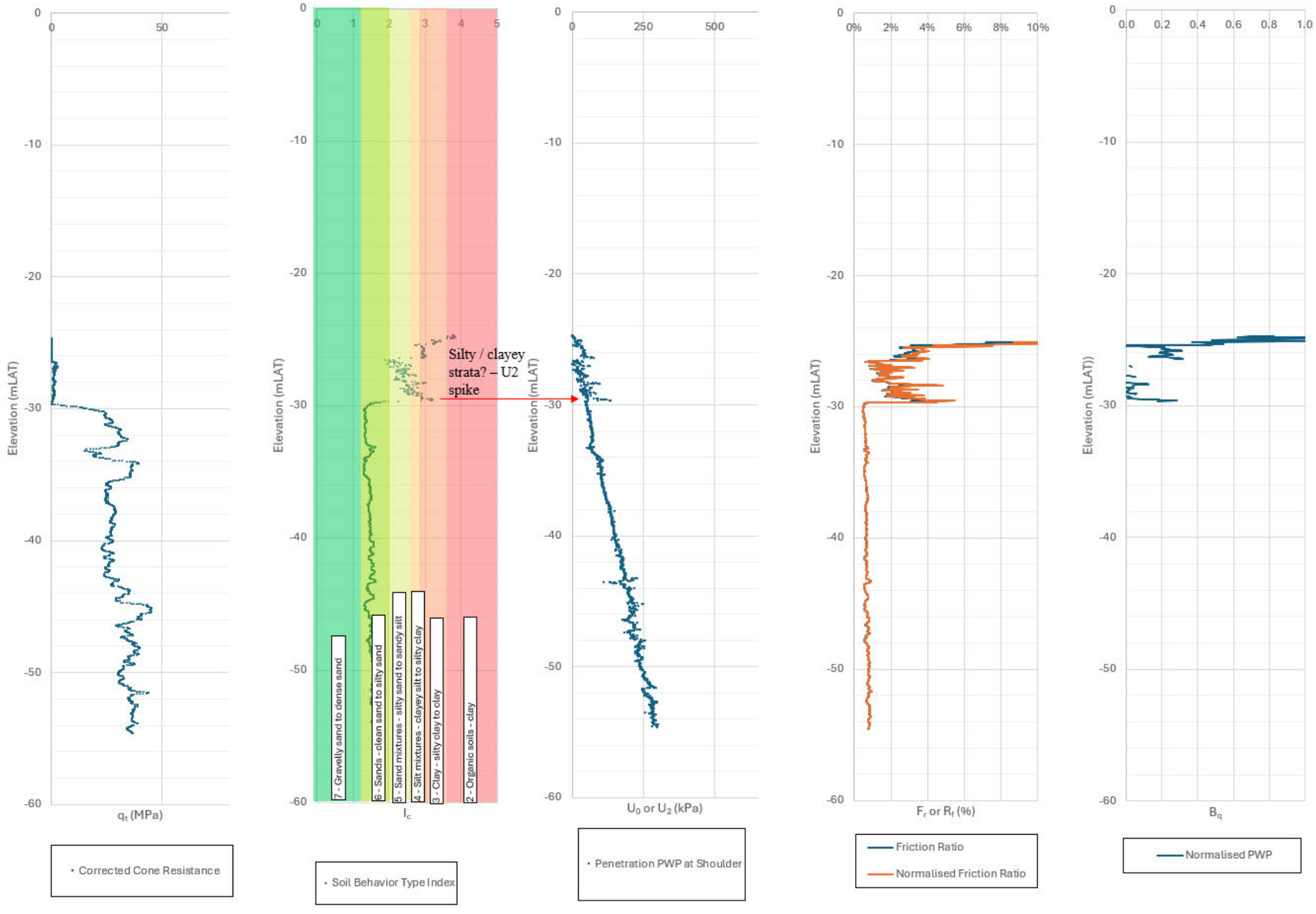


Figure C-13: CPT Summary Profile, CPT AT3A – No nearby borehole

AT4

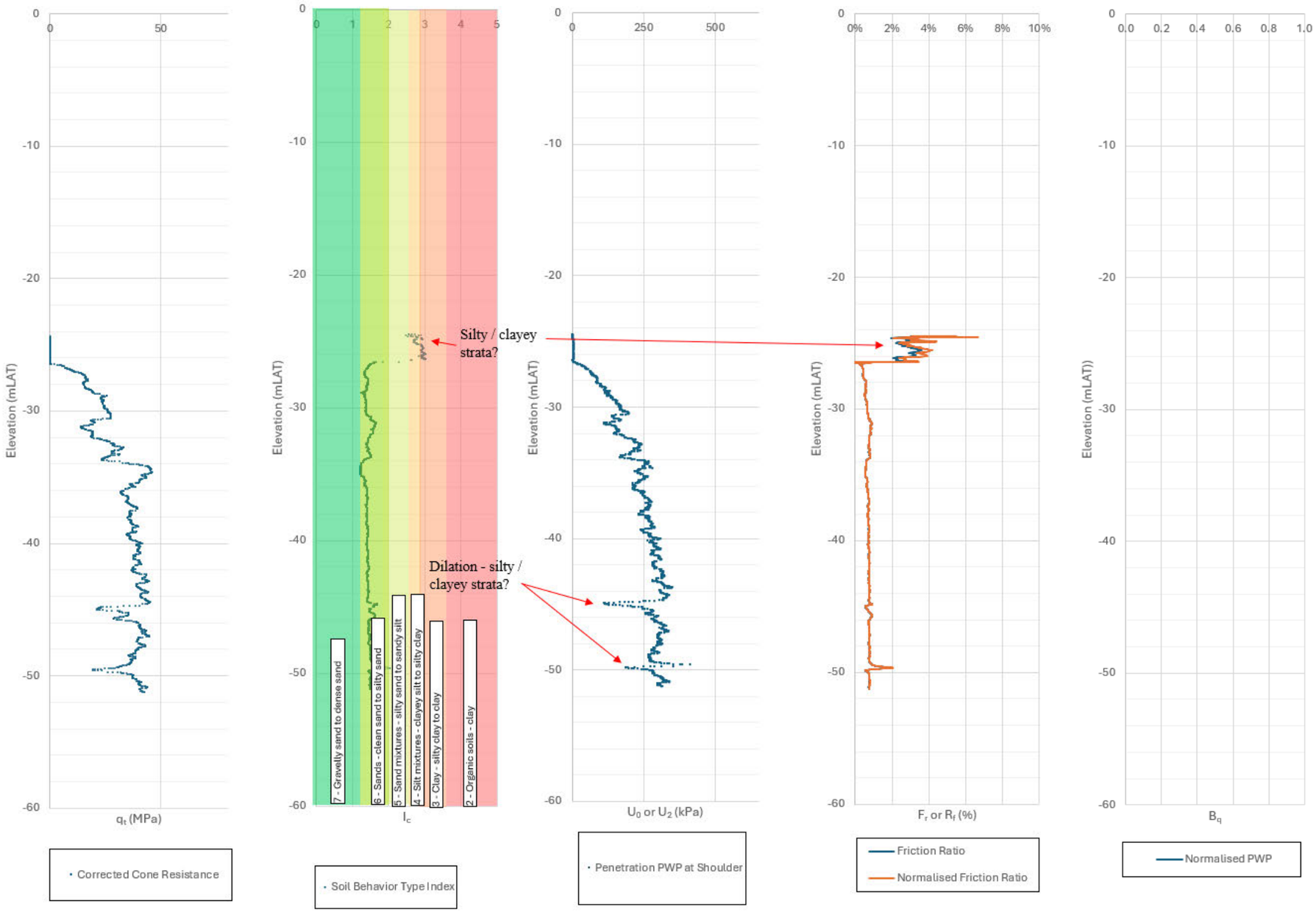


Figure C-14: CPT Summary Profile, CPT AT4 – No nearby borehole

AT5

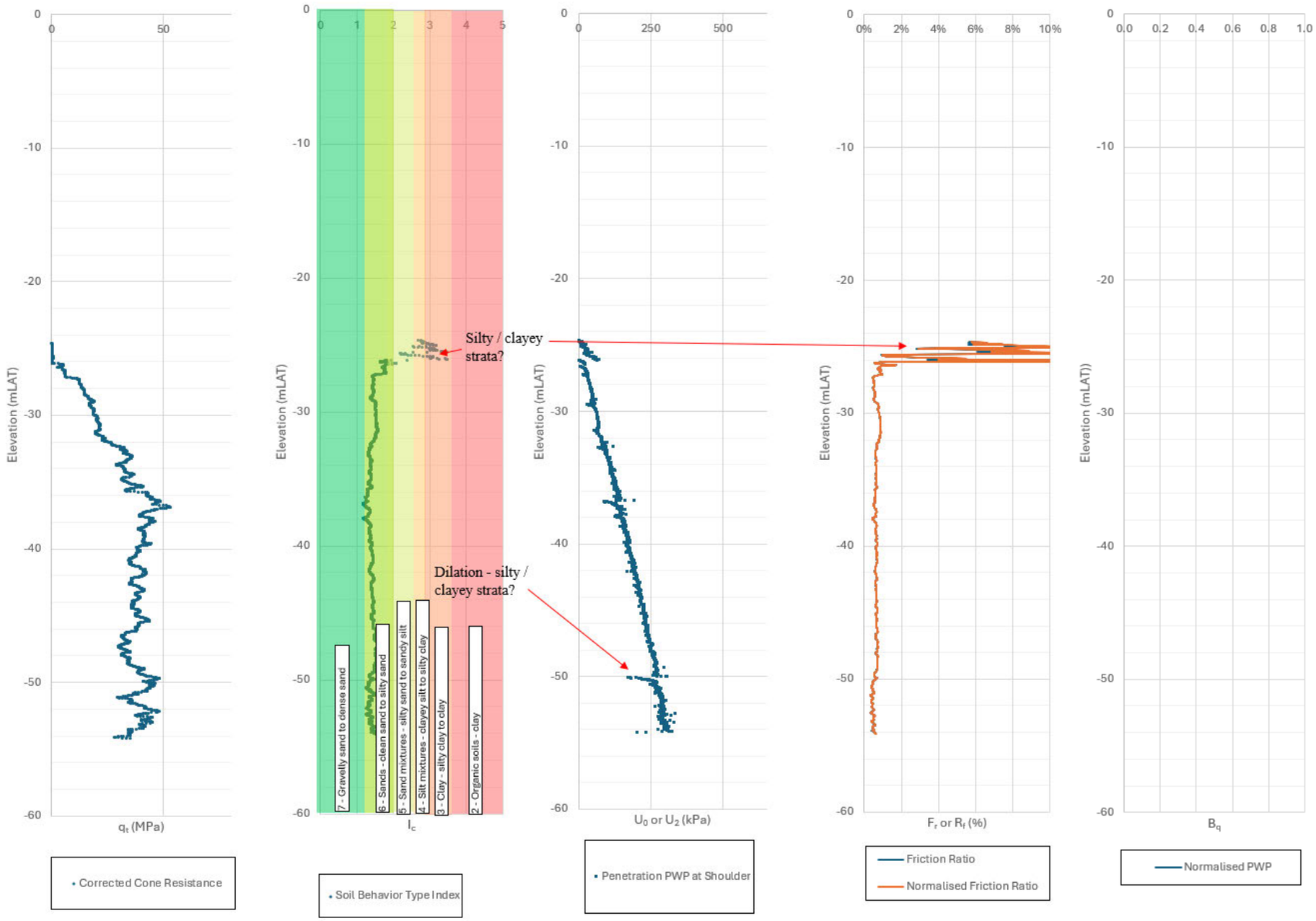


Figure C-15: CPT Summary Profile, CPT AT5 – No nearby borehole

AT6B

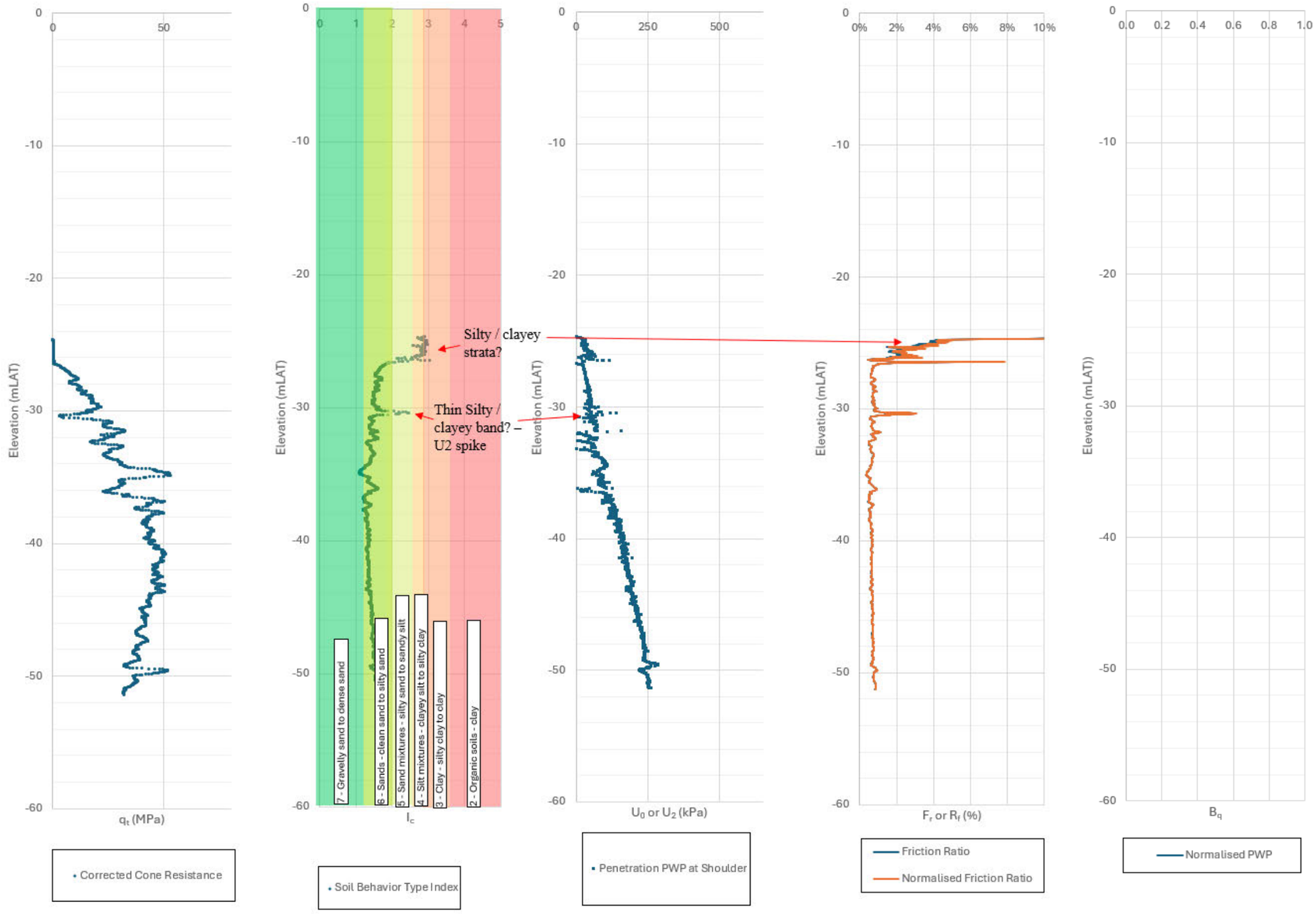


Figure C-16: CPT Summary Profile, CPT AT6B – No nearby borehole

AT7

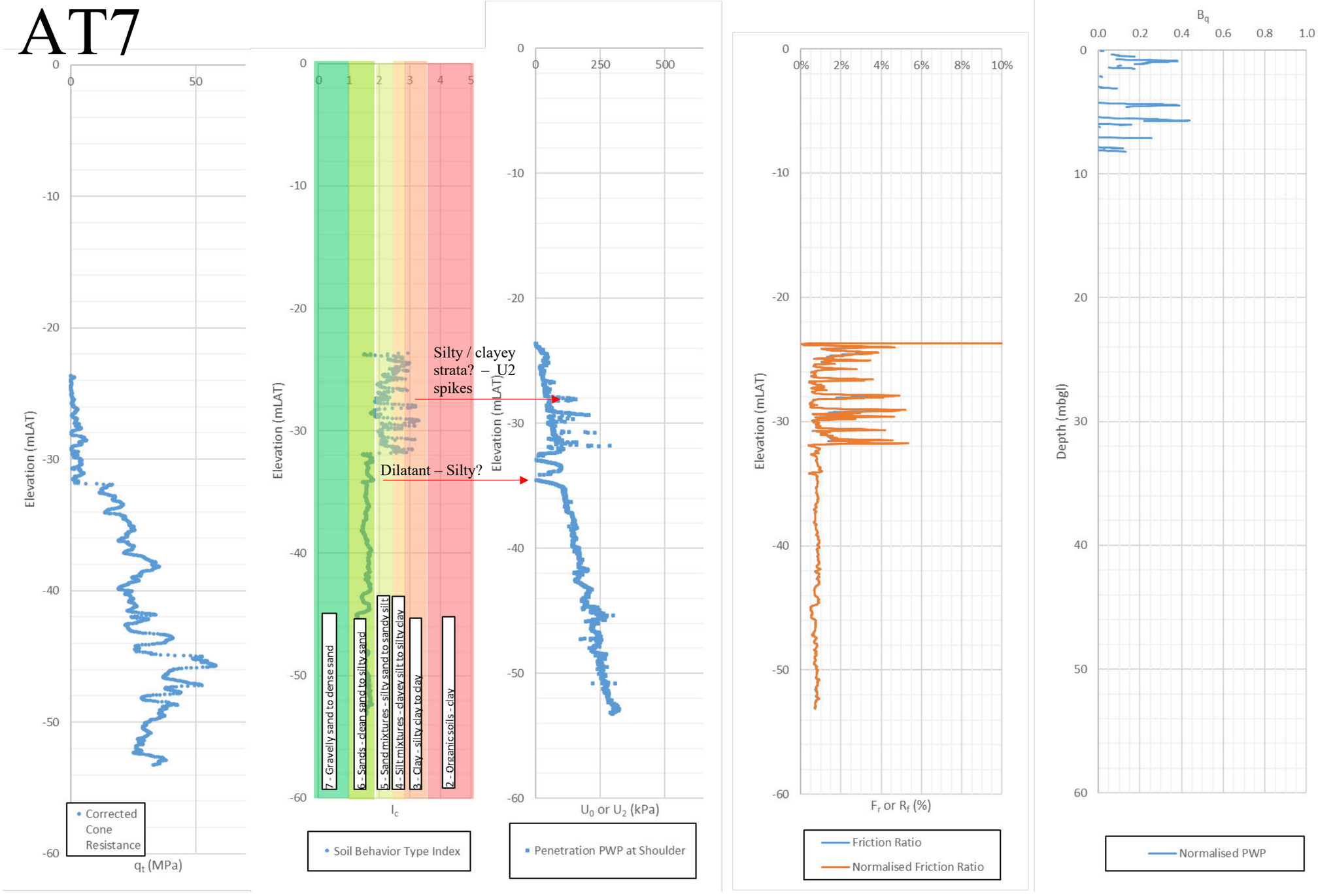


Figure C-17: CPT Summary Profile, CPT AT7 – No nearby borehole

BT6

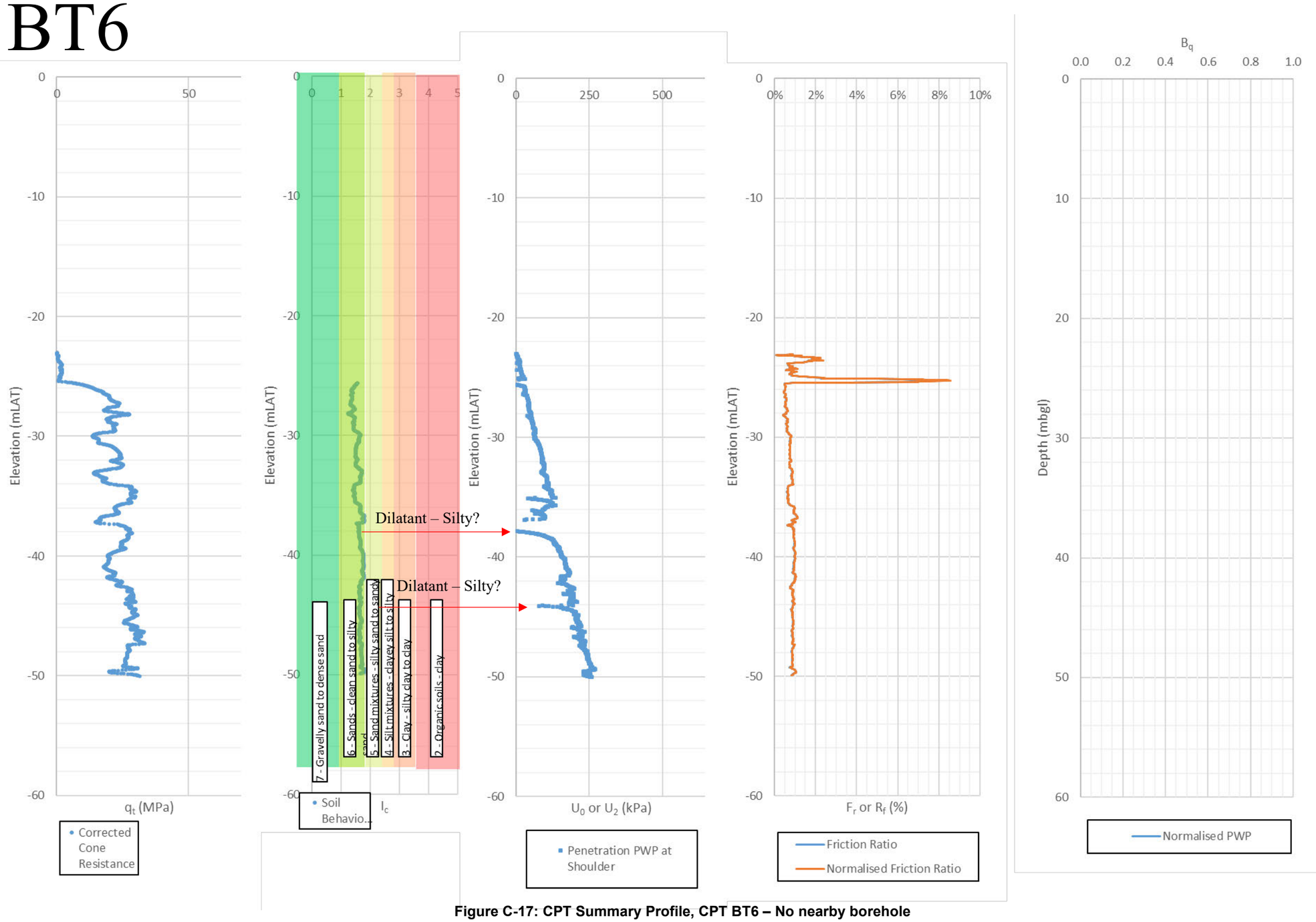


Figure C-17: CPT Summary Profile, CPT BT6 – No nearby borehole

Tunnel FEED Geotechnical Design Report				Document Reference NL-ARM-040-ARU1-110305	
				Revision: 01	**Step**: IFD
				Date: 31/07/2024	
Document Type: REP	**Family Equip:** n/a	**Discipline:** CIV	**Class:** 2	**Page** 1 of 60	



ARAMIS PROJECT



Rev	Step	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
00	IFR	10/06/2024	Issued for Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
01	IFD	31/07/2024	Issued for Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]

This document is issued pursuant to an Agreement between TotalEnergies Nederland B.V and Petrofac Facilities Management Limited which agreement sets forth the entire rights, obligations, and liabilities of those parties with respect to the content and use of the report. Reliance by any other party on the contents of the report shall be at its own risk. Petrofac makes no warranty or representation, expressed or implied, to any other party with respect to the accuracy, completeness or usefulness of the information contained in this report and assumes no liabilities with respect to any other party's use of or damages resulting from such use of any information, conclusions or recommendations disclosed in this document.

Contents

CONTENTS **2**

ABBREVIATIONS **5**

DEFINITIONS **6**

HOLDS **7**

1 INTRODUCTION **8**

1.1 Background 8

1.2 Purpose of Document 9

2 EXISTING SITE CONDITIONS **10**

2.1 Geological Setting 12

2.2 Launch Shaft 15

2.3 Sea Defence 16

2.4 Main Tunnel Drive 18

2.5 Reception Pit 19

2.6 Seismic Considerations 20

3 SHAFT DESIGN **21**

3.1 Brief asset description 21

3.2 Construction sequence 22

3.3 Hydrostatic uplift 23

3.4 Ongoing settlement 24

3.5 Pile foundations 26

3.6 Earth pressures and soil reactions 29

3.7 Base stability 30

4 TUNNEL DESIGN **32**

4.1 Brief asset description 32

4.2 Construction sequence 32

4.3 Simplified soil profiles 32

4.4 Refined settlement analysis: Section B & E 40

5 RECEPTION PIT DESIGN **42**

5.1 Brief asset description 42

5.2 Construction sequence 42

5.3 Slope stability 43

5.4 Sediment transport 45

6 DESIGN DECISION LOG 46

7 GEOTECHNICAL RISK REGISTER 48

8 REFERENCES 51

APPENDIX A SHAFT CALCULATIONS 52

A.1 Uplift thrust and self-weight calculations 53

A.2 Ongoing settlement back-analysis 54

A.3 Pile resistance calculations 55

A.4 Pile group stiffness calculations 56

A.5 Shaft shear base stability calculations 57

A.6 Shaft lateral spring calculations 58

APPENDIX B TUNNEL CALCULATIONS 59

B.1 Small-strain stiffness parameters 59

APPENDIX C RECEPTION PIT CALCULATIONS 60

C.1 Limit equilibrium slope stability calculations 60

List of Figures

Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure 8

Figure 2-1: Site Overview (Google Earth , 2024) 11

Figure 2-2: Geological Cross-Section (note not to scale) 14

Figure 2-3: Plan of Shark Fin site (Rotterdam Port Authority, 2022) 16

Figure 2-4: Subsidence map of Shark Fin site (SkyGeo, 2024). 17

Figure 2-5 Shipping Channel Bathymetry (Fugro, 2023) with possible shallow ravelling slope instability / localised disturbance circled in red 19

Figure 3-1: Proposed shaft cross-section 21

Figure 3-2: Proposed uplift pile group layout 29

Figure 3-3: Bearing-like shear failure mechanism of soil within shaft 30

Figure 5-1: Comparison of proposed slope angles to actual and modelled flow slides in (Stoutjesdijk, de Groot, & Lindenberg, 1994) 44

List of Tables

Table 2-1:Summary of geological units encountered 12

Table 2-2: Summary of unit thickness and levels 12

Table 3-3-1: Hydrostatic uplift check summary 24

Table 3-2: Creep settlement parameter combinations cases to match observations 25

Table 3-3: Pile uplift capacity design parameters and results 28

Table 3-4: Base stability (bearing) check summary 31

Table 4-1: Lower bound soil properties for Section A simplified tunnel analysis 34

Table 4-2: Upper bound soil properties for Section A simplified tunnel analysis 34

Table 4-3: Lower bound soil properties for Section B simplified tunnel analysis.....35
Table 4-4: Upper bound soil properties for Section B simplified tunnel analysis.....35
Table 4-5: Lower bound soil properties for Section C simplified tunnel analysis.....36
Table 4-6: Upper bound soil properties for Section C simplified tunnel analysis.....36
Table 4-7: Lower bound soil properties for Section D simplified tunnel analysis.....37
Table 4-8: Upper bound soil properties for Section D simplified tunnel analysis.....37
Table 4-9: Lower bound soil properties for Section E simplified tunnel analysis.....38
Table 4-10: Upper bound soil properties for Section E simplified tunnel analysis.....38
Table 4-11: Lower bound soil properties for Section F simplified tunnel analysis.....39
Table 4-12: Upper bound soil properties for Section F simplified tunnel analysis.....39
Table 4-13: Lower Bound HS-Small model parameters.....41
Table 4-14: Lower Bound HS-Small model parameters.....41
Table 5-1: Geotechnical parameters for slope stability assessment of reception pit.....43
Table 5-2: Slope stability check summary.....44
Table 6-1: Design Decision Log.....46
Table 7-1: Geotechnical Risk Register.....48

ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
CCS	Carbon Capture and Storage
CO_2	Carbon Dioxide
CPT	Cone Penetration Test
GI	Ground Investigation
FEED	Front-End Engineering Design
HDD	Horizontal Directional Drilling
LAT	Lowest Astronomical Tide (survey vertical datum)
HAT	Highest Astronomical Tide (survey vertical datum)
MASW	Multi-channel Analysis of Surface Waves
NAP	Normaal Amsterdams Peil (Amsterdam Ordnance Datum)
SBT	Soil Behaviour Type
TBM	Tunnel Boring Machine
UXO	Unexploded Ordnance
Geological Units:	
MGR	Made Ground
NLD	Naaldwijk Formation
KR	Kreftenheye Formation
WN	Winterton Shoal Formation

DEFINITIONS

Terminology	Definition

HOLDS

No.	Section	Hold

1 INTRODUCTION

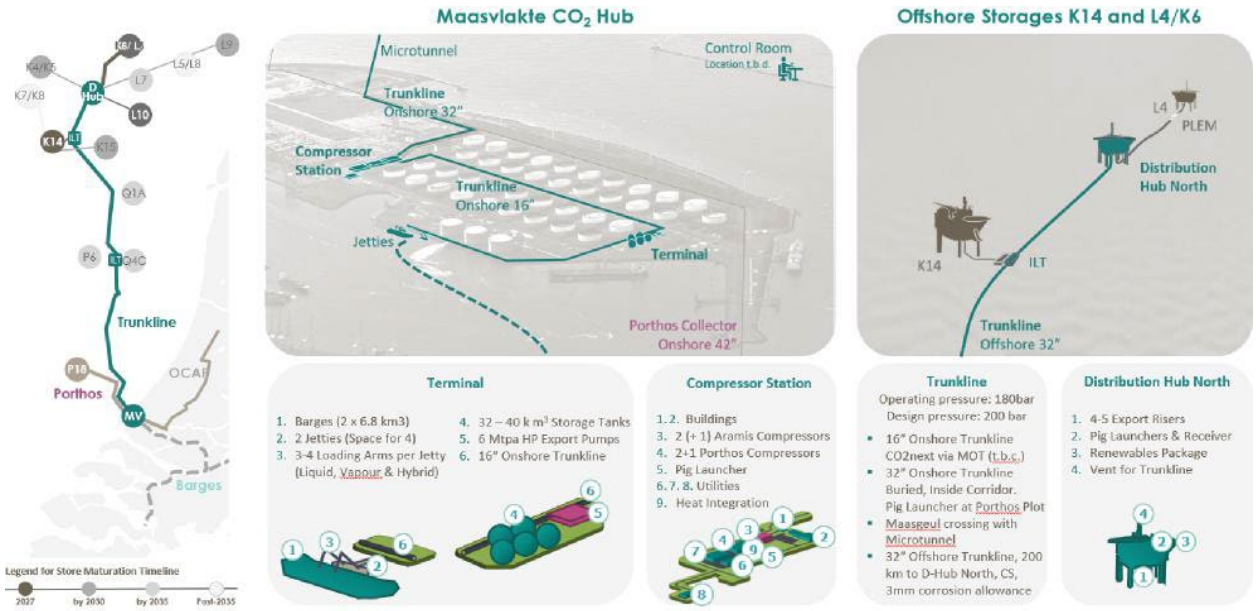
1.1 Background

The Aramis project is a cooperation between Shell, TotalEnergies, Gasunie and EBN to utilise depleted gas fields and potentially aquifers in the Dutch North Sea to establish an open-access CCS infrastructure for transport and storage, targeting hard-to abate industrial emissions in the Netherlands and Europe.

This part of the project provides the transport of CO_2 from the onshore terminal to an offshore platform, which is used as a distribution hub (D-Hub). Other parts of the project are provided by CO2next and Porthos, while the actual storage in the depleted offshore gas fields under the North Sea is performed by Shell and TotalEnergies as part of their offshore operations.

In Figure 1-1 below an overview of the envisaged CCS infrastructure is given. The left panel illustrates the trunkline that transports the CO_2 from the Maasvlakte to the offshore storage. The middle panels illustrate the Maasvlakte Hub with the Porthos compressor station and the CO2next Terminal. The right panel shows the platforms of TTE and Shell.

Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure



1.2 Purpose of Document

The purpose of this document is to record design methodology and design assumptions as part of the FEED design for the Aramis onshore and nearshore works at the Maasvlakte hub. Available relevant data, geotechnical parameters and material properties are summarised herein.

Geotechnical parameters, assumptions and calculations to support FEED design of the following assets is covered within this report:

- Launch shaft: 16.7m internal diameter, 1.2m thick cast in-situ concrete D-wall panels.
- Pipejacked and segmental TBM tunnels: 3m internal diameter with precast concrete tunnel rings.
- Reception pit: underwater dredged slopes into native material for retrieval of TBM and connection to trunkline.

Reference is made to the following documents:

- GIR: NL-ARM-040-ARU1-110303
- Basis of Design: NL-ARM-040-ARU1-110301
- Preliminary design note: NL-ARM-040-ARU1-110302
- FEED design report: NL-ARM-040-ARU1-110306

A list of major design assumptions is summarised in Section 6. For details of geotechnical risks refer to Section 7. A list of all the referenced documents is provided in Section 8.

This report has been produced by Arup for the proposed Aramis project Works. It takes into account the particular instructions and requirements of our client. It is not intended for and should not be relied upon by any third party and no responsibility is undertaken to any third party.

The design life of the infrastructure is taken as 30 years as per the Basis of Design report. Where an increased design life of 100 years is expected to significantly influence design, e.g. on issues of durability, soil behaviour, return periods, comment has been provided on the impact.

Within this FEED Design reference is made to the following codes and standards:

- NEN 9997-1+C1
- NEN-EN 1991-1-7+C1+A1:2015/NB:2019
- NEN-EN-ISO 19902:2020
- CEN-EN 1997-1: Eurocode 7

2 EXISTING SITE CONDITIONS

For the purposes of FEED design, the project is subdivided into four zones as presented in Figure 2-1:

1. Launch Shaft (Maasvlakte shark fin site).
2. Sea Defence (boundary of Maasvlakte shark fin site).
3. Main Tunnel Drive (offshore - Maasgeul shipping channel / North Sea);Reception Pit
4. Reception Pit (for TBM recovery) (offshore – North Sea).

For consistency with other parts of the design and previous reports, all elevation data is presented in metres to Lowest Astronomical Tide datum (mLAT) which is the designated offshore chart datum in the Netherlands as per NLLAT2018 (Dutch Ministry of Defence, 2020). Within the shark fin site LAT is given as 1.03m below Normaal Amsterdams Peil (NAP) (Mott MacDonald, 2023) which has been used wherever NAP to LAT conversions were required.



Figure 2-1: Site Overview (Google Earth , 2024)

2.1 Geological Setting

The site is broken down into three main geological units the Naaldwijk Formation, the Kreftenheye Formation and the Winterton Shoal Formation, with compositions and extents derived from both geological models and memoirs (DINOloket, 2024), and intrusive exploratory hole data (Fugro, 2023). Table 2-1 summarises the stratigraphic sequence and lithological descriptions of the near surface geology and Table 2-2 summarises the formation unit thickness and levels across the site.

The Naaldwijk Formation is underlain by a highly organic basal peat layer, often referred to as the Nieuwkoop Formation. Onshore, the Naaldwijk Formation is overlain by Made Ground approximately 10m in thickness, although Made Ground is seen with depths up to 20m beneath the sae defence. The Made Ground is dredged material from the North Sea.

Figure 2-2 presents the interpreted geology at intrusive borehole and CPT locations.

Table 2-1:Summary of geological units encountered

Geological Formation	Age	Depositional Setting	Lithological Description
Naaldwijk Formation	Holocene	Tidal marine comprising littoral, coastal dune, washover, and tidal basin deposits	Very fine to very coarse sand deposits, partly clayey, silty, or calcareous. Grey to blue clay and silt layers present along with relatively thin, discontinuous peat layers. Uncomformable or gradual transition to Nieuwkoop (Base Peat) or Kreftenheye Formation.
Kreftenheye Formation	Late Pleistocene to Early Holocene	Fluvioglacial, fluvial, and river plain deposits	Medium to coarse sand, moderate to very high gravel content. Localised fine to coarse gravel and occasional silty clay.
Winterton Shoal Formation	Early Pleistocene	Primarily low energy open marine deltaic or delta and fluvial deposits	Predominantly fine-grained deposits however full lithostratigraphy undetermined

Table 2-2: Summary of unit thickness and levels

Geological Unit	Exploration type	Top level (mLAT)	Base level (mLAT)	Thickness (m)
Made Ground*	Sonic borehole	+3.9 to +6.9	-3.0 to -13.4	7.0 to 20.3
	CPT	+3.8 to +7.1	-3.9 to -13.1	9.0 to 17.0
Naaldwijk Formation	Sonic borehole	-3.0 to -18.1	-19.2 to -23.1	1.1 to 18.6
	CPT	-3.9 to -13.1	-16.9 to -26.0	4.5 to 33.0

Geological Unit	Exploration type	Top level (mLAT)	Base level (mLAT)	Thickness (m)
Kreftenheye Formation†	Sonic borehole	-19.2 to -23.1	-39.6 to -56.1	21.7 to 35.7
	CPT	-16.9 to -26.0	-44.2 to -53.1 where proven	48.0 to 57.0
Winterton Shoal Formation	Sonic borehole	-39.6 to -56.1	Not proven	Not proven
	CPT	-39.6 to -56.1	Not proven	Not proven

* Made Ground is only present around the Maasvlakte reclaimed land site. Note the sea defence embankment top level is higher than locations sampled and composition may vary.

† Base of Kreftenheye Formation not proven in all sonic boreholes. Generally, the CPTs do not prove the base of the Kreftenheye Formation.

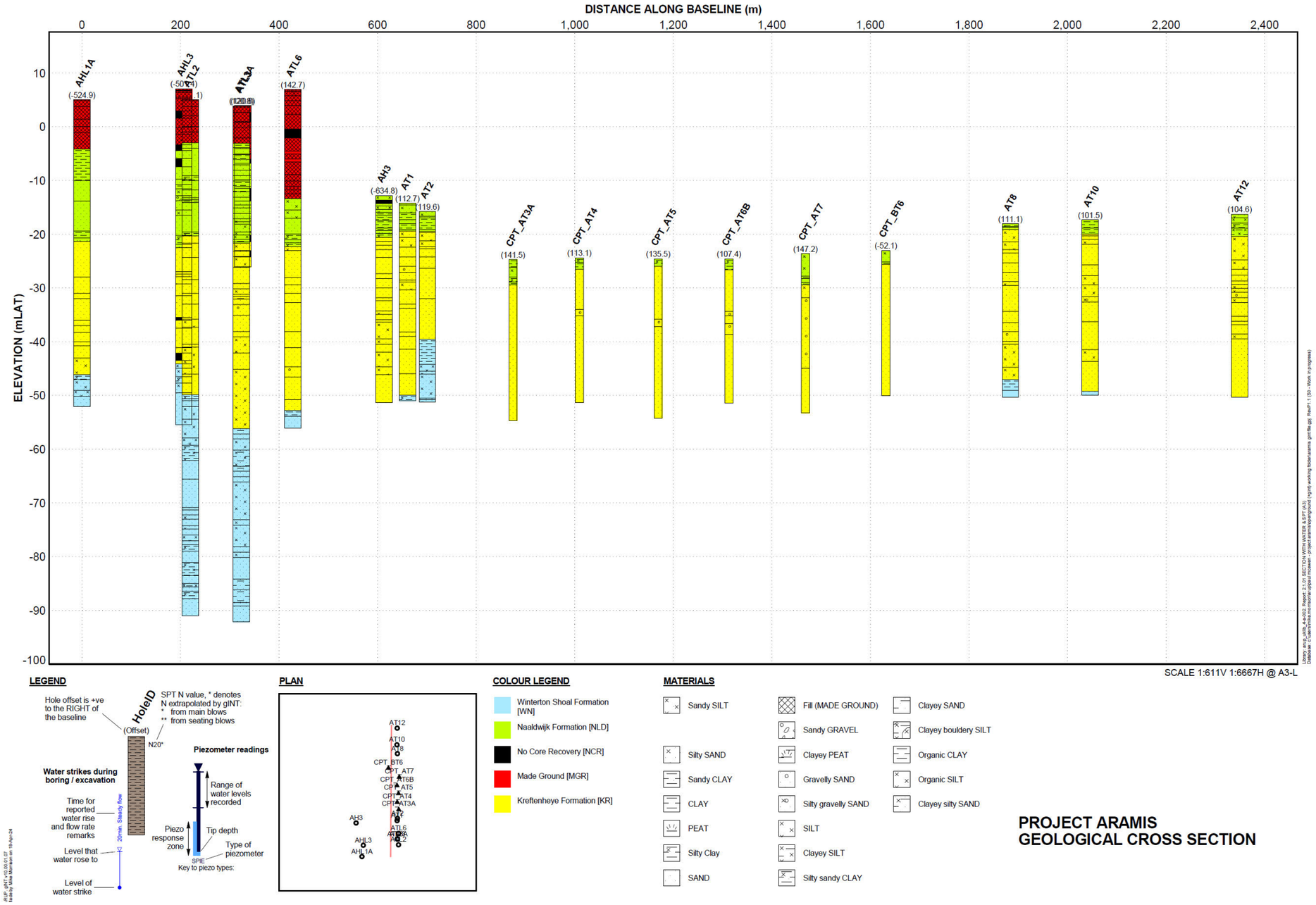


Figure 2-2: Geological Cross-Section (note not to scale)

2.2 Launch Shaft

The launch shaft site is situated onshore within the Shark Fin area of Maasvlakte. The Maasvlakte is an extension of the Port of Rotterdam constructed by reclaiming land from the North Sea in two periods between the late 1960s to early 1970s (Maasvlakte 1) and early-to-mid-2000s (Maasvlakte 2) (Kadaster, 2024). As such the uppermost strata is Made Ground comprised of dredged seabed material, and the groundwater is saline, with a unit weight (γ_w) of 10.1kN/m^3.

Given that shallow deposits are composed of dredged seabed material, and the Port of Rotterdam was of strategic importance during both World Wars, there is a potential risk of encountering unexploded ordnance (UXOs). Fugro conducted a UXO investigation in 2023 and the associated preFEED study of Mott MacDonald designated the Shark Fin as a site of low UXO risk (Mott MacDonald, 2023).

The Maasvlakte represents a sizeable component of the Port of Rotterdam, with extensive industrial – primarily petrochemical - and operational activity in close proximity to the Shark Fin site. LNG (Liquid Natural Gas) and other petrochemical refineries and storage facilities are situated east and southeast of the shaft site, with the closest LNG storage tank approximately1.2km east of the site. A firework and pyrotechnic storage and repackaging facility is located within the Shark Fin site with an occupied building exclusion zone enforced in the immediate proximity (Figure 2-3).

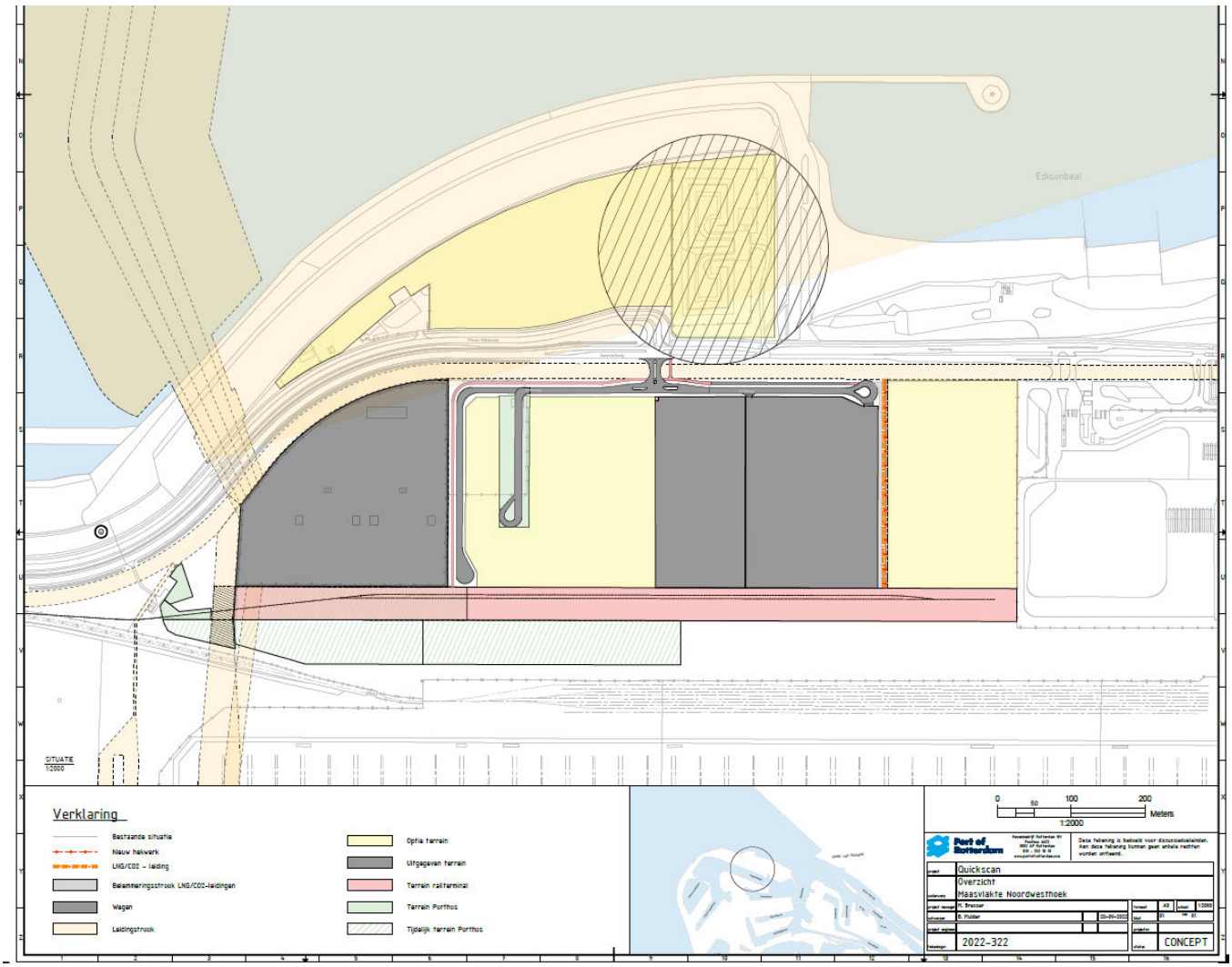


Figure 2-3: Plan of Shark Fin site (Rotterdam Port Authority, 2022)

Ongoing natural subsidence, resulting in a net settlement, is occurring at the Shark Fin (and wider Maasvlakte) site, with recent InSAR surveys indicating linear vertical displacement rates of approximately 4-6mm/year around the shaft site (SkyGeo, 2024). Consolidation of the basal peat layer due to the recent (post 2000s) placement of sand fill for the construction of the Maasvlakte has been identified as a possible cause of the ongoing settlement.

2.3 Sea Defence

The Shark Fin Sea Defence is located approximately 150m north of the proposed shaft location and forms the shoreline of the Shark Fin, being constructed atop the reclaimed land around 2004 as part of the Maasvlakte 2 expansion (Kadaster, 2024).

As with the shaft site, the use of dredged seabed material in the construction of the Maasvlakte presents a possible UXO risk. In addition, the hot-works exclusion zone of the firework and pyrotechnic storage area encompasses a small area of the Sea Defence.

Relatively few datapoints exist on the Sea Defence embankment itself due to the soft landscaping, with available data indicating a linear vertical displacement rate of approximately -3-4mm/year (SkyGeo, 2024).

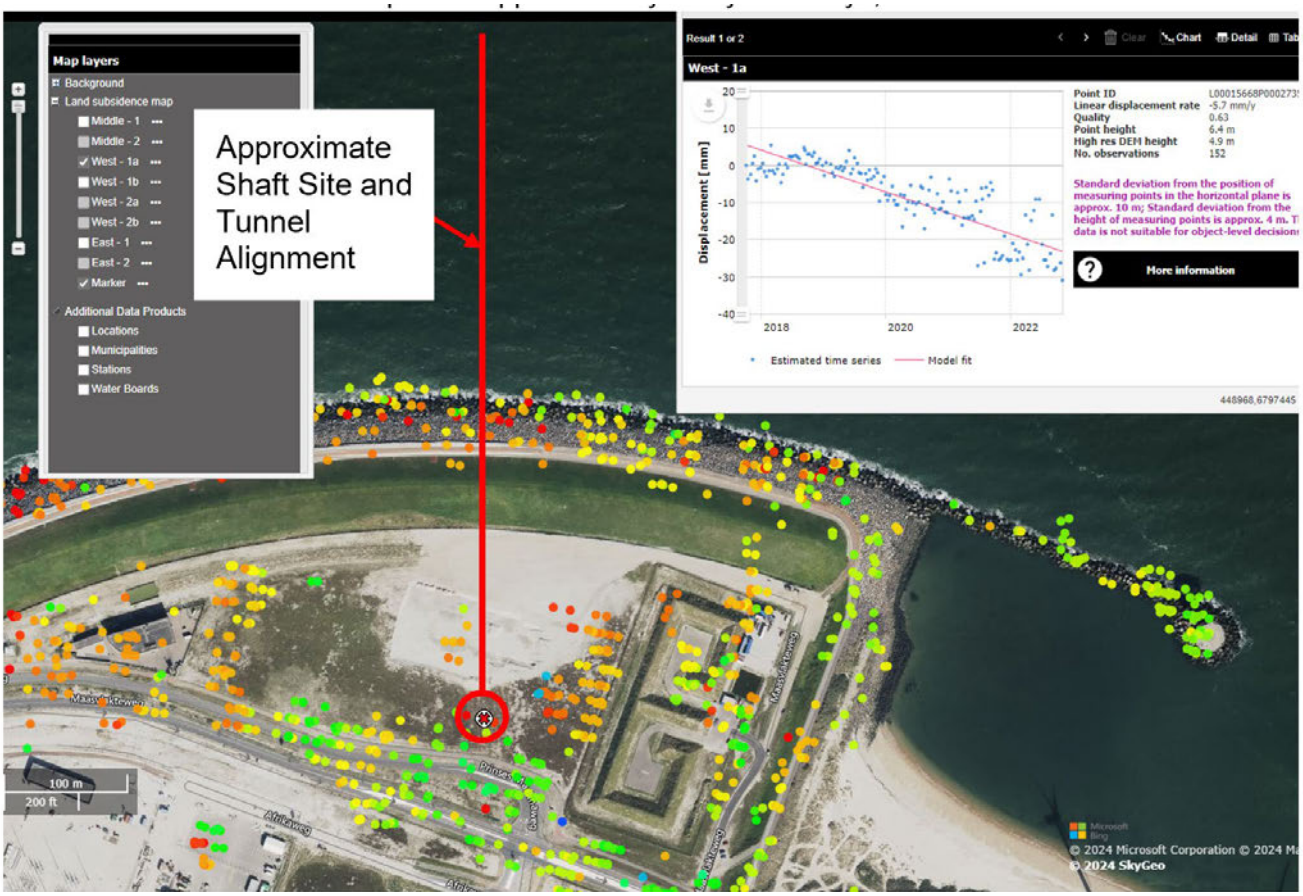


Figure 2-4: Subsidence map of Shark Fin site (SkyGeo, 2024).

A 2018 slope stability assessment conducted by Deltares concluded that a shallow-slip mechanism would govern on the Sea Defence, however suggested that no instability of the embankment would occur during tunnelling operations for the 4 HDDs as part of the TenneT cable installation (Deltares, 2018). Satellite imagery of the Sea Defence highlights an apparent shallow slip within the landward face of the embankment around 2004, with the slipped area subsequently re-filled following the slip. Given the geometry and location of the slip, undermining of the embankment toe during the construction of the (since removed) dirt road is expected to be the most likely cause of the instability.

2.4 Main Tunnel Drive

The Main Tunnel Drive section of the site passes beneath the Maasgeul shipping channel and rises towards seabed level to breakout into a TBM recovery pit in open water beyond the live shipping lanes. The Maasgeul shipping channel is frequently dredged by the port authority to maintain a relatively consistent seabed level of approximately -25mLAT (Fugro, 2022). Current tunnel alignment proposals give an approximate vertical clearance between tunnel crown and seabed of around 14m.

Based on the recent Fugro ground investigation (Fugro, 2023) the base of the Naaldwijk is encountered between -16.9mLAT and -26.0mLAT, i.e. only infrequently encountered below dredge level. Dredging operations appear to have removed the basal peat layer of the Naaldwijk Formation across most of the shipping channel and to have reworked and disturbed the granular strata of the Naaldwijk and uppermost Kreftenheye Formation. The interface between the two units is unclear due to dredge disturbance.

The 2023 Mott MacDonald UXO assessment has designated the shipping channel as an area of Low UXO risk due to the frequent dredging activities but does note that UXO burial may exceed 3m (Mott MacDonald, 2023). However, historical bathymetry profiles indicate that dredging activity has reduced the shipping channel seabed level by approximately 7m from the 1964 level, hence the low UXO risk (Mott MacDonald, 2023).

The bathymetry data (Fugro, 2023) shows possible localised shallow ravelling slope instability on the northern side of the dredged channel following the alignment of the TenneT subsea cables. This is supported by anecdotal evidence of a slope instability during the excavation for TenneT subsea cables. The suspected slope instability may have been within a very shallow Peat layer in the sloping seabed to the north of the dredged channel, although it is possible that the bathymetry scars were caused by localised disturbance from a dredged trench during cable laying works. Note that the tunnel drive has been extended beyond the shipping channel to minimize the risk of dredging for the reception pit affecting the TenneT cables and is anticipated to be located in an area with less extensive surface disturbance of the seabed. Refer to the FEED design report for details on impact assessment of tunnel construction on the TenneT cables and sea defences.

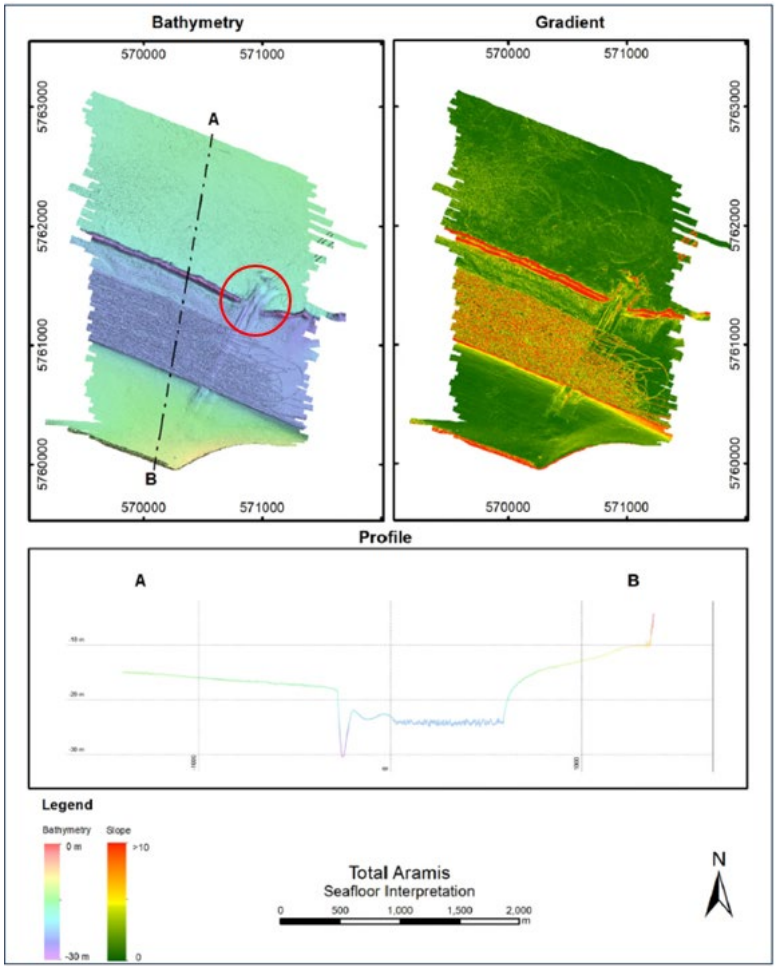


Figure 2-5 Shipping Channel Bathymetry (Fugro, 2023) with possible shallow ravelling slope instability / localised disturbance circled in red

2.5 Reception Pit

The reception pit for recovery of the TBM is located to the north of the Maasgeul shipping channel. Seabed level is around 7m higher than the shipping channel level, with an approximate ground level of -18mLAT. the proposed reception pit site has not experienced any recorded dredging activities, and as such the soft clays and peats at the base of the Naaldwijk Formation are encountered in the shallow deposits. The presence of these lower strength strata is considered in the design of subsea slopes for the reception pit.

Due to the absence of dredging activities, the offshore reception pit site contains extensive magnetic anomalies, and as such was designated as an area of moderate UXO risk by the 2023 Mott MacDonald UXO assessment, with the potential presence of high-explosive charges, sea-mines, and torpedoes in the area (Mott MacDonald, 2023).

2.6 Seismic Considerations

As noted in the Dutch National Annex to EN 1991-1-7 (NEN, 2019), the Rotterdam area is noted to have relatively low risk of seismic action (Zone V as per Figure NB4; 0.2m/s^2 acceleration for return period of 5,000 years). The design life of the infrastructure is 30 years, i.e. a relatively short exposure to seismic hazard. Once the shaft and tunnel are backfilled seismic actions are not anticipated to present a risk of structural damage. Risk of damage to waterproofing systems and leakage following a seismic event is not considered of critical importance in the backfilled state. Seismic hazards relevant to the construction stage are expected to be based on a relatively short return period, given that construction will likely be complete in less than five years.

Given the risk levels and short service life of the infrastructure, the FEED design assumes seismic actions are not critical. Increasing the design life from 30 to 100 years will increase the associated seismic risk and would require more detailed seismic assessment, however this increased risk would apply to the backfill state only (construction duration likely not significantly affected) which is expected to not be particularly sensitive to seismic actions. The risk of liquefaction in loose, poorly-graded sands for a 100-year design life may become a critical factor in design.

Based on offshore MASW survey results (Fugro, 2022), which indicate a thin surface layer <5m thick of loose/soft soils (shear wave velocity below 150m/s) and shear wave velocities of 150-250m/s within the Kreftenheye Formation. MASW results indicate most of the site is likely to be Site Class C in accordance with EN 1998-1:2004, although there may be localised areas of Site Class D. MASW surveys within the shipping channel were limited by acoustic blanking, expected to be due to shallow gas within the Naaldwijk Formation near surface.

No seismic velocity measurements on the shark fin site were available at the time of writing of this report.

3 SHAFT DESIGN

3.1 Brief asset description

The launch shaft design comprises a ring of cast in-situ concrete diaphragm wall panels, with inner diameter of 16.7m and panel thickness of 1.2m. Panels are curved at an angle of 30° and constructed sequentially with panels joined with a water bar and shear key cast into the panel with split stop end form.

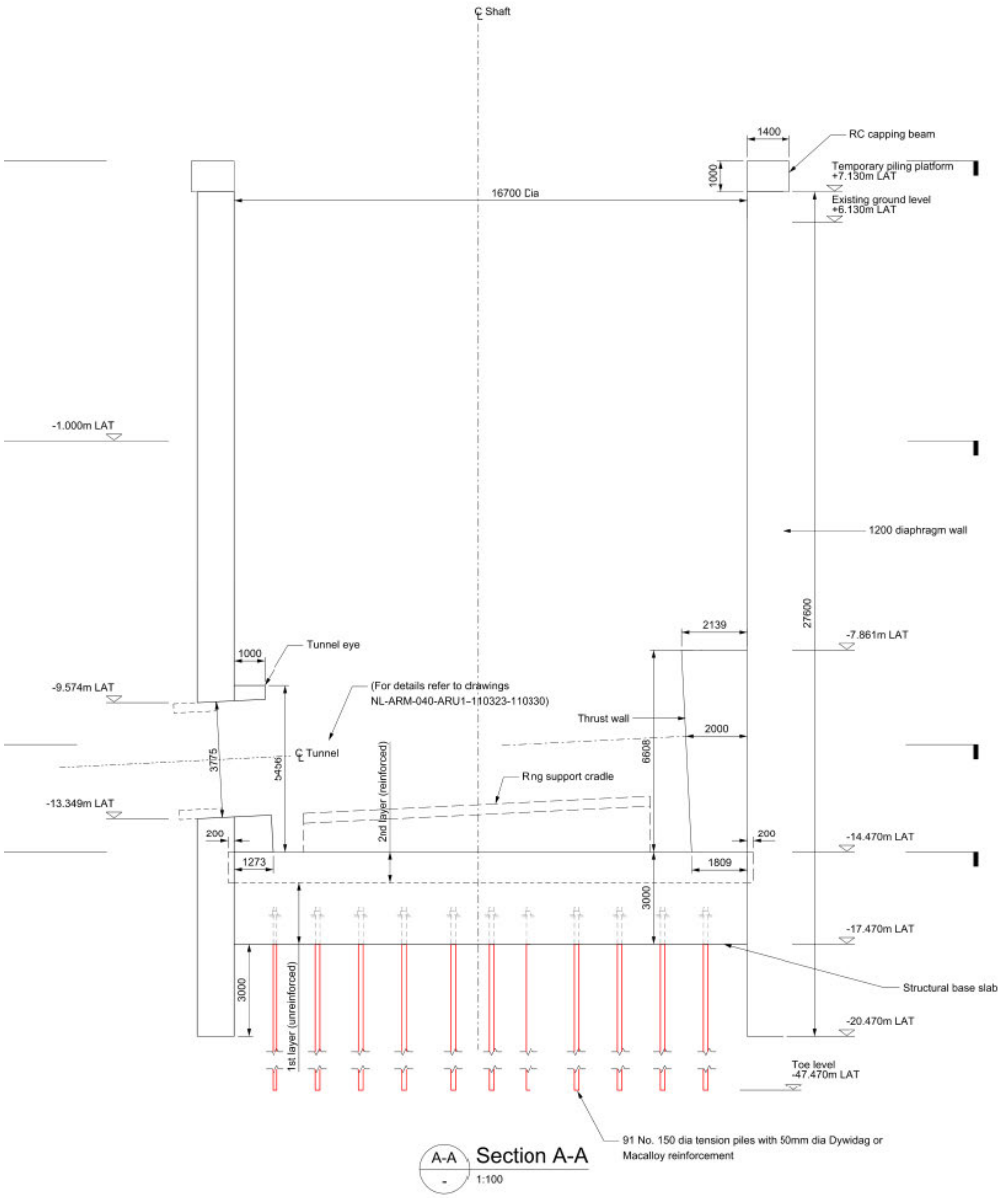


Figure 3-1: Proposed shaft cross-section

The launch shaft base slab top level is -14.470mLAT, approximately 20-21m below existing ground surface level, with base slab invert level at -17.470mLAT, approximately 23-24m below existing ground surface. An upper reinforced concrete slab of approximately 1m thickness is constructed on top of a lower unreinforced concrete slab of approximately 2m thickness. Diaphragm wall panel toe levels will extend approximately 3m from base slab invert level to -20.47 mLAT, or around 27m below piling platform level, i.e. the shaft is anticipated to extend through the Made Ground and into the Naaldwijk Formation, with the base slab anticipated to rest on the sands and organic clays of the Naaldwijk Formation which overlie the Niewkoop Peat. The diaphragm wall panels are expected to extend into the organic clays and peat at the base of the Naaldwijk Formation.

Refer to the FEED design report for details of structural design and drawings NL-ARM-ARU1-110332, NL-ARM-ARU1-110333 and NL-ARM-ARU1-110334.

For transfer of hydrostatic uplift forces from the base slab to the anchor piles, an unreinforced concrete base slab, cast underwater, of 2m thickness has been designed. Anchor piles have an oversize head plate connection detail to provide anchorage and transfer of load within the slab.

Anchor piles comprise 150mm nominal diameter cased and drilled micro-piles with grout injection, reinforced by a single high-tensile steel bar. The bar is to be centralised within the bore by spacers along its length.

3.2 Construction sequence

The following simplified construction sequence is assumed for FEED design:

- Set up site, plant working platform, temporary excavation support and guide walls.
- Excavate diaphragm wall panels under support fluid and cast in-situ concrete walls.
- Install anchor piles inside shaft, working from existing ground surface level. Bars curtailed at base slab level with threaded section protruding.
- When diaphragm wall concrete has hardened, excavate inside shaft (suction dredging or similar) to base slab invert level **without dewatering**. Note that the shaft **must not be dewatered** at this stage to maintain stability of the base soil plug.
- Fit head plates to threaded section of anchor piles, working underwater.
- Pour underwater concrete for unreinforced base slab.
- When base slab concrete has hardened, drain shaft and carry out any required patch repairs to walls. To minimize leaks. Note that continuous or extended dewatering is not permitted under the permit.
- Construct reinforced base slab including connections to shaft and internal structures as required for tunnel break-out, jacking reaction and winching.
- Break through shaft wall for tunnel, construct tunnel and CO_2 pipeline.
- Construct maintenance / operation access structures (as required).

- Backfill shaft.

3.3 Hydrostatic uplift

As per Section 6.5 of the GIR, a worst case, an Upper Bound groundwater level of +4mLAT is assumed for ULS (UPL limit state) buoyancy and hydrostatic uplift checks for the temporary case before the shaft is infilled. N.B, In the Maasgeul shipping channel HAT is +2.77mLAT, with extreme sea-levels for a 40-year maximum at +4.5mLAT as per the Offshore Metocean Design Basis NL-ARM-100-ARM1-100004 (TotalEnergies, 2023).

An options assessment was carried out on design options for uplift resistance, including:

- Jet grouted plug.
- Inclined ground anchors (through the shaft wall).
- Extended diaphragm wall panels (acting as barrette piles).
- Driven piles at ground surface, connected to the shaft by a ring beam.
- Micro-piles connected to the base slab.

Given the difficulties and safety hazards arising from forming a positive structural connection underwater, which would likely require fixing of slab reinforcement to diaphragm wall box-outs and couplers, it is assumed that there is no load transfer between the shaft walls and unreinforced base slab. As a result, solutions which relied on uplift load transfer through the shaft walls were discounted. Jet grouting was not adopted as this technique is not commonly undertaken in the Netherlands and achieving suitable watertightness in the high permeability founding soil may prove challenging. Therefore, the solution of micro-pile anchors, connected directly to an unreinforced concrete base slab capable of resisting the hydrostatic uplift loads on the slab was adopted.

The self-weight of walls is not considered to contribute to resistance to hydrostatic uplift until after the reinforced slab has strengthened. As groundwater pressures are expected to recharge very quickly in the sand and respond to tidal fluctuations, the critical case for uplift is considered to be during construction directly after draining the shaft, with no allowance for self-weight of internal structures or the upper reinforced slab within the shaft.

An additional Accidental Limit State (ALS) robustness check has been carried out to assess stability for groundwater level approximately at surface level (+6mLAT) proximate to the 1:10,000-year flood event as per Mott MacDonald (Mott MacDonald, 2023). The additional ALS check does not govern the tension pile design.

Downdrag from settlement of the shark fin site is not anticipated to interact with hydrostatic uplift forces for ULS hydrostatic uplift failure mechanisms. Refer to Section 3.4 for further detail.

Inputs, partial factors and outputs of the hydrostatic uplift check are summarized in Table 3-3-1. Uplift forces are also used as an input to the pile foundation design in Section 3.5.

Table 3-3-1: Hydrostatic uplift check summary

Parameter	Symbol	Value
ALS Worst Case Groundwater level (mLAT)	h_w	+6.00
UPL Upper Bound Groundwater Level (mLAT)	h_w	+4.00
Lowest excavation level, not including overdig (mLAT)	h_{min}	-17.47
Overdig (m)	d_o	0.30
Unit weight of groundwater (kN/m^3)	γ_w	10.1
Unit weight of concrete (kN/m^3)	γ_w	24.5
UPL Permanent Unfavourable Loads Partial Factor	$\gamma_{G;dst}$	1.0
UPL Permanent Favourable Loads Partial Factor	$\gamma_{G;stb}$	0.9
Characteristic groundwater uplift force, +6mLAT (kN)	U_{k1}	51,923
Characteristic groundwater uplift force, +4mLAT (kN)	U_{k2}	47,498
Characteristic weight of concrete slab (kN)	$W_{c,k}$	10,733
UPL Design weight of concrete slab (kN)	$W_{c,d}$	9,660
ALS Design groundwater uplift force, +6mLAT (kN)	U_a	51,923
UPL Design groundwater uplift force, +4mLAT (kN)	U_d	47,498
ALS Design net uplift force, +6mLAT (kN)	$U_{a,net}$	41,190
UPL Design net uplift force, +4mLAT (kN)	$U_{d,net}$	37,838
Characteristic weight of soil plug (to 30m below base slab)	$W_{P,k}$	118,281
Design weight of soil plug (to 30m below base slab)	$W_{P.d}$	106,453
Characteristic / design buoyancy force on soil plug	U_P	66,369
UPL Utilisation in plug failure (no side friction, GWL = +4mLAT)	Λ_1	95%
ALS Utilisation in plug failure (no side friction, GWL = +6mLAT)	Λ_2	88%

3.4 Ongoing settlement

Ongoing settlement of the Maasvlakte is noted in the GIR; settlements are in the order of 5mm per year when averaged over the period 2018 to 2023. Filling of the latest stage of the Maasvlakte is noted to have been completed in 2004; given the sand-dominated stratigraphy with relatively thin clay strata (typically 2-3m thick), primary consolidation is expected to be complete before 2018 and hence ongoing settlements are anticipated to be due to secondary consolidation / creep.

Back analysis of creep settlement has been undertaken to understand the most likely distribution of strain within the soil profile, which is in turn used to understand how this settlement affects the shaft and tunnel.

Oedometer tests within the Naaldwijk Formation clays (Fugro, 2023) indicate a range of coefficients of secondary compression, C_α and ε_α, of 0.0025 to 0.0065 and 0.11% to 0.28% respectively. There is no site-specific test data available for secondary compression in the Made Ground or Peat and values have been assumed with calibration against sensitivity analysis below.

Firstly, using the observed average settlement from 2018 to 2023 (SkyGeo, 2024), the required ε_α value in the Made Ground only and Peat only which reproduced the observations was calculated. This indicated:

- ε_α = 2% (per log cycle) in Made Ground is required if the Made Ground has generated all observed settlements
- ε_α = 19% (per log cycle) in Peat is required if the Peat has generated all observed settlements

The above value of ε_α = 2% (per log cycle) back-calculated for the Made Ground is significantly larger than expected for predominantly sandy soils (Mesri, Rokhsar, & Bohar, 1973), even if hydraulically placed (Watts & Charles, 2015). On this basis it is considered highly unlikely that the observed settlement arises solely from the Made Ground.

The above value of ε_α = 19% (per log cycle) back-calculated for the Peat is above the upper bound stated by Mesri et al. (Mesri, Rokhsar, & Bohar, 1973) and significantly larger than the values of 1.6% to 7.6% observed by Long et al. (Long, et al., 2022). It is considered unlikely that the observed settlement arises solely from the Peat, although the Peat may produce a significant proportion of settlement observed.

To assess a likely breakdown of settlement between these two strata, further sensitivity analysis was performed by bounding the calculation between the most probable value from Long et al. (Long, et al., 2022) of 2.5% and the upper bound of 7.6%. Calculation of required combinations of creep parameters were developed assuming:

- A coefficient of secondary compression of ε_α = 0.22% in Naaldwijk Formation clays, i.e. corresponding to the upper bound.
- A coefficient of secondary compression of ε_α = 0.1% in natural sand soils.
- Average settlement of 5mm / year from 2018 to 2023.

Table 3-2: Creep settlement parameter combinations cases to match observations

ε_α in Made Ground	Settlement in Made Ground	ε_α in Peat	Settlement in Peat
0.2%	0.5mm/yr	7.6%	4.0mm/yr
1.2%	2.9mm/yr	2.5%	1.3mm/yr

For a predominantly sandy hydraulic fill, the creep rate of 1.2% per log cycle in the Made Ground is significantly higher than a number of published sources for similar poorly-graded sands (Murayama, Michihiro, & Sakagami, 1984) (Enomoto & Koseki, 2015) which suggest that creep rates may be well below 0.1% per log cycle from 20 years after placement. It is therefore likely that most of the settlement observed is as a result of creep in the Peat.

Settlement of the Peat is unlikely to affect the piles as the removal of the shaft overburden will unload the Peat and other soils beneath the shaft. This is expected to result in heave movements upwards, likely realized relatively quickly, before the base slab is cast, with minimal long-term movements due to the predominantly free-draining sandy stratigraphy. Once overburden is removed, it is anticipated the Peat will become heavily over-consolidated and therefore experience negligible ongoing creep. Ongoing regional settlement of the shark fin site may also drag the shaft downwards, however compliance introduced at the base of diaphragm wall panels due to base debris is expected. This is not anticipated to provide significant resistance to downdrag and it is expected the shaft will likely follow the settlements of the shark fin site without attracting significant axial compression of the shaft due to downdrag.

Filling of the shaft will reload the Peat and other soils beneath the shaft, likely reactivating a component of creep, although this may be lower due to the induced over consolidation, particularly if the backfill is placed significantly lighter than the previous overburden. As noted above, the shaft is generally expected to move in line with the shark fin site due to wall base compliance. After several years, a small base resistance may develop and it is possible the shaft may settle at lower rates than the surrounding site, developing an increased protrusion above ground level. For a 100-year design life, these effects are likely to become more significant and induced loading, details to mitigate changes in levels and differential settlements will need to be considered.

Refer to Appendix A2 for settlement back-analysis calculations.

3.5 Pile foundations

The FEED Design piled foundations to resist hydrostatic uplift have been developed assuming a temporary vibrated steel casing and self-drilling hollow central bar, to allow drilling without polymer fluid. Other forms of anchorage, such as solid threadbars, are an alternative option which may be considered during the detailed design phase, although the detailed designer should consider the impact of construction methods on skin friction in accordance with NEN9997 for alternative construction methods. A 150mm nominal diameter has been selected to provide adequate concrete cover. A small diameter pile was selected as the minimum pile length is constrained by a soil plug uplift failure mode and therefore efficiencies from shorter piles lengths possible for larger-diameter piles were not possible to realise.

To fulfil the 30-year design life of the structure, an allowance for corrosion of the central bar over this timescale is to be included to provide a sacrificial thickness of the central steel bar. Due to the deep burial depth of anchor piles and permanent immersion within saline groundwater with limited oxygen supply, a worst-case corrosion loss of 1.0mm thickness, within the Peat stratum (aggressive natural soil), is assumed as per Table 4-1 of EN 1993-5:2007.

The design of pile foundations follows NEN 9997-1+C1 (2012) and is based on CPTs ATL-1, ATL-1A and ATL1D, i.e. CPTs at the proposed shaft location which probe to sufficient depth. The reduction in overburden from shaft excavation is accounted for by assuming a boundary condition of zero effective stress at base of shaft excavation level. From base of excavation to the toe of the shaft wall, effective stress is assumed to increase linearly according to the unit weight of the soil (i.e. assuming an infinitely wide excavation relative to depth). From below the base of the shaft toe, the reduction in effective stresses from excavation are modelled as a circular foundation with a negative pressure equivalent to the reduction in overburden, with stress distribution for a circular footing on an elastic soil (Whitlow, 2000). It is noted that, as the CPT cone resistance in the Kreftenheye sands is typically > 15MPa (i.e. corresponds to the upper limit for skin friction in NEN9997), the overburden reduction is the most influential factor in determining pile resistance. ULS uplift failure assumes that at failure, piles are able to all mobilise their ULS shaft resistance i.e. strain softening does not occur at movements required to mobilise all piles.

As an alternative uplift failure mechanism, a plug uplift equilibrium check is carried out assuming the failure of a cylinder of soil extending from the base of the piles to the shaft base slab without accounting for side shear.

For structural modelling of the base slab, the program PIGLET (Randolph, 2021) is used to calculate group interaction and develop reaction springs. PIGLET is known to overestimate stiffness of edge piles through idealizing the soil as linear elastic (varies from 29% to 167% of the average); implementing a non-linear response to allow redistribution from the most heavily loaded piles produces a more uniform loading (varies from 81% to 111% of the average) and a slight reduction in overall group stiffness. Redistribution of the pile loads at the lower bound is considered appropriate as pile response is increasingly non-linear at high strains. For an upper bound, it is likely that strains remain within the linear elastic range and more concentrated pile loads are expected.

After construction of the tunnel and installation of the CO_2 pipeline the shaft is currently planned to be back filled. These are anticipated to be placed in a loose state and be predominantly sandy; an average unit weight of 16kN/m^3 is assumed. In this condition, the shaft self-weight is sufficient to provide resistance to uplift in line with NEN9997.

If the shaft is back filled after construction, long-term uplift resistance of piles is not required to resist uplift. Durability requirements for piles, e.g. double corrosion protection may be relaxed provided that structural checks indicate the base slab is not adversely affected.

Inputs, partial factors and outputs of the pile design for uplift check are summarized in Table 3-3. The proposed pile group layout is shown in Figure 3-2.

Table 3-3: Pile uplift capacity design parameters and results

Parameter	Symbol	Value
Shaft Friction Factor (tension)	α_t	0.006
Pile Group Factor 1 - Compaction	f_1	1.0
Pile Group Factor 2 - Tension	f_2	0.8
UPL Partial Resistance Factor	$\gamma_{s;t}$	1.35
Variation Factor	$\gamma_{m;var;q_c}$	1.04
Test Correlation Factor - Average	ξ_3	1.18
Test Correlation Factor – Minimum	ξ_4	0.94
Excavation Correction	$q_{c;z;ontgr}$	Variable (0 – 0.93)
Pile Circumference (m)	$O_{s;gem}$	0.471
Cumulative design resistance per pile (kN)	$\Sigma R_{t;d}$	415.8
Combined design resistance of group (kN)	ΣR_{group}	37,838
UPL Design uplift action, GWT +4mLAT (kN)	U_{dst}	37,838
UPL Uplift utilisation for construction case	Λ_1	100%
Stiffness of piles (lower bound, kN/m)	K_{LM}	8,346
Upper limit for lower-bound pile springs (kN)	$F_{t,LM}$	450
Stiffness of piles (upper bound, kN/m)	K_{UM}	9,205
UPL Uplift utilisation for infilled case (neglecting pile resistance)	Λ_2	58%

Refer to Appendix A3 for full pile capacity calculations.

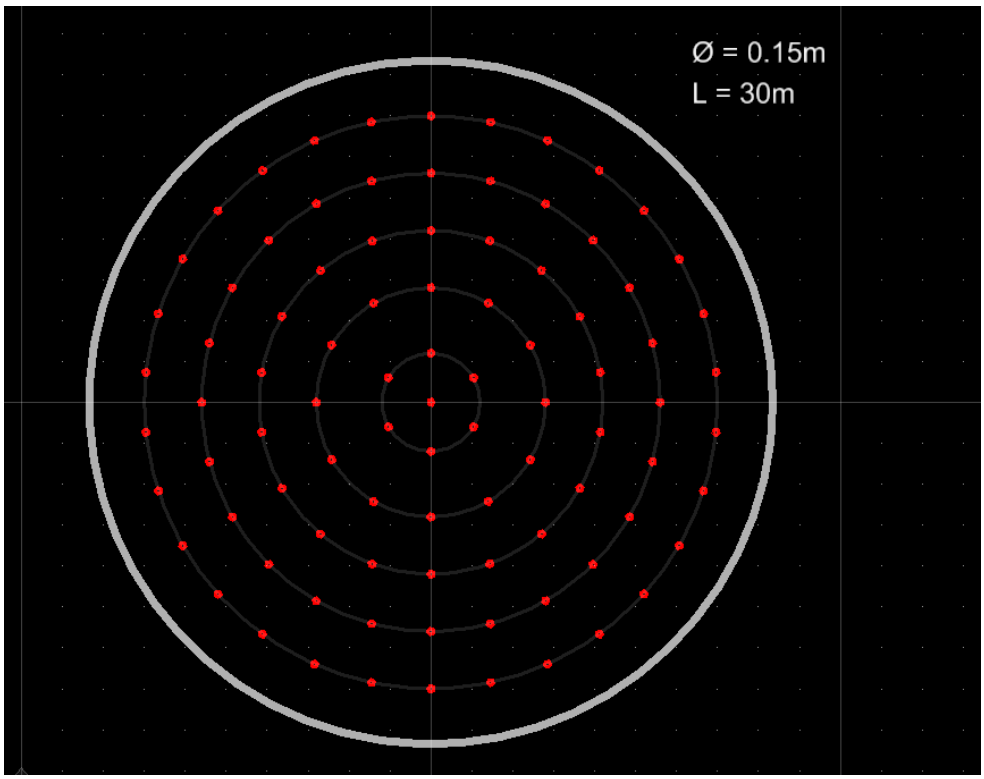


Figure 3-2: Proposed uplift pile group layout

3.6 Earth pressures and soil reactions

It is assumed for the purpose of FEED design that initial; at-rest (K_0) earth pressures apply to the shaft wall before excavation inside the shaft, i.e. the construction process for diaphragm wall panels does not change the soil stress profile. It is expected this will be a slight overestimate of earth pressure following diaphragm wall construction as the excavation is expected to produce a relaxation within the ground.

Changes in earth pressure in response to excavation are modelled in a GSA structural finite element model as linear elastic springs, to model deflection-dependent mobilisation of active and passive earth pressures.

The radial soil spring stiffnesses have been calculated using Duddeck and Erdmann (Duddeck & Erdmann, 1985), for the linear-elastic portion of the soil response. Active and passive pressure coefficients are calculated in accordance with EN 1997-1 (CEN, 2004). The active limit is reached by relaxation of the soil and inward movement of the shaft – this is idealized as a 'tension' limit on the soil spring (in combination with the K_0 pressure, i.e. soil stress equals spring force plus initial K_0 pressure. This value always represents a compression in the soil as active limit does not exceed the K_0 pressure). Similarly, the passive is reached by compression of the soil and outward movement of the shaft and is idealized as a 'compression' limit.

Soil inside the shaft (i.e. beneath the internal excavation level) is expected to have 'locked-in' lateral due to overconsolidation and this is modelled taking the lower of:

- Pre-excavation K_0 pressure (based on internal soil level at ground surface level)
- Passive pressure limit based on internal soil level at base of unreinforced concrete slab invert level (i.e. at passive yield)

Where the latter condition governs, i.e. just below the base of internal excavation, soil springs are not modelled as these have, by definition, reached passive yield.

Refer to Appendix A6 for soil spring calculations.

3.7 Base stability

Due to the high permeability of the site soils, it is assumed that there is no aquiclude that would prevent groundwater flows between inside and outside the shaft. Due to the high likelihood of hydraulic failure (boiling or piping), the shaft is to be excavated while flooded, i.e. with no hydraulic gradient between inside and outside. Draining of the shaft is only permitted once the base slab, connected to uplift anchor piles, has reached the required strength.

A check on the shear stability of the base plug, due to differences between internal and external effective stress, has been performed using Terzaghi's bearing capacity equations (see Figure 3-3 for assumed failure mechanism). Inputs, partial factors and outputs of the check are summarized in Table 3-4. Calculations are provided in Appendix A5.

Inputs, partial factors and outputs of the bearing check are summarized in Table 3-4.

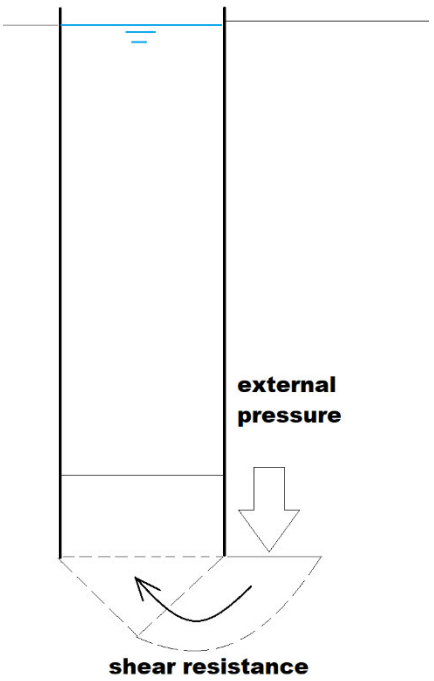


Figure 3-3: Bearing-like shear failure mechanism of soil within shaft

Table 3-4: Base stability (bearing) check summary

Parameter	Symbol	Value
Soil effective angle of shearing resistance (°)	ϕ	33
Soil effective cohesion (kPa)	c’	0
Soil unit weight (for bearing capacity)	γ	19
Total overburden stress (outside) (kPa)	σ_v	406
Effective stress (inside) (kPa)	Q	24.0
Partial factor on permanent actions	γ_G	1.00
Partial factor on variable actions	γ_Q	1.30
Partial factor on friction angle	γ_ϕ	1.25
Partial factor on effective cohesion	$\gamma_{c'}$	1.45
Partial factor on unit weight	γ_γ	1.00
Factor of safety (characteristic)	FoS	3.9
GEO Utilisation (design)	Λ	89%

4 TUNNEL DESIGN

4.1 Brief asset description

The tunnel design comprises rings of precast reinforced concrete panels, with an internal diameter of 3.0m. Outer diameter varies between 3.5 and 3.6m, depending on the method of construction.

The tunnel will break out of the launch shaft and drive approximately north towards the reception pit, crossing beneath the Maasvlakte sea defence, Maasgeul shipping channel and TenneT high voltage electricity cables.

4.2 Construction sequence

The tunnel may be constructed by pipejacking or by TBM, refer to the FEED design report for further details of construction and structural design. A 'flying start' switch from pipejacking to TBM is proposed, with pipejacking installation proposed at the exit from the launch shaft and beneath the sea defence due to settlement concerns.

The tunnel is to be constructed in the dry up to the reception pit. The CO_2 pipeline is to be installed by winching from an offshore barge, commencing at the offshore reception pit and terminating at the onshore Launch Shaft site. The tunnel is flooded and the pipeline laid through the tunnel before backfilling.

4.3 Simplified soil profiles

To support hand calculations (i.e. forces and moments in tunnel lining, face stability, convergence-confinement curves, stability for maintenance interventions), simplified profiles for a number of typical sections along the tunnel alignment have been developed:

Section A, Ch. 0-80: Break-out of launch shaft. Tunnel in Naaldwijk Formation, localized clay layers present above tunnel, in tunnel face or below tunnel.

Section B, Ch. 80-250: Beneath embankment and sea defence. Tunnel in Naaldwijk Formation, localized clay layers present above tunnel or in tunnel face. Peat beneath tunnel or in tunnel face.

Section C, Ch. 250-350: Beyond sea defence (breakwater). Tunnel in Kreftenheye Formation, Peat present above tunnel.

Section D, Ch. 350-550: Shipping channel. Tunnel in Kreftenheye Formation.

Section E, Ch. 550-1400: Shipping channel. Tunnel in Kreftenheye Formation.

Section F, Ch. 1400-end: Offshore, reception pit. Tunnel in Kreftenheye Formation.

Two soil profiles and corresponding sets of soil parameters are provided to give upper and lower bounds on the design for each location, as higher strength / stiffness may be more onerous in some situations (e.g. pipejack resistance). These simplified profiles typically split the stratigraphy into three layers (above, in tunnel face, below), except in the case where a thin and soft layer is expected which may be influential for design (i.e. Naaldwijk organic clays or Peat).

Note that as clay layers are frequently found to be laterally discontinuous and of a lower thickness than the tunnel diameter, if they are found to be beneficial for any design situation their potential should be disregarded (i.e. assume all strata within a soil profile are sandy).

The full stratigraphy of the Made Ground / Naaldwijk Formation is described in the GIR and is predominantly sandy, with thin layers / lenses of clay and silty sand. The mass behavior is simplified to the Lower Bound (LB, i.e. a local minimum) Made Ground Sand (as opposed to Lower Mean, i.e. a lower-bound to mean layer properties) to incorporate the effects of lower stiffness materials.

Where the material in the tunnel face is expected to be sand, in order to provide robustness of the Lower bound design against local pockets of silty sand, an LM Silty Sand material (for Naaldwijk or Kreftenheye Formations) is assumed within the tunnel face as worst-case local conditions. If the tunnel face material is expected to be in a silty sand layer, then the MB Silty Sand material is assumed to represent worst-case local conditions – this applies to Sections A and D.

For the Upper bound model, a stratigraphy governed by sand materials is assumed; UM sand models for the appropriate geological strata are assumed above / below with UB sand model in the tunnel face as the highest strength/stiffness local conditions. At Section C, where ground above is known to be silty sand, a UM Kreftenheye Silty Sand model is adopted above the tunnel.

It is assumed that shear strength utilization of 0.5 is reached around the tunnel face, i.e. stiffness from the GIR is adopted unmodified. Away from the tunnel, where utilization is 0.33 or less, a 1.5x increase in stiffness is adopted as per the GIR to account for small-strain behavior. The distance at which this occurs is assumed to be 1.5 times tunnel diameter for Lower bound profiles and 1.0 times tunnel diameter for Upper bound profiles. The Young's Modulus for closed-form calculations is then averaged for all strata above the tunnel.

Tables of soil profiles and parameters for each profile are given below:

Table 4-1: Lower bound soil properties for Section A simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	MG Sand (above) (LB)	NLD Clay (above/face) (LM)	NLD Silty Sand (face) (LM)	NLD Clay (below) (LM)
Top level		mLAT	+5.0 ± 1	-8.0 ± 1	-10.0 ± 1	-13.0 ± 1
Base level		mLAT	-8.0 ± 1	-10.0 ± 1	-13.0 ± 1	-16.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	18.0	17.0	17.0	17.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.35	0.25	0.35
Friction angle	ϕ'	°	30	19	28	19
Effective cohesion	c'	kPa	0	0	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	-	49	-	72
Drained Young's Modulus	E'	MPa	33	9	23	14
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.53	0.67	0.53	0.67
Permeability	k	m/s	1E-5	1E-9	1E-6	1E-9

Table 4-2: Upper bound soil properties for Section A simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	MG Sand (above) (UM)	NLD Sand (face) (UB)	NLD Sand (below) (UM)
Top level		mLAT	+5.0 ± 1	-10.0 ± 1	-13.0 ± 1
Base level		mLAT	-10.0 ± 1	-13.0 ± 1	-16.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	20.0	20.0	20.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.20	0.20
Friction angle	ϕ'	°	38	42	38
Effective cohesion	c'	kPa	30	55	30
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	46	51	49
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.65	0.67
Permeability	k	m/s	1E-4	3E-4	1E-4

Table 4-3: Lower bound soil properties for Section B simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	NLD Silty Sand (above) (LM)	NLD Clay (above/face) (LM)	NLD Silty Sand (face) (LM)	NLD Peat (below) (LB)
Top level		mLAT	+5* ± 1	-16 ± 1	-18 ± 1	-21 ± 1
Base level		mLAT	-16 ± 1	-18 ± 1	-21 ± 1	-23 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	17.5	17.0	17.5	15.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.25	0.35	0.25	0.45
Friction angle	ϕ'	°	30	19	30	15
Effective cohesion	c'	kPa	0	0	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	-	72+4.72/m*	-	20
Drained Young's Modulus	E'	MPa	31	12.96+0.846/m*	33	1.5
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.52	0.67	0.52	0.67
Permeability	k	m/s	1E-5	1E-9	1E-5	1E-7
Embankment level up to +15.5mLAT. Sensitivity check required with Lower Bound profile and Upper Bound sand unit weight between 5mLAT and 15.5mLAT. * strength and stiffness of NLD clay increases linearly with depth. To simplify calculations, it may be modelled as a constant strength / stiffness stratum based on the average properties as required given that the layer is relatively thin.						

Table 4-4: Upper bound soil properties for Section B simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	MG Sand (above) (UM)	NLD Sand (face) (UB)	NLD Sand (below) (UM)
Top level		mLAT	+5.0 ± 1	-18.0 ± 1	-21.0 ± 1
Base level		mLAT	-18.0 ± 1	-21.0 ± 1	-26.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	20.0	20.0	20.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.20	0.20
Friction angle	ϕ'	°	38	42	38
Effective cohesion	c'	kPa	30	55	30
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	46	51	49
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.65	0.67
Permeability	k	m/s	1E-4	3E-4	1E-4
Embankment level up to +15.5mLAT.					

Table 4-5: Lower bound soil properties for Section C simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	NLD Clay (above) (LM)	NLD Peat (above/face) (LB)	KR Silty Sand (face) (LM)	KR Sand (below) (LB)
Top level		mLAT	-9.3 ± 1	-22.0 ± 1	-24.0 ± 1	-27.0 ± 1
Base level		mLAT	-22.0 ± 1	-24.0 ± 1	-27.0 ± 1	-33.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	17.0	15.0	18.0	19.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.35	0.45	0.25	0.20
Friction angle	ϕ'	°	19	15	30	31
Effective cohesion	c'	kPa	0	0	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	98	20	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	23	1.5	47	55
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.67	0.52	0.53
Permeability	k	m/s	1E-9	1E-7	3E-6	3E-5

Table 4-6: Upper bound soil properties for Section C simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	NLD Silty Sand (above) (UM)	KR Sand (face) (UB)	KR Sand (below) (UM)
Top level		mLAT	+9.3 ± 1	-24.0 ± 1	-27.0 ± 1
Base level		mLAT	-24.0 ± 1	-27.0 ± 1	-33.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	20.0	20.0	20.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.25	0.20	0.20
Friction angle	ϕ'	°	37	43	39
Effective cohesion	c'	kPa	40	80	40
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	53	90	87
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.65	0.67
Permeability	k	m/s	1E-4	1E-3	3E-4

Table 4-7: Lower bound soil properties for Section D simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	KR Silty Sand (above) (LM)	KR Silty Sand (face) (LB)	WN Clay (below) (LB)
Top level		mLAT	-15.4 ± 1	-34.0 ± 1	-37.0 ± 1
Base level		mLAT	-34.0 ± 1	-37.0 ± 1	-43.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	18.0	17.0	16.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.25	0.25	0.35
Friction angle	ϕ'	°	30	28	24
Effective cohesion	c'	kPa	0	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	120
Drained Young's Modulus	E'	MPa	50	52	63
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.52	0.53	0.81
Permeability	k	m/s	1E-8	3E-6	1E-10

Table 4-8: Upper bound soil properties for Section D simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	KR Sand (above) (UM)	KR Sand (face) (UB)	KR Sand (below) (UM)
Top level		mLAT	+15.4 ± 1	-34.0 ± 1	-37.0 ± 1
Base level		mLAT	-34.0 ± 1	-37.0 ± 1	-43.0 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	21.0	22.0	21.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.20	0.20
Friction angle	ϕ'	°	39	43	39
Effective cohesion	c'	kPa	40	80	40
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	87	102	98
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.65	0.67
Permeability	k	m/s	3E-4	1E-3	3E-4

Table 4-9: Lower bound soil properties for Section E simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	KR Sand (above) (LB)	KR Silty Sand (face) (LM)	KR Sand (below) (LB)
Top level		mLAT	-23.5 ± 1	-38.1 ± 1	-41.1 ± 1
Base level		mLAT	-38.1 ± 1	-41.1 ± 1	-47.1 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	19.0	18.0	19.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.25	0.20
Friction angle	ϕ'	°	31	30	31
Effective cohesion	c'	kPa	0	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	77	76	81
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.53	0.52	0.53
Permeability	k	m/s	3E-5	3E-6	3E-5

Table 4-10: Upper bound soil properties for Section E simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	KR Sand (above) (UM)	KR Sand (face) (UB)	KR Sand (below) (UM)
Top level		mLAT	-23.5 ± 1	-38.1 ± 1	-41.1 ± 1
Base level		mLAT	-38.1 ± 1	-41.1 ± 1	-47.1 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	21.0	22.0	21.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.20	0.20
Friction angle	ϕ'	°	39	43	39
Effective cohesion	c'	kPa	40	80	40
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	101	107	101
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.65	0.67
Permeability	k	m/s	3E-4	1E-3	3E-4

Table 4-11: Lower bound soil properties for Section F simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	KR Sand (above) (LB)	KR Silty Sand (face) (LM)	KR Sand (below) (LB)
Top level		mLAT	-19.5 ± 1	-35.4 ± 1	-38.4 ± 1
Base level		mLAT	-35.4 ± 1	-38.4 ± 1	-44.4 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	19.0	18.0	19.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.25	0.20
Friction angle	ϕ'	°	31	30	31
Effective cohesion	c'	kPa	0	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	70	64	80
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.53	0.52	0.53
Permeability	k	m/s	3E-5	3E-6	3E-5

Table 4-12: Upper bound soil properties for Section F simplified tunnel analysis

	Symbol	Unit	KR Sand (above) (UM)	KR Sand (face) (UB)	KR Sand (below) (UM)
Top level		mLAT	-19.5 ± 1	-35.4 ± 1	-38.4 ± 1
Base level		mLAT	-35.4 ± 1	-38.4 ± 1	-44.4 ± 1
Unit weight	γ	kN/m^3	21.0	22.0	21.0
Poisson's Ratio	ν	-	0.20	0.20	0.20
Friction angle	ϕ'	°	39	43	39
Effective cohesion	c'	kPa	40	80	40
Undrained shear strength	Su	kPa	-	-	-
Drained Young's Modulus	E'	MPa	99	103	99
Earth pressure coefficient at rest	K_0	-	0.67	0.65	0.67
Permeability	k	m/s	3E-4	1E-3	3E-4

4.4 Refined settlement analysis: Section B & E

For the two sections where the tunnel crosses settlement-sensitive infrastructure, at Sections B and E, i.e. the sea defence and TenneT cables, a refined settlement analysis using Finite Element Analysis is required for asset safeguarding. HS-Small Plaxis soil models, which incorporate strain-hardening and small-strain stiffness effects, have been developed for modelling of sands to produce more representative settlement behavior, particularly at larger distances from the tunnel axis.

In the absence of site-specific test information, small-strain degradation parameters have been selected from published literature (Oztoprak & Bolton, 2013). The reference strain $\gamma_{0.7,}$ i.e. the shear strain at which strain-degraded shear modulus, G = 72% G_0 is based on upper and lower bounds of 0.05% and 0.01% respectively (Oztoprak & Bolton, 2013).

Based on an expected mean shear strain range of 0.001% to 0.1%, a stress dependency exponent of m = 0.55 is selected (Oztoprak & Bolton, 2013). This also provides a good match to the stiffness profile in the GIR.

The following typical relationships between stiffness in triaxial compression, 1-D compression and unload-reload are assumed in lieu of site-specific test information:

- $E'_{oed} = E'_{50}/1.2$
- $E_{ur} = 3\ E'_{oed}$

Clays are modelled in Finite Element Analysis as Undrained B (Mohr-Coulomb) where strength is influential, i.e. with 1.0 times diameter from tunnel lining (i.e. as in Section B), to distinguish between short-term movements from excavation and long-term settlement from consolidation. For clays outside of this zone, i.e. not subject to stresses approaching yield strength, it is not considered necessary to consider short term vs long term behavior and are modelled as Drained materials.

Additional parameters to those given in Table 4-1 to Table 4-12, for HS-Small models, are summarized below.

Table 4-13: Lower Bound HS-Small model parameters

	Symbol	Unit	MG Silty Sand (LM)	NLD Silty Sand (LB)	NLD Silty Sand (shark fin, LM)	KR Sand (LB)	KR Silty Sand (LM)
Reference triaxial stiffness	E_{50}^{ref}	MPa	40.0	27.0	30.0	80.0	82.0
Reference oedometer stiffness	E_{oed}^{ref}	MPa	33.3	22.5	25.0	66.7	68.3
Reference unload-reload stiffness	E_{ur}^{ref}	MPa	120.0	80.8	90.0	240.0	246.0
Small Strain Shear Modulus	G_0^{ref}	MPa	102.0	67.4	76.5	208.0	209.1
Elastic Poisson's Ratio	ν_{ur}	-	0.25	0.25	0.25	0.20	0.25
Stress exponent	m	-	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Reference pressure	p_{ref}	kPa	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Reference threshold strain	$\gamma_{0.7}$	-	0.1E-3	0.5E-3	0.1E-3	0.1E-3	0.1E-3

Table 4-14: Lower Bound HS-Small model parameters

	Symbol	Unit	MG Sand (UM)	NLD Sand (UM)	NLD Sand (UB)	KR Sand (UM)	KR Sand (UB)
Reference triaxial stiffness	E_{50}^{ref}	MPa	62.0	60.0	76.0	117.0	118.0
Reference oedometer stiffness	E_{oed}^{ref}	MPa	51.7	50.0	63.3	97.5	98.3
Reference unload-reload stiffness	E_{ur}^{ref}	MPa	186.0	180.0	228.0	351.0	354.0
Small Strain Shear Modulus	G_0^{ref}	MPa	161.2	156.0	197.6	304.2	300.9
Elastic Poisson's Ratio	ν_{ur}	-	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Stress exponent	m	-	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Reference pressure	p_{ref}	kPa	100.0	100.0	100.0	100.0	100
Reference threshold strain	$\gamma_{0.7}$	-	0.5E-3	0.5E-3	0.5E-3	0.5E-3	0.5E-3

The results of the settlement and volume loss impact analyses can be found in the following reports: Sea Defence – NL-ARM-040-ARU1-110381; TenneT Cables – NL-ARM-ARU1-110382.

5 RECEPTION PIT DESIGN

5.1 Brief asset description

At the end of the tunnel drive, beyond the Maasgeul in the North Sea, an exit point for the CO_2 pipeline is required to bring it to the seabed surface.

An options assessment was carried out on design options, including:

- Driving TBM to surface (or close to surface)
- Sheet pile cofferdam
- Cofferdam with jet grouted plug
- Dredged subsea pit

Given the nearest boreholes uppermost strata comprise loose sands or very weak clays and there may also be localised peat deposits within the Naaldwijk Formation, driving the TBM close to surface was considered high risk and was not progressed further. The design dimensions required to safely dewater a sheet pile cofferdam (given the expectation the stratigraphy is almost entirely sandy at this location) were reviewed but considered impractical to construct. Additionally, given the permeable and sandy nature of the ground, break in details would be difficult to design and introduce intolerable levels of risk of flooding to the tunnel. Jet grouting was not adopted as this technique is understood to be very rare in the Netherlands.

A temporary dredged sub-sea pit extending through the superficial Naaldwijk Formation deposits into the underlying Kreftenheye Formation sands and silty sands is proposed for TBM recovery at the end of the drive.

The proposed reception pit comprises side slopes of 1:10 over the uppermost 2m depth to account for very loose and clayey deposits, and side slopes of 1:5.5 below.

5.2 Construction sequence

For assessment of the stability of the dredge slope, the following construction sequence is assumed:

- Drive TBM to final position
- Seal and strengthen final rings as required
- Dredge reception pit, including careful local excavation around TBM to minimize risk of damage
- Flood tunnel and pull through CO_2 pipeline
- Infill tunnel
- Infill dredge pit

5.3 Slope stability

Limit equilibrium slope stability assessment has been performed using Oasys SLOPE and the following lower-bound (LM) soil parameters:

Table 5-1: Geotechnical parameters for slope stability assessment of reception pit

	Symbol	Unit	NLD Clay*	KR Silty Sand
Top level		mLAT	-19.0	-21.0
Base level		mLAT	-21.0	-48.0
Unit weight	γ	kN/m^3	18.0	18.0
Friction angle (critical state)	ϕ'	°	15	29
Effective cohesion	c'	kPa	0	0
Undrained shear strength	Su	kPa	20	-
*Note that this incorporates the worst-case scenario of a potential thin Peat layer within the Clay that controls stability – i.e. the higher unit weight of Clay is assumed with a friction angle and undrained shear strength localised to the failure surface of 15 degrees and 20kPa respectively, corresponding to LB Peat in the GIR.				

Note that critical state friction angles are used in slope stability calculations to account for loosening actions of waves and current on the slope surfaces. Shallow translational slips are found to be the most credible failure mode; consideration of the increased (peak) strength of deeper undisturbed soils is not required.

Critical slips are confined to the steeper lower slope in the sandy material, therefore the analysis with undrained and drained parameters in the NLD clay/peat stratum produce the same overall utilisation and results are presented for the drained analysis only.

Based on the available borehole information (AT8 to AT12) to the North of the Maasgeul channel, Peat layers are assumed to be absent. Clays, where encountered, are assumed to have an organic content of <10% based on available test data.

As per EN 1997-1 and NEN9997, partial factor sets A2, M2 and R3 are applied to actions, materials and resistances respectively. The GEO limit state is considered to apply.

Inputs, partial factors and outputs of the slope stability check are summarized in Table 5-2.

Table 5-2: Slope stability check summary

Parameter	Symbol	Value
Partial factor on permanent actions	γ_G	1.00
Partial factor on variable actions	γ_Q	1.30
Partial factor on friction angle	γ_ϕ	1.25
Partial factor on effective cohesion	$\gamma_{c'}$	1.45
Partial factor on undrained shear strength	γ_{cu}	1.75
Partial factor on unit weight	γ_γ	1.00
Partial factor on ground resistance	γ_R	1.00
ULS Utilization factor	Λ	94%

In addition, the stability of proposed dredge slopes has been assessed against empirical charts (Stoutjesdijk, de Groot, & Lindenberg, 1994) based on coastal flowslides in the Netherlands. The uppermost soils (Naaldwijk Formation) are expected to have very low relative density, in the order of 15%, and are compared to the 0% relative density design line. The Kreftenheye Formation is noted in the GIR to have a lower-bound relative density between 30% and 60%. The lower slope is compared to the 30% relative density design line.

Figure 5-1 shows the proposed slopes against data from (Stoutjesdijk, de Groot, & Lindenberg, 1994), indicating a low probability of flowslide based on the proposed design.

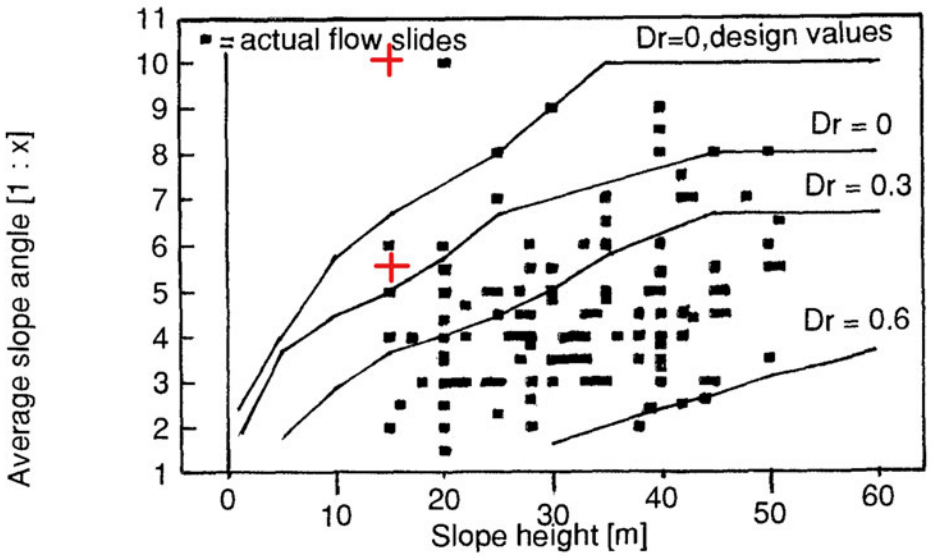


Figure 5-1: Comparison of proposed slope angles to actual and modelled flow slides in (Stoutjesdijk, de Groot, & Lindenberg, 1994)

5.4 Sediment transport

Wave and current action is likely to cause erosion and deposition in surficial sands. Repeat dredging of the pit is likely and rate of erosion will likely be increased in steeper slopes. Excessive dredging and sediment transport may also impact the burial cover of the HV TenneT cables.

The 2024 Fugro Seabed Mobility Study (NL-ARM-050-000002) indicates that the superficial seabead deposits are susceptible to particle migration, with the study highlighting that tidal currents can facilitate sediment transport >50% of the time along the majority of the proposed pipeline route (Fugro, 2024).

Refer to FEED design report for more details on marine dredging operations, including maintenance operations.

6 DESIGN DECISION LOG

Assumptions which have a major impact on the assets designed within this GDR are summarised in Table 6-1. These should be reviewed by the detailed designer during the EPC stage.

Table 6-1: Design Decision Log

Asset	Assumption	Rationale
All	Design life is 30 years	Based on BoD – commentary is given on potential impact of a 100-year design life within the GDR but no design calculations for 100-year design life have been undertaken.
All	Seismic actions are non-critical	Seismicity is low in Rotterdam area and design life is short, minimising exposure to seismic hazard. Detailed designer to carry out detailed checks at EPC stage including additional investigation to determine seismic wave velocity, assess liquefaction risk and site surface amplification.
Shaft	Groundwater pressures in all strata to follow tidal levels	Stratigraphy dominated by high permeability sandy strata across site. To be confirmed by groundwater monitoring.
Shaft	Design groundwater level considers surface level (+6mLAT) for ALS and +4mLAT for ULS.	To cover worst credible condition for uplift in permeable, likely tidal sands, during construction until shaft backfilled. May be refined in Detailed Design / EPC stage if supported by groundwater monitoring. Lower partial factors for extreme (flood) case considered appropriate given lower probability of occurrence.
Shaft	Ongoing settlement does not apply	Regional nature of settlement, compliance of shaft toe, suggest unlikely to build up large locked in stresses within design life. To be confirmed by numerical modelling at detailed design stage.
Shaft	Backfilling	Once pipeline is constructed, the shaft is assumed to be backfilled with loose sand (lower bound bulk unit weight = 16kN/m^3 assumed)
Shaft	Construction sequence is as per Section 3.2.	Changes to sequence, particularly in relation to dewatering and filling, may require redesign of assets.
Shaft	Lateral earth pressures not significantly reduced by shaft wall construction	Anticipated that relaxation from panel excavation under support fluid is counteracted by concrete fluid pressures. Detailed modelling of stress changes may be required for Detailed Design as part of EPC stage.
Tunnel	Stratigraphy in offshore tunnel drive is predominantly sandy (Kreftenheye Formation)	Current GI information indicates that after passing below the Niewkoop Peat layer at the base of the Naaldwijk Formation cohesive strata are unlikely to be encountered in the tunnel face or the tunnel zone of influence (+/- 1D). It is possible that clay of the Winterton Shoal Formation is encountered just below tunnel invert level locally due to variations in fluvial erosion and this is accounted for with the inclusion of the Section D profile.

Asset	Assumption	Rationale
Tunnel	Effective cohesion may be present in sandy soils and should be considered for upper bound scenarios (e.g. jacking resistance) but should not be relied upon in lower bound scenarios.	Triaxial and direct shear test data from Fugro GI shows potential for non-zero intercept of Mohr-Coulomb envelope. Higher resistance may impede progress of tunnel, particularly if pipejacked, and design must consider this. Conversely, triaxial and direct shear tests can show little to no effective cohesion and design cannot be reliant on this effect.
Reception Pit	Weaker and disturbed / mobile strata confined to uppermost 2m	Sonic boreholes AT8 to T12 show an upper soft clay layer of low strength. Additional site-specific GI recommended to confirm assumed stratigraphy.
Reception Pit	Peat strata may be locally present around reception pit.	Sonic boreholes AT8 to T12 show an upper soft organic clay layer but with <10% organic content, i.e. not significant thickness of Peat. However, for FEED design it is assume a very thin layer exists which could trigger a translational slide and side slopes set accordingly. Additional site-specific GI recommended to confirm assumed stratigraphy. CPTs may be valuable in identifying thin, weak layers.

7 GEOTECHNICAL RISK REGISTER

Table 7-1: Geotechnical Risk Register

Hazard	Risk	Risk Score			Proposed Design Mitigation	Residual Risk		
		L	S	R		L	S	R
Ground gas, particularly from organic strata	Asphyxiation of operatives and ignition of flammable gases	L	H	M	Assessment of gas potential, including additional site investigation and monitoring	L	H	M
Ongoing settlement in reclaimed land	Damage and misalignment on connections, seals, shaft walls and tunnel rings leading to water leakage	H	M	H	Design to accommodate ongoing movement, accurate baseline surveys to determine rates of movement.	L	M	L
High groundwater in permeable ground	Water inundation of shaft and tunnel, leading to drowning of operatives	M	H	H	Design to include robust sealing details and checks on soil stability. Excavation of shaft underwater to avoid hydraulic gradient and boiling risk. Secondary reinforced slab designed to mitigate risk of cracking / shrinkage leading to leakage from unreinforced primary base slab. Grout tubes within diaphragm walls to allow pressure grouting to fill potential gaps (due to shrinkage / inclusions).	L	H	M
TenneT buried high voltage cables	Striking cables during tunnelling, leading to electrocution of operatives, damage to tunnel and water inundation	M	H	H	Design to include appropriate clearance. Additional targeted offshore GPR (Ground Penetrating Radar) and EML (Electro-Magnetic Location) surveys to confirm cable locations and clearance, noting that previous geophysical surveys experienced prevalent shallow blanking along much of the route Settlement analysis for tunnel construction (in FEED report).	L	H	M

Hazard	Risk	Risk Score			Proposed Design Mitigation	Residual Risk		
		L	S	R		L	S	R
Limited geotechnical data in shipping channel	Unforeseen ground conditions which may include sudden changes in permeability, abrasivity. Additional stability measures and maintenance interventions.	M	M	M	Additional site investigation and testing. Access limited within the shipping channel, may be limited to CPTs.	L	M	L
Contaminants in Made Ground	Unforeseen waste / contaminants within Made Ground, presenting risk to health of operatives and additional cost of disposal.	M	M	M	Geoenvironmental assessment, potentially additional investigation, sampling and testing.	L	M	L
Lateral variability of Made Ground	Unforeseen ground conditions which may present obstacles to excavation or apply additional lateral earth pressures on shaft	M	M	M	Conservative FEED design accounting for potential low-strength layers. Additional investigation to understand lateral variability.	L	M	L
Unexploded Ordnance (UXO) offshore, particularly at shark fin site (Made Ground & Naaldwijk) and at reception pit	Accidental detonation of UXOs, injury to or death of operatives	M	H	H	Additional detailed surveys of reception pit area and shaft location	L	H	M
Abrasive sands	Frequent maintenance interventions required, requiring compressed air working due to sandy soils	H	M	H	Additional sampling and testing, potentially considering impact of soil conditioning	M	M	M
Future offshore dredging	Striking of tunnel and associated damage, loss of overburden and floatation	M	M	M	Tunnel alignment to consider likely dredging zone and depths. Design checks on floatation to consider dredge depth	L	M	L

Hazard	Risk	Risk Score			Proposed Design Mitigation	Residual Risk		
		L	S	R		L	S	R
Future piling works	Striking of tunnel and associated damage	M	M	M	Alignment recorded on record drawings; future piling works to avoid tunnel	L	M	L
Arsenic in natural soils	Exposure of workforce to contaminants during spoil handling, environmental damage	M	M	M	Additional sampling and testing to inform handling and stockpiling restrictions	L	M	L
Weak seabed strata including localised peat deposits	Dredge for reception pit causes subsea slip failure affecting TenneT cables and causing major power outage in Rotterdam area, risk of electrocution	M	H	H	Reduced slope angle in most variable upper strata of reception pit Siting of reception pit with wide clearance from cables	L	M	L
Underwater operations in flooded shaft	Divers becoming trapped, risk of drowning.	M	H	H	Design details for pile head connection simplified as far as possible to limit number of underwater operations. Primary unreinforced base slab designed to allow reinforced secondary slab and D-wall connections to be constructed in dry shaft	L	H	M

8 REFERENCES

CEN. (2004). *EN1997-1: Eurocode 7: Geotechnical Design.*

Deltares. (2018). *Assessment of the stability of the Maasvlakte seawall during the construction of conduit pipes for electricity.*

DINOloket. (2024). *Stratigraphic Nomenclature*. Retrieved February 26, 2024, from https://www.dinoloket.nl/en/stratigraphic-nomenclature/via-diagram/formation-by-age

Duddeck, H., & Erdmann, J. (1985). Structural design models for tunnels in soft soil. . *Underground Space;(United States), 9.*

Dutch Ministry of Defence. (2020, June 12). *NLLAT2018*. Retrieved from Ministry of Defence : https://english.defensie.nl/downloads/applications/2020/06/12/nllat2018

Enomoto, T., & Koseki, J. T. (2015). Creep failure of sands exhibiting various viscosity types and its simulation. *Soils and Foundations 55 (6), The Japanese Geotechnical Society*, 1346-1363.

Fugro. (2022). *Nearshore Geophysical Survey Results –Seeker | F197217-REP-RES 02 .* Fugro.

Fugro. (2023). *NL-ARM-100-ARM1-100013 Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results .* Wallingford.

Fugro. (2024). *Seabed Mobility Desktop Study | Aramis CCS Pipeline Project, Dutch Sector of the North Sea - NL-ARM-050-ARM1-000002.*

Google Earth . (2024, May 22). Google Earth Pro.

ISO. (2020). *NEN-EN-ISO 19902:2020 Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures.*

Kadaster. (2024, February 20). *Topotime travel*. Retrieved from https://www.topotijdreis.nl/

Long, M., Paniagua, P., Grimstad, G., Trafford, A., Degago, S., & L'Heureux, J.-S. (2022). Engineering properties of Norwegian peat for calculation of settlements. *Engineering Geology 308 (2022) 106799*.

Mesri, G., Rokhsar, A., & Bohar, B. F. (1973). Coefficient of secondary compression. *Proceedings of the ASCE 99, SM1*, 123-137.

Mott MacDonald. (2023). *ARAMIS Ground Investigation Report.* Bristol.

Mott MacDonald. (2023). *Aramis Pre-FEED Studies - UXO Review.*

Murayama, S., Michihiro, K., & Sakagami, T. (1984). Creep Characteristics of Sand. *Soils and Foundations 24 (2), Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1-15.

NEN. (2019). *National Annex to NEN-EN 1991-1-7+C1+A1:2015/NB:2019: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions.*

NEN 9997-1+C1. (2012). *Geotechnical design of structures - Part 1: General rules .* Royal Netherlands Standardization Institute.

Oztoprak, S., & Bolton, M. D. (2013). Stiffness of sands through a laboratory test database. *Geotechnique 63 No. 1*, 54-70.

Randolph, M. (2021). *PIGLET: Analysis and Design of Pile Groups, Version 6.2.*

SkyGeo. (2024). *Bodemdalingskaart 2.0*. Retrieved February 15, 2024, from https://bodemdalingskaart.portal.skygeo.com: https://bodemdalingskaart.portal.skygeo.com/portal/bodemdalingskaart/u2/viewers/basic/

Stoutjesdijk, T., de Groot, M., & Lindenberg, J. (1994). *Engineering approach to coastal flow slides. Chapter 24, in Coastal Engineering 1994 (pp. 3350-3359).* ASCE.

TotalEnergies. (2023). *Offshore Metocean Design Basis, NL-ARM-100-ARM1-100004.*

Watts, K., & Charles, A. (2015). *Building on fill: geotechnical aspects (3rd Ed.).* BRE.

Whitlow, R. (2000). *Basic Soil Mechanics.* Pearson.

APPENDIX A SHAFT CALCULATIONS

A1 Uplift thrust and self-weight calculations

A2 Ongoing settlement back-analysis

A3 Pile resistance calculations

A4 Pile group stiffness calculations

A5 Shaft shear base stability calculations

A6 Shaft lateral spring calculations

A.1 Uplift thrust and self-weight calculations

ARUP	Job No. 60325853	Sheet No. 2	Rev.: 1
		Sheet Description: Launch Shaft Hydrostatic Uplift and Plug Failure Calculation Summary (+4mLAT)	
	Member/Location	Shark fin site, Maasvlakte	
Job Title: Project Aramis	Drg. Ref.		
	Made by [redacted]	Date: 30/05/2024	Chd. CKS 05/06/2024

Parameter	Symbol	Value
UPL Upper Bound Groundwater Level (mLAT)	h_w	+4
Base Slab Soffit Level (mLAT)	h_{min}	-17.47
Unit weight of Groundwater (kN/m^3)	Y_w	10.1
UPL Permanent Unfavourable Loads Partial Factor	$\gamma_{G;dst}$	1.0
UPL Permanent Favourable Loads Partial Factor	$\gamma_{G;stb}$	0.9
Base Slab Area (m^2)	A	219.0396
Base Slab Volume (m^3)	V	438.08
Unit weight of soil (kN/m^3)	Y_{soil}	18.6
Unit weight of concrete (kN/m^3)	$Y_{concrete}$	24.5

Calculations:

Characteristic groundwater uplift force (kN), $U_c = ((h_w - h_{min}) \times Y_w) \times A$	=	((4 - -17.47) x 10.1) x 219.0396	=	**47,498**	kN
Design groundwater uplift force (kN), $U_D = \gamma_{G;dst} \times (((h_w - h_{min}) \times Y_w) \times$	=	1.0 x (((6 - -17.47) x 10.1) x 219.0396)	=	**47,498**	kN
Characteristic weight of concrete base slab (kN), $Y_c = V \times Y_{concrete}$	=	438.08 x 24.5	=	**10,733**	kN
Design weight of concrete base slab (kN), $Y_D = \gamma_{G;stb} \times (V \times Y_{concrete})$	=	0.9 x (438.08 x 24.5)	=	**9,660**	kN
Design net uplift force (kN), $U_{d,net} = U_D - Y_D$	=	47498 - 9660	=	**37,838**	kN

Soil Plug Uplift Failure

Soil plug volume (m^3), $V_s = \pi \times (D/2)^2 \times z$	=	π x (16.7 / 2)^2 x 30	=	**6,571**	m^3
Characteristic self weight(kN), $W_{P,k} = V_s \times Y_{soil}$	=	6571.19 x 18.6	=	**122,443**	kN
Design plug self-weight (kN), $W_{P,d} = \gamma_{G;stb} \times V_s \times Y_{soil}$	=	0.9 x 6571.19 x 18.6	=	**110,199**	kN
Additional uplift on base of soil plug. $U_P = (z \times Y_w) \times A$	=	30 x 10.1 x 219.0396	=	**66,369**	kN
Design plug uplift Factor of Safety, FoS = R / U_{dst}	=	110199 / (37838 + 66369)	=	**1.06**	
Utilisation factor = 1 / FoS	=	1 / 1.06	=	95%	

ARUP	Job No. 60325853	Sheet No. 1	Rev.: 1
		Sheet Description: Launch Shaft Hydrostatic Uplift and Plug Failure Calculation Summary (+6mLAT)	
	Member/Location	Shark fin site, Maasvlakte	
Job Title: Project Aramis	Drg. Ref.		
	Made by: [redacted]	Date: 24/05/2024	Chd. CKS 05/06/2024

Parameter	Symbol	Value
ALS Upper Bound Groundwater Level (mLAT)	h_w	+6
Base Slab Soffit Level (mLAT)	h_{min}	-17.47
Unit weight of Groundwater (kN/m^3)	Y_w	10.1
Base Slab Area (m^2)	A	219.0396
Base Slab Volume (m^3)	V	438.08
Unit weight of concrete (kN/m^3)	$Y_{concrete}$	24.5
Unit weight of soil (kN/m^3)	Y_{soil}	18.6
Soil plug diameter (m)	D	16.7
Soil plug depth (m)	z	30.0

Hydrostatic Uplift

Groundwater uplift force (kN), U_c =	$((h_w - h_{min}) \times Y_w) \times A$	=	((6 - -17.47) x 10.1) x 219.0396	=	**51,923**	kN
Weight of concrete base slab (kN), W_c =	$V \times Y_{concrete}$	=	438.08 x 24.5	=	**10,733**	kN
ALS Design net uplift force (kN), $U_{a,net}$ =	$U_D - Y_D$	=	51923- 10733	=	**41,190**	kN

Soil Plug Uplift Failure

Soil plug volume (m^3), V_s =	$\pi \times (D/2)^2 \times z$	=	π x (16.7 / 2)^2 x 30	=	**6,571**	m^3
Characteristic self weight(kN), $W_{P,k}$ =	$V_s \times Y_{soil}$	=	6571.19 x 18.6	=	**122,443**	kN
Additional uplift on base of soil plug. U_P =	$(z \times Y_w) \times A$	=	30 x 10.1 x 219.0396	=	**66,369**	kN
ALS Plug uplift Factor of Safety, FoS =	R / U_{dst}	=	122443 / (41190 + 66369)	=	**1.14**	
Utilisation factor =	1 / FoS	=	1 / 1.14	=	88%	

A.2 Ongoing settlement back-analysis

ARUP	Job No. 60325853	Sheet No. 1	Rev.: 1
		Sheet Description: Settlement Per Log Cycle Analysis Summary	
	Member/Location	Birmingham (One Centenary Way)	
Job Title: Project Aramis	Drg. Ref.		
	Made by: [redacted]	Date: 05/06/2024	Chd. CKS 05/06/2024

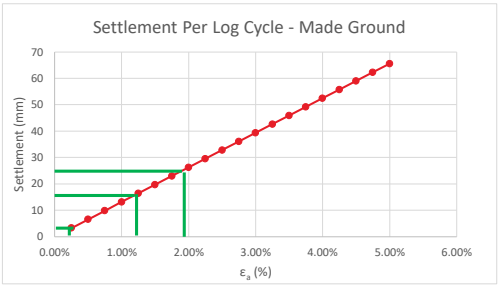
Parameter	Symbol	Value
Time Increment 1 (years)	t_1	14
Time Increment 2 (years)	t_2	19
Target Settlement (mm)	ρ_t	25.0
$Log_{10}(t_1 / t_2)$	$Log_{10}(t_1 / t_2)$	0.132625565
Made Ground Mean Thickness (m)	H_{MGR}	9.88
Peat Mean Thickness (m)	H_P	1.02
Coefficient of Secondary Compression (%)	ε_a	Variable

Settlement Per Log Cycle Derivation

Settlement Per Log Cycle, ρ (mm) = (ε_a x H x $Log_{10}(t_1/t_2)$) x 1000

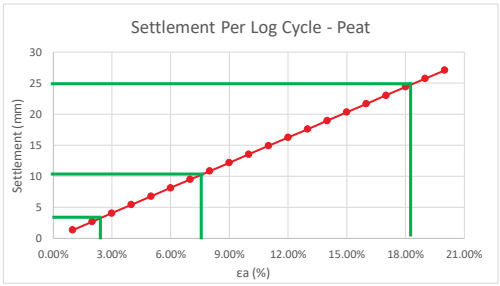
Made Ground:

ε_a	ρ
0.25%	(0.0025 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **3.2 mm**
0.50%	(0.005 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **6.6 mm**
0.75%	(0.0075 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **9.8 mm**
1.00%	(0.01 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **13.1 mm**
1.25%	(0.0125 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **16.4 mm**
1.50%	(0.015 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **19.7 mm**
1.75%	(0.0175 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **22.9 mm**
2.00%	(0.02 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **26.2 mm**
2.25%	(0.0225 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **29.5 mm**
2.50%	(0.025 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **32.8 mm**
0.20%	(0.002 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **2.6 mm**
1.20%	(0.012 x 9.88 x 0.132625565) x 1000 = **15.7 mm**



Peat:

10%	(0.1 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **13.5 mm**
11%	(0.11 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **14.9mm**
12%	(0.12 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **16.2 mm**
13%	(0.13 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **17.5 mm**
14%	(0.14 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **18.9 mm**
15%	(0.15 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **20.3 mm**
16%	(0.16 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **21.6 mm**
17%	(0.17 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **23.0 mm**
18%	(0.18 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **24.4 mm**
19%	(0.19 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **25.7 mm**
20%	(0.2 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **27.1 mm**
2.50%	(0.025 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **3.4 mm**
7.50%	(0.075 x 1.02 x 0.132625565) x 1000 = **10.2 mm**



A.3 Pile resistance calculations

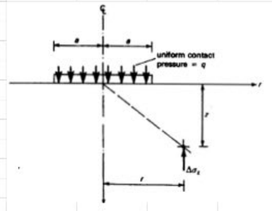
ARUP	Job No. 60325853	Sheet No.	1	Rev.: 1
		Sheet Description: CPT Pile Resistance Calculation Summary		
	Member/Location	Maasvlakte shark fin site		
Job Title: Project Aramis	Drg. Ref.			
	Made by: [redacted]	Date: 04/06/2024	Chd. CKS 06/06/2024	

Parameter	Symbol	Value
Shaft Skin Frction Factor	α_t	0.006
Pile Group Factor 1 - Compaction	f_1	1.0
Pile Group Factor 2 - Tension	f_2	0.8
Partial Resistance Factor	$y_{s;t}$	1.35
Variation Factor	$y_{m;var;q_c}$	1.04
Test Correlation Factor - Average	ξ_3	1.18
Test Correlation Factor - Minimum	ξ_4	0.94
Excavation Correction	$q_{c;z;ontgr}$	Variable
Pile Circumference (m)	$O_{s;gem}$	0.47124
q_c Depth Increment (m)	dz	0.02

Stresses Due to a Uniformly Loaded Circular Area (below the centre)

--Ref: Basic Soil Mechanics by Roy Whitlow (page 191)

See Page 191 for a numerical solution to calculate stress at a point (r,z)



Uniform Load (q)	-189.5	kN/m2
Radius (a)	16.7	m
Unit weight:	19	kN/m3
Increase in vertical stress	$\Delta\sigma_z = q\left\{1-\left[\frac{1}{1+(a/z)^2}\right]^{3/2}\right\}$	VertStr_CircularLoad(q, z, a)

NEN Determination of Pile Resistance

Shaft Friction, $q_{s;z;d}$ (kN) = α_t x $q_{c;z;d}$

$q_{c;z;d}$ = $q_{c;z;a}$ / ($y_{s;t}$ x $y_{m;var;q_c}$ x ξ) Where $q_{c;z;a}$ is the capped (15MPa) cone resistance at depth *z*

$y_{m;var;q_c}$ = 1 + 0.25 x (($F_{t;max}$ - $F_{t;min}$)/$F_{t;max}$) = 1 + 0.25 x 0.24 = **1.04** Where ((Ft;max - Ft;min)/Ft;max) = [(10.1 x (4 - -17.47) - 10.1 x (0.4 -17.47))] / (10.1 x (4 - -17.47)) = 0.17

For a 15MPa capped q_c: Average $q_{c;z;d}$ (MPa) = $q_{c;z;a}$ / ($y_{s;t}$ x $y_{m;var;q_c}$ x ξ_3) = 15 / (1.35 x 1.04 x 1.18) = **9.05** MPa

Excavation Corrections

Excavation Correction, $q_{c;z;ontgr}$ = $q_{c;z}$ x √($\sigma_{v;z;ontgr}$ / $\sigma_{v;z0}$) Where $\sigma_{v;z;ontgr}$ is the effective vertical stress at depth *z* below the bottom of the excavation, and σv;z0 is the initial effective vertical stress at depth *z*

At 30m depth below excavation for 15MPa q_c: Excavation Corrected qc, $q_{c;z;ontgr}$ = $q_{c;z}$ x √($\sigma_{v;z;ontgr}$ / $\sigma_{v;z0}$) = 15 x √(382.4 / 459.41) = **13.69** MPa

Pile Group Correcions

For a 15MPa capped q_c: Shaft Friction of Pile in Pile Group, $q_{s;z;d}$ = f_1 x f_2 x α_t x $q_{c;z;d}$ = 0.8 x 1.0 x 0.006 x 15 = **0.081** MPa

Shaft Friction Derivation

At 30m depth below excavation for 15MPa q_c: verage qc correlation Factor Design Shaft Friction, q_s (kN) = q_c x ($q_{c;z;ontgr}$ x f_1 x f_2 x α_t) / ($y_{s;t}$ x $y_{m;var;qc}$ x ξ_3) = 15000 x (0.912346811 x 0.8 x 1.0 x 0.006) / (1.35 x 1.04 x 1.18) = **39.6** kPa

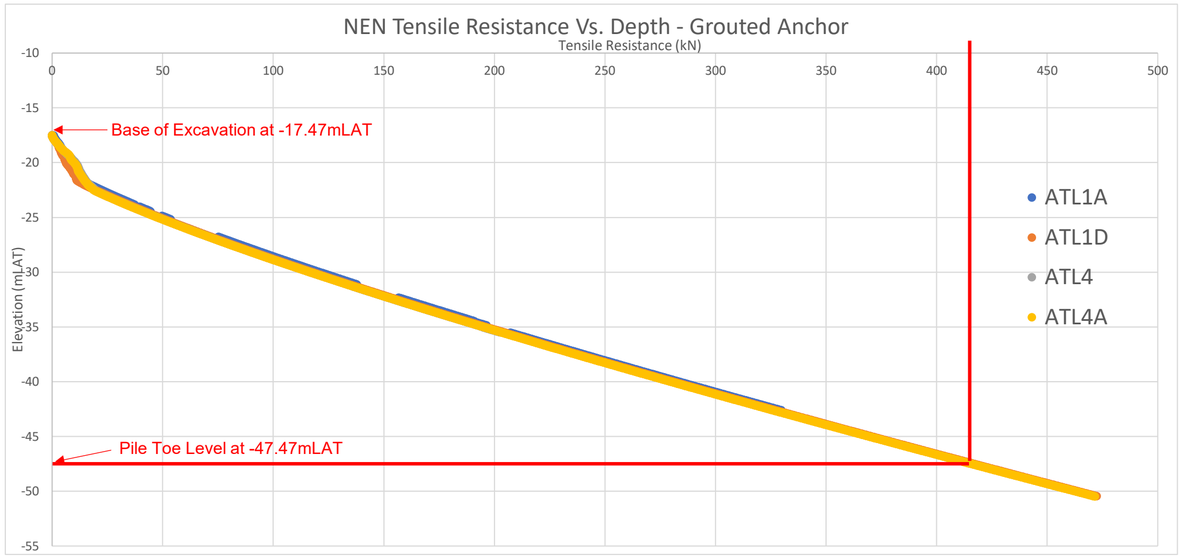
At 30m depth below excavation for 15MPa q_c: nimum qc correlation Factor Design Shaft Friction, q_s (kN) = q_c x ($q_{c;z;ontgr}$ x f_1 x f_2 x α_t) / ($y_{s;t}$ x $y_{m;var;qc}$ x ξ_4) = 15000 x (0.912346811 x 0.8 x 1.0 x 0.006) / (1.35 x 1.04 x 0.94) = **49.7** kPa

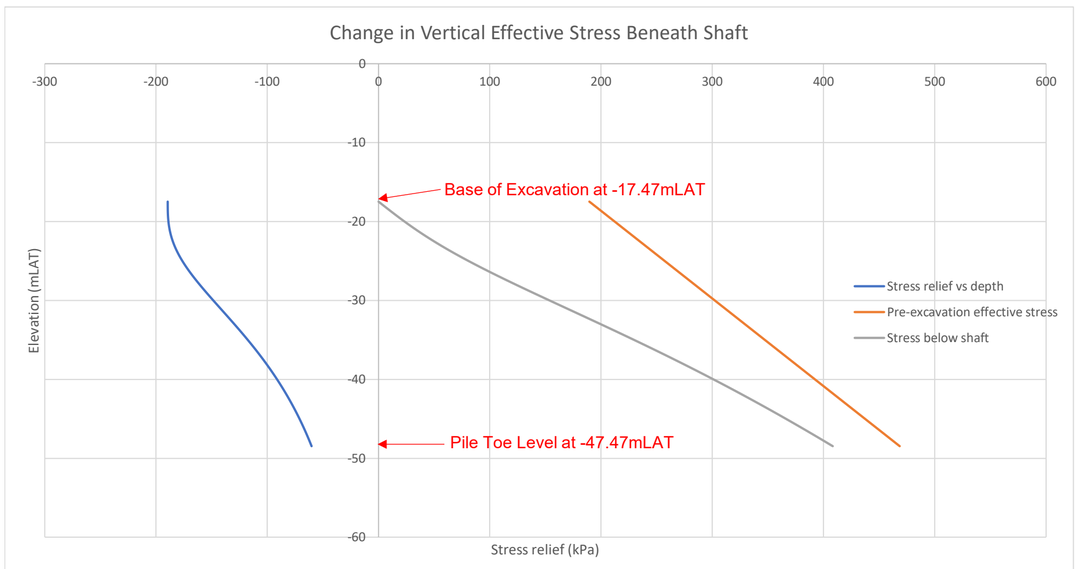
Design Tensile Resistance

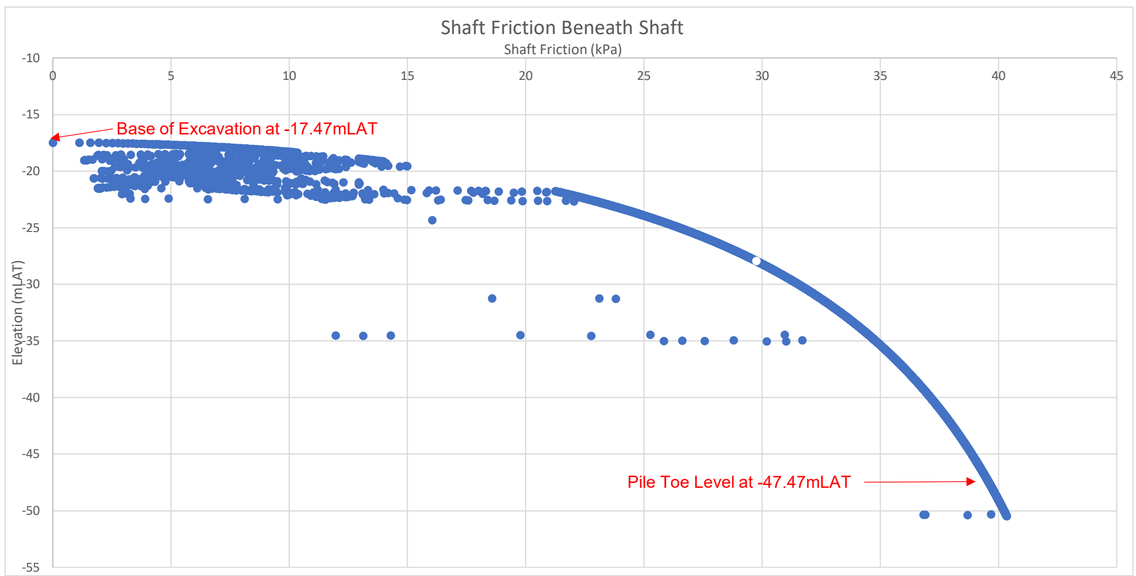
For above example

Tensile Resistance at 1m depth incrament, $R_{t;d}$ (kN) = $O_{s;gem}$ x q_s x dz = 0.47124 x 39.6 x 1 = **18.68** kN/m

Cumulative Tensile Resistance, R (kN) = $\Sigma R_{t;d}$ For 30m Pile Length = **415.8kN**


NEN Tensile Resistance Vs. Depth - Grouted Anchor
Tensile Resistance (kN)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
-55
Elevation (mLAT)
Base of Excavation at -17.47mLAT
Pile Toe Level at -47.47mLAT
ATL1A
ATL1D
ATL4
ATL4A


Change in Vertical Effective Stress Beneath Shaft
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
Elevation (mLAT)
Base of Excavation at -17.47mLAT
Pile Toe Level at -47.47mLAT
Stress relief vs depth
Pre-excavation effective stress
Stress below shaft
Stress relief (kPa)


Shaft Friction Beneath Shaft
Shaft Friction (kPa)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
-55
Elevation (mLAT)
Base of Excavation at -17.47mLAT
Pile Toe Level at -47.47mLAT

ARUP	Job No. 60325853	Sheet No. 2	Rev.: 1
		Sheet Description: CPT Pile Resistance Calculation Summary	
	Member/Location	Maasvlakte shark fin site	
Job Title: Project Aramis	Drg. Ref.		
	Made [redacted]	Date: 04/06/2024	Chd. CKS 06/06/2024

Parameter	Symbol	Value
UPL Design Uplift Force (kN) - ULS (+4mLAT)	U_{dst}	37838
ALS Design Uplift Force (kN) - ULS (+6mLAT)	U_{dst}	41190
Cumulative Resistance (average qc correlation factor) - 30m pile (kN)	R_{min}	415.8
Cumulative Resistance (minimum qc correlation factor) - 30m pile (kN)	R_{avg}	506.1
Design Pile Number	N_p	91

Pile Number Derivation

Number of piles required to achieve 100% uplift Utilisation, Λ_{100} = (Round Up) U_{dst} / R_{min} = 37838 / 415.8 = **91** Piles

Uplift utilisation of design pile number, Λ_D = $U_{dst} / (R_{min} \times N_p)$ = 37838 / (415.8 x 91) = **100** %

+6mLAT ALS Check

Number of piles required to achieve 100% uplift Utilisation, Λ_{100} = (Round Up) U_{dst} / R_{avg} = 37838 / 506.1 = **75** Piles

Uplift utilisation of design pile number, Λ_D = $U_{dst} / (R_{avg} \times N_p)$ = 37838 / (506.1 x 91) = **82%** %

Infilled Case (Neglecting Pile Resistance)

Backfilled shaft volume, V (m^3) = $(D/2)_2 \times \pi \times H$ = $(16.7 / 2)^2 \times \pi \times 20.6$ = **4512.22** m^3

Design resistance of backfilled shaft, R_{fill} (kN) = $\gamma_{G;stb} \times (V \times \gamma)$ = 0.9 x (4512.22 x 16) = **64,987** kN

UPL Uplift utilisation of infilled shaft case, Λ_2 = U_{dst} / R_{fill} = 37838 / 64987 = **58%** %

A.4 Pile group stiffness calculations

Input data for PIGLET **Version No:** 6.2b **September 2021**

Sum of input data 180247584

Company name (licensee) **Arup, International**

Output file path name (optional - defaults to current directory

Title: Aramis shaft uplift anchor piles - 150mm in sand

DLL file path name (optional - should default to current directory if left blank

Scope of problem 1 1 for vertical loading only, 2 for x:z plane only, 3 for all 6 degrees of freedo

Current directory name (for information - as output from VBA
C:\Users\Christopher.Shaw\OneDrive - Arup\Documen

Soil details:

		Symbols		
Axial: Surface shear modulus, G(0)	22095	G_{sa}		
Axial: Shear modulus gradient, dG/dz	550	Gm_a	$G_a + G_{ma}L =$	37220
Axial: Shear modulus below base, G_b	37220	G_b	Set to less than $G_t + G_{ma}L$ for continuous profile	
Lateral: Surface shear modulus, G(0)	22095	G_{sl}		
Lateral: Shear modulus gradient, dG/dz	550	Gm_l		
Poisson's ratio (all loading modes	0.2	v		

Nonlinear pile response (using hyperbolic curves)

Axial	f	Power g
	0.9	0.9
Lateral	$(u_l/d)_{50}$	Power p
	0.02	0.7

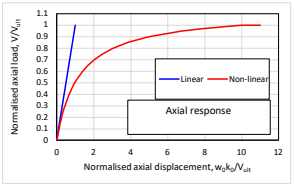
Number of loading steps 20

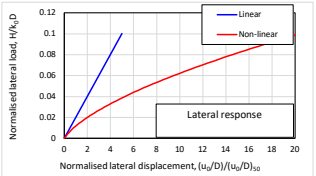
$$k_{ii} = k_{ii,0}\left[1 - f\left(\frac{V_i}{V_{i,ult}}\right)^g\right]$$

$$\frac{k_{ii}}{k_{ii,0}} = \frac{1}{1 + \left[\left(u_i / D_i\right) / \left(u / D\right)_{50}\right]^p}$$

Pile details:

Free-standing length	2.5	L_f
Young's modulus: Free-standing part (axial)	3.00E+07	E_{paf}
Young's modulus: Embedded part (axial)	3.00E+07	E_{pa}
Young's modulus: Free-standing part (lateral: x-z)	3.00E+07	$E_{p/xf}$
Young's modulus: Embedded part (lateral: x-z)	3.00E+07	$E_{p/x}$
Young's modulus: Free-standing part (lateral: y-z)	3.00E+07	$E_{p/yf}$
Young's modulus: Embedded part (lateral: y-z)	3.00E+07	$E_{p/y}$
Piles pinned (0) to fixed (1) to pile cap	1	Fixity





Loading cases

	V (w)	H (u) x	M (θ) x to z	H (v) y	M (θ) y to z	T (ϕ) x to y	Loading Type
1	54732	0	0	0	0	0	1
2	54732	0	0	0	0	0	-1
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							
95							
96							
97							
98							
99							

100											Axial capacities		Pile loads (vertical loading only, fully flexible pile cap										
											Profile switches		Axial pile capacities in compression (with negative load type										
						Rake	Rake						Ratio of tensile to compressive axial capacity (range 0-10	0.8									
	Shaft	Base	x	y	Embedded	x to z	y to z						Load case number										
Pile group geometry:	Diameter	Diameter	co-ord.	co-ord	Length	ψ(x)	ψ(y)	x:z	y:z				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.15	0.15	15.40914747	71.4493826	27.5	0	0							583									
2	0.15	0.15	16.65736117	72.1631082	27.5	0	0							583									
3	0.15	0.15	16.06214617	73.4999918	27.5	0	0							583									
4	0.15	0.15	14.84970667	72.7999986	27.5	0	0							583									
5	0.15	0.15	15.20198437	74.6839091	27.5	0	0							583									
6	0.15	0.15	13.95976317	73.9597996	27.5	0	0							583									
7	0.15	0.15	14.11446967	75.6631174	27.5	0	0							583									
8	0.15	0.15	12.79996527	74.8497470	27.5	0	0							583									
9	0.15	0.15	12.84712967	76.3948206	27.5	0	0							583									
10	0.15	0.15	11.44935117	75.4091924	27.5	0	0							583									
11	0.15	0.15	11.45535507	76.8470396	27.5	0	0							583									
12	0.15	0.15	9.999962937	77.0000105	27.5	0	0							583									
13	0.15	0.15	8.544579717	76.8470456	27.5	0	0							583									
14	0.15	0.15	7.152803277	76.3948322	27.5	0	0							583									
15	0.15	0.15	8.550574107	75.4091973	27.5	0	0							583									
16	0.15	0.15	9.999962937	75.6000105	27.5	0	0							583									
17	0.15	0.15	9.999962937	74.2000105	27.5	0	0							583									
18	0.15	0.15	11.43644947	73.9467158	27.5	0	0							583									
19	0.15	0.15	12.69673277	73.2173893	27.5	0	0							583									
20	0.15	0.15	13.63727167	72.0999986	27.5	0	0							583									
21	0.15	0.15	12.42483557	71.3999986	27.5	0	0							583									
22	0.15	0.15	11.39996527	72.4248759	27.5	0	0							583									
23	0.15	0.15	9.999962937	72.8000105	27.5	0	0							583									
24	0.15	0.15	9.999962937	71.2000105	27.5	0	0							583									
25	0.15	0.15	8.599958077	72.4248854	27.5	0	0							583									
26	0.15	0.15	8.563475307	73.9467223	27.5	0	0							583									
27	0.15	0.15	7.199958077	74.8497565	27.5	0	0							583									
28	0.15	0.15	5.885460917	75.6631342	27.5	0	0							583									
29	0.15	0.15	4.797941537	74.6839304	27.5	0	0							583									
30	0.15	0.15	6.040157117	73.9598131	27.5	0	0							583									
31	0.15	0.15	7.300248147	73.2174016	27.5	0	0							583									
32	0.15	0.15	7.575080847	71.4000151	27.5	0	0							583									
33	0.15	0.15	6.362645287	72.1000151	27.5	0	0							583									
34	0.15	0.15	5.150209717	72.8000151	27.5	0	0							583									
35	0.15	0.15	4.590764347	71.4494010	27.5	0	0							583									
36	0.15	0.15	3.937774947	73.5000165	27.5	0	0							583									
37	0.15	0.15	11.03919597	70.5999988	27.5	0	0							583									
38	0.15	0.15	14.13615467	70.7293175	27.5	0	0							583									
39	0.15	0.15	15.59996057	69.9999938	27.5	0	0							583									
40	0.15	0.15	16.96161557	70.7316866	27.5	0	0							583									
41	0.15	0.15	16.96161207	69.2682869	27.5	0	0							583									
42	0.15	0.15	12.79996057	69.9999938	27.5	0	0							583									
43	0.15	0.15	11.03918717	69.3999908	27.5	0	0							583									
44	0.15	0.15	14.13615137	69.2706703	27.5	0	0							583									
45	0.15	0.15	15.40914247	68.5506056	27.5	0	0							583									
46	0.15	0.15	16.65735087	67.8368668	27.5	0	0							583									
47	0.15	0.15	16.06212957	66.4999860	27.5	0	0							583									
48	0.15	0.15	14.84969717	67.1999915	27.5	0	0							583									
49	0.15	0.15	13.63726157	67.8999915	27.5	0	0							583									
50	0.15	0.15	12.42482597	68.5999915	27.5	0	0							583									
51	0.15	0.15	12.69965867	66.7826051	27.5	0	0							583									
52	0.15	0.15	13.95974977	66.0401935	27.5	0	0							583									
53	0.15	0.15	15.20196217	65.3160727	27.5	0	0							583									
54	0.15	0.15	12.79994877	65.1502501	27.5	0	0							583									
55	0.15	0.15	14.11442677	64.3368696	27.5	0	0							583									
56	0.15	0.15	12.84709927	63.6051725	27.5	0	0							583									
57	0.15	0.15	11.39994877	67.5751212	27.5	0	0							583									
58	0.15	0.15	11.43643157	66.0532843	27.5	0	0							583									
59	0.15	0.15	11.44933277	64.5908093	27.5	0	0							583									
60	0.15	0.15	11.45532247	63.1529601	27.5	0	0							583									
61	0.15	0.15	5.863755457	70.7293363	27.5	0	0							583									
62	0.15	0.15	9.999967047	69.9999630	27.5	0	0							583									
63	0.15	0.15	8.960721117	70.6000141	27.5	0	0							583									
64	0.15	0.15	8.960712297	69.4000061	27.5	0	0							583									
65	0.15	0.15	9.999945257	68.7999945	27.5	0	0							583									
66	0.15	0.15	9.999943857	67.1999962	27.5	0	0							583									
67	0.15	0.15	9.999943857	65.7999962	27.5	0	0							583									
68	0.15	0.15	9.999943897	64.3999962	27.5	0	0							583									
69	0.15	0.15	9.999939147	62.9999962	27.5	0	0							583									
70	0.15	0.15	8.544556447	63.1529660	27.5	0	0							583									
71	0.15	0.15	7.152781547	63.6051841	27.5	0	0							583									
72	0.15	0.15	8.550555717	64.5908142	27.5	0	0							583									
73	0.15	0.15	8.563457427	66.0532908	27.5	0	0							583									
74	0.15	0.15	7.199941557	65.1502596	27.5	0	0							583									
75	0.15	0.15	5.885441667	64.3368864	27.5	0	0							583									
76	0.15	0.15	6.040143657	66.0402070	27.5	0	0							583									
77	0.15	0.15	4.797925617	65.3160939	27.5	0	0							583									
78	0.15	0.15	7.300233567	66.7826173	27.5	0	0							583									
79	0.15	0.15	8.599941567	67.5751307	27.5	0	0							583									
80	0.15	0.15	7.575071337	68.6000080	27.5	0	0							583									
81	0.15	0.15	7.199946267	70.0000128	27.5	0	0							583									
82	0.15	0.15	4.399946267	70.0000128	27.5	0	0							583									
83	0.15	0.15	5.863752157	69.2706891	27.5	0	0							583									
84	0.15	0.15	4.590759417	68.5506240	27.5	0	0							583									
85	0.15	0.15	6.362635767	67.9000080	27.5	0	0							583									
86	0.15	0.15	5.150200267	67.2000080	27.5	0	0							583									
87	0.15	0.15	3.937763047	66.5000107	27.5	0	0							583									
88	0.15	0.15	3.342547177	67.8368939	27.5	0	0							583									
89	0.15	0.15	3.038291777	69.2683153	27.5	0	0							583									
90	0.15	0.15	3.342554527	72.1631353	27.5	0	0							583									
91	0.15	0.15	3.038294257	70.7317150	27.5	0	0							583									
92																							

Output from PIGLET

Company name (licensee): **Arup, International**

Title: **Aramis shaft uplift anchor piles - 150mm in sand**

Scope of problem	Vertical loading only
Total number of piles	91
Number of load cases	2
Pile head fixity	Piles pinned to pile cap

Results from each load case (sequentially)

Load case number: 1 out of 2

Linear elastic analysis

Rigid pile cap: Total applied load = 54732 Spring

Settlement of piles = 0.07206375 8346.09 kN/m

Total load	Average settlement
54732	0.07206375

Pile No.	Load	% of total
1	596.596558	1.09003258
2	947.438049	1.73104966
3	947.326843	1.73084652
4	596.399658	1.08967268
5	947.437073	1.73104799
6	596.598755	1.09003651
7	947.604248	1.73135328
8	596.778687	1.09036529
9	947.60553	1.73135567
10	596.598633	1.09003627
11	947.436584	1.73104692
12	947.326782	1.73084641
13	947.437134	1.73104799
14	947.603149	1.73135126
15	596.59668	1.0900327
16	596.401062	1.08967531
17	395.31366	0.72227162
18	395.561829	0.72272503
19	395.561951	0.72272521
20	395.313568	0.72227138
21	282.806244	0.516711
22	282.992126	0.51705062
23	282.805939	0.51671046
24	213.767914	0.3905721
25	282.993469	0.51705307
26	395.561249	0.72272396
27	596.778137	1.09036422
28	947.603333	1.73135173
29	947.437134	1.73104799
30	596.5979	1.09003496
31	395.561279	0.72272402

32	282.806091	0.5167107
33	395.313232	0.72227085
34	596.400024	1.0896734
35	596.597412	1.09003413
36	947.326294	1.73084557
37	213.767578	0.3905715
38	395.561249	0.72272396
39	596.777222	1.09036267
40	947.604736	1.73135424
41	947.604065	1.73135304
42	282.993378	0.51705289
43	213.768845	0.39057383
44	395.562683	0.72272658
45	596.595886	1.09003127
46	947.438232	1.73105001
47	947.327209	1.73084712
48	596.400879	1.08967495
49	395.313141	0.72227061
50	282.805298	0.51670927
51	395.561066	0.7227236
52	596.597839	1.09003484
53	947.437317	1.73104835
54	596.776794	1.09036183
55	947.604248	1.73135328
56	947.604858	1.73135448
57	282.99234	0.51705104
58	395.561615	0.72272462
59	596.597229	1.09003377
60	947.437317	1.73104835
61	395.561523	0.72272444
62	193.279373	0.35313782
63	213.767822	0.39057192
64	213.767471	0.39057133
65	213.767212	0.39057082
66	282.804718	0.5167082
67	395.31485	0.72227377
68	596.400818	1.08967483
69	947.325562	1.73084414
70	947.437073	1.73104799
71	947.604248	1.73135328
72	596.598999	1.09003699
73	395.56076	0.72272301
74	596.778198	1.09036434
75	947.605286	1.73135531
76	596.598328	1.09003568
77	947.437256	1.73104823
78	395.560638	0.72272283
79	282.992493	0.51705128
80	282.805786	0.51671016
81	282.991791	0.51705003
82	596.778503	1.09036493
83	395.561584	0.72272462
84	596.598694	1.09003639
85	395.312958	0.72227031
86	596.399536	1.08967257
87	947.327271	1.73084724
88	947.437561	1.73104882
89	947.603027	1.73135102
90	947.438049	1.73104954
91	947.60498	1.73135459

Load case number: 2 out of 2

Non-linear plastic analysis allowing for pile failure

Rigid pile cap: Total applied load = 53053.6836 Spring
Settlement of piles = 0.15415867 3955.75 kN/m

Incremental loads and settlements	Load step	Number of failed piles	New failed pile	load	settle	Total load	Average settlement
	1	0				2736.6001	0.00364485
	2	0				5473.2002	0.00736766
	3	0				8209.80078	0.01117144
	4	0				10946.4004	0.01506304
	5	0				13683	0.01905209
	6	0				16419.5996	0.02315125
	7	0				19156.1992	0.02737708
	8	0				21892.7988	0.03175136
	9	0				24629.3984	0.03630315
	10	0				27365.998	0.04107186
	11	0				30102.5977	0.04611226
	12	0				32839.1992	0.05150237
	13	0				35575.8008	0.05735693
	14	0				38312.4023	0.06385114
	15	0				41049.0039	0.07126542
	16	0				43785.6055	0.08007645
	17	0				46522.207	0.09116203
	18	0				49258.8086	0.1063298
	19	0				51995.4102	0.1299811
	20	0	91			52555.6016	0.1371855
	20	1	89			52555.6016	0.1371855
	20	2	75			52555.6016	0.1371855
	20	3	71			52555.6016	0.1371855
	20	4	28			52555.6016	0.1371855
	20	5	14			52555.6016	0.1371855
	20	6	9			52555.6016	0.1371855
	20	7	7			52555.6016	0.1371855
	20	8	40			52555.6016	0.1371855
	20	9	41			52555.6016	0.1371855
	20	10	55			52555.6016	0.1371855
	20	11	56			52555.6055	0.13718557
	20	12	90			52555.7461	0.13718773
	20	13	88			52555.7461	0.13718773
	20	14	77			52555.7461	0.13718773
	20	15	60			52555.7461	0.13718773
	20	16	53			52555.7461	0.13718773
	20	17	46			52555.7461	0.13718773
	20	18	13			52555.7461	0.13718773
	20	19	11			52555.7461	0.13718773
	20	20	70			52555.75	0.13718781
	20	21	29			52555.75	0.13718781
	20	22	5			52555.75	0.13718781
	20	23	2			52555.75	0.13718781
	20	24	12			52555.8359	0.13718931
	20	25	87			52555.8359	0.13718931
	20	26	47			52555.8359	0.13718931
	20	27	69			52555.8398	0.13718939
	20	28	36			52555.8398	0.13718939
	20	29	3			52555.8398	0.13718939
	20	30	82			52843.0039	0.14277151

20	31	27	52843.0039	0.14277151
20	32	8	52843.0039	0.14277151
20	33	54	52843.0039	0.14277151
20	34	74	52843.0078	0.14277159
20	35	39	52843.0078	0.14277159
20	36	1	52843.1367	0.14277449
20	37	45	52843.1406	0.14277457
20	38	52	52843.1406	0.14277457
20	39	59	52843.1406	0.14277457
20	40	6	52843.1406	0.14277457
20	41	72	52843.1406	0.14277457
20	42	76	52843.1406	0.14277457
20	43	84	52843.1406	0.14277457
20	44	35	52843.1406	0.14277457
20	45	30	52843.1406	0.14277457
20	46	15	52843.1406	0.14277457
20	47	10	52843.1406	0.14277457
20	48	86	52843.2617	0.14277799
20	49	68	52843.2617	0.14277799
20	50	48	52843.2617	0.14277799
20	51	34	52843.2617	0.14277799
20	52	16	52843.2617	0.14277799
20	53	4	52843.2617	0.14277799
20	54	58	52983.7969	0.14730914
20	55	44	52983.7969	0.14730914
20	56	19	52983.7969	0.14730914
20	57	18	52983.7969	0.14730914
20	58	38	52983.8008	0.14730921
20	59	51	52983.8008	0.14730921
20	60	73	52983.8008	0.14730921
20	61	78	52983.8008	0.14730921
20	62	83	52983.8008	0.14730921
20	63	61	52983.8008	0.14730921
20	64	31	52983.8008	0.14730921
20	65	26	52983.8008	0.14730921
20	66	85	52983.9336	0.14731573
20	67	67	52983.9336	0.14731573
20	68	33	52983.9336	0.14731573
20	69	17	52983.9336	0.14731573
20	70	20	52983.9336	0.1473158
20	71	49	52983.9336	0.14731587
20	72	25	53037.5195	0.15069352
20	73	81	53037.5195	0.1506936
20	74	79	53037.5195	0.1506936
20	75	57	53037.5195	0.1506936
20	76	42	53037.5195	0.1506936
20	77	22	53037.5195	0.15069367
20	78	80	53037.5898	0.15070018
20	79	66	53037.5898	0.15070018
20	80	50	53037.5898	0.15070018
20	81	32	53037.5898	0.15070018
20	82	23	53037.5898	0.15070018
20	83	21	53037.5898	0.15070018
20	84	24	53052.9375	0.15331507
20	85	63	53052.9375	0.15331514
20	86	64	53052.9375	0.15331514
20	87	65	53052.9375	0.15331514
20	88	43	53052.9375	0.15331514
20	89	37	53052.9375	0.15331514
20	90	62	53053.6836	0.15415867

*** All piles now failed axially; final loading reached is 96.9335785 percent of requested loading ***

Pile No.	Load	% of total
1	583.008118	1.09890223
2	583.012024	1.09890962
3	583.012024	1.09890962
4	583.008118	1.09890223
5	583.012024	1.09890962
6	583.008118	1.09890223
7	583.012024	1.09890962
8	583.008118	1.09890223
9	583.012024	1.09890962
10	583.008118	1.09890223
11	583.012024	1.09890962
12	583.012024	1.09890962
13	583.012024	1.09890962
14	583.012024	1.09890962
15	583.008118	1.09890223
16	583.008118	1.09890223
17	583.004944	1.09889627
18	583.004944	1.09889627
19	583.004944	1.09889627
20	583.004944	1.09889627
21	583.002502	1.09889162
22	583.002502	1.09889162
23	583.002502	1.09889162
24	583.00061	1.09888804
25	583.002502	1.09889162
26	583.004944	1.09889627
27	583.008118	1.09890223
28	583.012024	1.09890962
29	583.012024	1.09890962
30	583.008118	1.09890223
31	583.004944	1.09889627
32	583.002502	1.09889162
33	583.004944	1.09889627
34	583.008118	1.09890223
35	583.008118	1.09890223
36	583.012024	1.09890962
37	583.00061	1.09888804
38	583.004944	1.09889627
39	583.008118	1.09890223
40	583.012024	1.09890962
41	583.012024	1.09890962
42	583.002502	1.09889162
43	583.00061	1.09888804
44	583.004944	1.09889627
45	583.008118	1.09890223
46	583.012024	1.09890962
47	583.012024	1.09890962
48	583.008118	1.09890223
49	583.004944	1.09889627
50	583.002502	1.09889162
51	583.004944	1.09889627
52	583.008118	1.09890223
53	583.012024	1.09890962
54	583.008118	1.09890223
55	583.012024	1.09890962

56	583.012024	1.09890962
57	583.002502	1.09889162
58	583.004944	1.09889627
59	583.008118	1.09890223
60	583.012024	1.09890962
61	583.004944	1.09889627
62	583	1.09888697
63	583.00061	1.09888804
64	583.00061	1.09888804
65	583.00061	1.09888804
66	583.002502	1.09889162
67	583.004944	1.09889627
68	583.008118	1.09890223
69	583.012024	1.09890962
70	583.012024	1.09890962
71	583.012024	1.09890962
72	583.008118	1.09890223
73	583.004944	1.09889627
74	583.008118	1.09890223
75	583.012024	1.09890962
76	583.008118	1.09890223
77	583.012024	1.09890962
78	583.004944	1.09889627
79	583.002502	1.09889162
80	583.002502	1.09889162
81	583.002502	1.09889162
82	583.008118	1.09890223
83	583.004944	1.09889627
84	583.008118	1.09890223
85	583.004944	1.09889627
86	583.008118	1.09890223
87	583.012024	1.09890962
88	583.012024	1.09890962
89	583.012024	1.09890962
90	583.012024	1.09890962
91	583.012024	1.09890962

Input data for PIGLET **Version No:** 6.2b **September 2021**

Sum of input data 1802707844

Company name (licensee Arup, Internationa

Output file path name (optional - defaults to current directory

Title: Aramis shaft uplift anchor piles - 150mm in sand

DLL file path name (optional - should default to current directory if left blank

Scope of problem 1 — 1 for vertical loading only, 2 for x:z plane only, 3 for all 6 degrees of freedor

Current directory name (for information - as output from VBA)
C:\Users\Christopher.Shaw\OneDrive - Arup\Document

Soil details:

		Symbols					
Axial: Surface shear modulus, G(0)	29828.25	G_{as}					
Axial: Shear modulus gradient, dG/dz	550	Gm_a	$G_{as} + G_{ma}L =$	44953.25			
Axial: Shear modulus below base, G_b	44953.25	G_b	Set to less than $G_{as} + G_{ma}L$ for continuous profile				
Lateral: Surface shear modulus, G(0)	29828.25	G_{al}					
Lateral: Shear modulus gradient, dG/dz	550	Gm_l					
Poisson's ratio (all loading modes	0.2	v					

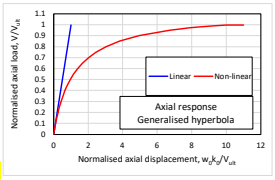
Nonlinear pile response (using hyperbolic curves)

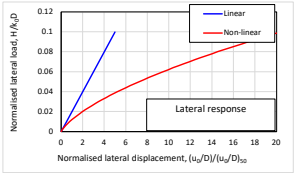
Axial	f	Power g	$k_{ii} = k_{ii,0}\left[1 - f\left(\frac{V_i}{V_{i,ult}}\right)^g\right]$
	0.9	0.9	
Lateral	$(u_l/d)_{50}$	Power p	$\frac{k_{il}}{k_{il,0}} = \frac{1}{1 + \left[\left(u_l / D_l\right) / \left(u / D\right)_{50}\right]^p}$
	0.02	0.7	

Number of loading steps 20

Pile details:

Free-standing length	2.5	L_f
Young's modulus: Free-standing part (axial)	3.00E+07	E_{paf}
Young's modulus: Embedded part (axial)	3.00E+07	E_{pa}
Young's modulus: Free-standing part (lateral: x-z)	3.00E+07	$E_{p/xf}$
Young's modulus: Embedded part (lateral: x-z)	3.00E+07	$E_{p/x}$
Young's modulus: Free-standing part (lateral: y-z)	3.00E+07	$E_{p/yf}$
Young's modulus: Embedded part (lateral: y-z)	3.00E+07	$E_{p/y}$
Piles pinned (0) to fixed (1) to pile cap	1	Fixity





Loading cases

	V (w)	H (u) x	M (θ) x to z	H (v) y	M (θ) y to z	T (ϕ) x to y	Loading Type
1	54732	0	0	0.3	0	0	1
2	54732	0	0	0.3	0	0	-1

Pile loads (vertical loading only, fully flexible pile ca

Axial capacities Axial pile capacities in compression (with negative load typ

							Rake	Rake	Profile switches		Ratio of tensile to compressive axial capacity (range 0-10	0.8											
Pile group geometry:	Shaft Diameter	Base Diameter	x co-ord.	y co-ord	Embedded Length	x to z ψ(x)	y to z ψ(y)	x:z	y:z	Load case number 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.15	0.15	15.40914747	1.4493826	27.5	0	0				583											
2	0.15	0.15	16.65736117	2.1631082	27.5	0	0				583											
3	0.15	0.15	16.06214617	3.4999918	27.5	0	0				583											
4	0.15	0.15	14.84970667	2.7999986	27.5	0	0				583											
5	0.15	0.15	15.20198437	4.6839091	27.5	0	0				583											
6	0.15	0.15	13.95976317	3.9597996	27.5	0	0				583											
7	0.15	0.15	14.11446907	5.6631174	27.5	0	0				583											
8	0.15	0.15	12.79996527	4.8497470	27.5	0	0				583											
9	0.15	0.15	12.84712967	6.3948206	27.5	0	0				583											
10	0.15	0.15	11.44935117	5.4091924	27.5	0	0				583											
11	0.15	0.15	11.45535507	6.8470396	27.5	0	0				583											
12	0.15	0.15	9.99996293	7.0000105	27.5	0	0				583											
13	0.15	0.15	8.54457971	6.8470456	27.5	0	0				583											
14	0.15	0.15	7.15280327	6.3948322	27.5	0	0				583											
15	0.15	0.15	8.55057410	5.4091973	27.5	0	0				583											
16	0.15	0.15	9.99996293	5.6000105	27.5	0	0				583											
17	0.15	0.15	9.99996293	4.2000105	27.5	0	0				583											
18	0.15	0.15	11.43644947	3.9467158	27.5	0	0				583											
19	0.15	0.15	12.69673273	3.2173893	27.5	0	0				583											
20	0.15	0.15	13.63727107	2.0999986	27.5	0	0				583											
21	0.15	0.15	12.42483557	1.3999986	27.5	0	0				583											
22	0.15	0.15	11.39996527	2.4248759	27.5	0	0				583											
23	0.15	0.15	9.99996293	2.8000105	27.5	0	0				583											
24	0.15	0.15	9.99996293	1.2000105	27.5	0	0				583											
25	0.15	0.15	8.59995807	2.4248854	27.5	0	0				583											
26	0.15	0.15	8.56347530	3.9467223	27.5	0	0				583											
27	0.15	0.15	7.19995807	4.8497565	27.5	0	0				583											
28	0.15	0.15	5.88546091	5.6631342	27.5	0	0				583											
29	0.15	0.15	4.79794153	4.6839304	27.5	0	0				583											
30	0.15	0.15	6.04015711	3.9598131	27.5	0	0				583											
31	0.15	0.15	7.30024814	3.2174016	27.5	0	0				583											
32	0.15	0.15	7.57508084	1.4000151	27.5	0	0				583											
33	0.15	0.15	6.36264528	2.1000151	27.5	0	0				583											
34	0.15	0.15	5.15020971	2.8000151	27.5	0	0				583											
35	0.15	0.15	4.59076434	1.4494010	27.5	0	0				583											
36	0.15	0.15	3.93777499	3.5000165	27.5	0	0				583											
37	0.15	0.15	11.03919597	0.5999988	27.5	0	0				583											
38	0.15	0.15	14.13615467	0.7293175	27.5	0	0				583											
39	0.15	0.15	15.59960569	0.9999938	27.5	0	0				583											
40	0.15	0.15	16.96161557	0.7316866	27.5	0	0				583											
41	0.15	0.15	16.96161206	9.2682869	27.5	0	0				583											
42	0.15	0.15	12.79996056	9.9999938	27.5	0	0				583											
43	0.15	0.15	11.03918716	9.3999908	27.5	0	0				583											
44	0.15	0.15	14.13615136	9.2706703	27.5	0	0				583											
45	0.15	0.15	15.40914246	8.5506056	27.5	0	0				583											
46	0.15	0.15	16.65735086	7.8368668	27.5	0	0				583											
47	0.15	0.15	16.06212956	6.4999860	27.5	0	0				583											
48	0.15	0.15	14.84969716	7.1999915	27.5	0	0				583											
49	0.15	0.15	13.63726156	7.8999915	27.5	0	0				583											
50	0.15	0.15	12.42482596	8.5999915	27.5	0	0				583											
51	0.15	0.15	12.69965866	6.7826051	27.5	0	0				583											
52	0.15	0.15	13.95974976	6.0401935	27.5	0	0				583											
53	0.15	0.15	15.20196216	5.3160727	27.5	0	0				583											
54	0.15	0.15	12.79994876	5.1502501	27.5	0	0				583											
55	0.15	0.15	14.11444206	4.3368696	27.5	0	0				583											
56	0.15	0.15	12.84709926	3.6051725	27.5	0	0				583											
57	0.15	0.15	11.39994876	7.5751212	27.5	0	0				583											
58	0.15	0.15	11.43643156	6.0532843	27.5	0	0				583											
59	0.15	0.15	11.44933276	4.5908093	27.5	0	0				583											
60	0.15	0.15	11.45532246	3.1529601	27.5	0	0				583											
61	0.15	0.15	5.86375545	0.7293363	27.5	0	0				583											
62	0.15	0.15	9.99996704	9.9999630	27.5	0	0				583											
63	0.15	0.15	8.96072111	0.6000141	27.5	0	0				583											
64	0.15	0.15	8.96071229	9.4000061	27.5	0	0				583											
65	0.15	0.15	9.99994529	8.7999945	27.5	0	0				583											
66	0.15	0.15	9.99994389	7.1999962	27.5	0	0				583											
67	0.15	0.15	9.99994389	5.7999962	27.5	0	0				583											
68	0.15	0.15	9.99994389	4.3999962	27.5	0	0				583											
69	0.15	0.15	9.99993914	2.9999962	27.5	0	0				583											
70	0.15	0.15	8.54455644	3.1529660	27.5	0	0				583											
71	0.15	0.15	7.15278154	3.6051841	27.5	0	0				583											
72	0.15	0.15	8.55055571	4.5908142	27.5	0	0				583											
73	0.15	0.15	8.56345742	6.0532908	27.5	0	0				583											
74	0.15	0.15	7.19994159	5.1502596	27.5	0	0				583											
75	0.15	0.15	5.88544166	4.3368864	27.5	0	0				583											
76	0.15	0.15	6.04014356	6.0402070	27.5	0	0				583											
77	0.15	0.15	4.79792561	5.3160939	27.5	0	0				583											
78	0.15	0.15	7.30023356	6.7826173	27.5	0	0				583											
79	0.15	0.15	8.59994159	7.5751307	27.5	0	0				583											
80	0.15	0.15	7.57507133	8.6000080	27.5	0	0				583											
81	0.15	0.15	7.19994626	9.0000128	27.5	0	0				583											
82	0.15	0.15	4.39994626	9.0000128	27.5	0	0				583											
83	0.15	0.15	5.86375215	9.2706891	27.5	0	0				583											
84	0.15	0.15	4.59075941	8.5506240	27.5	0	0				583											
85	0.15	0.15	6.36263576	7.9000080	27.5	0	0				583											
86	0.15	0.15	5.15020020	7.2000080	27.5	0	0				583											
87	0.15	0.15	3.93776304	6.5000107	27.5	0	0				583											
88	0.15	0.15	3.34254717	7.8368939	27.5	0	0				583											
89	0.15	0.15	3.03829177	9.2683153	27.5	0	0				583											
90	0.15	0.15	3.34255452	2.1631353	27.5	0	0				583											
91	0.15	0.15	3.03829425	0.7317150	27.5	0	0				583											
92																						
93																						
94																						
95																						
96																						
97																						
98																						
99																						
100																						
101																						
102																						
103																						
104																						
105																						
106																						
107																						
108																						
109																						
110																						
111																						
112																						
113																						
114																						
115																						
116																						
117																						
118																						
119																						
120																						
121																						
122																						
123																						
124																						
125																						
126																						
127																						
128																						
129																						
130																						
131																						
132																						
133																						
134																						
135																						

Output from PIGLET

Company name (licensee): **Arup, International**

Title: **Aramis shaft uplift anchor piles - 150mm in sand**

Scope of problem	Vertical loading only
Total number of piles	91
Number of load cases	1
Pile head fixity	Piles pinned to pile cap

Results from each load case (sequentially)

Load case number: 1 out of 1

Linear elastic analysis

Rigid pile cap: Total applied load = 54732 Spring
Settlement of piles = 0.06534076 9204.83 kN/m

Total load	Average settlement
54732	0.06534076

Pile No.	Load	% of total
1	598.777771	1.09401774
2	936.115845	1.71036303
3	936.010986	1.71017146
4	598.589844	1.09367442
5	936.114868	1.71036124
6	598.777649	1.09401751
7	936.275391	1.7106545
8	598.950745	1.09433377
9	936.276001	1.71065569
10	598.778564	1.09401917
11	936.116333	1.71036398
12	936.010803	1.7101711
13	936.115417	1.7103622
14	936.274536	1.71065295
15	598.777588	1.09401739
16	598.588928	1.09367275
17	402.360748	0.73514718
18	402.602112	0.73558819
19	402.601349	0.73558682
20	402.360657	0.73514706
21	291.178894	0.53200853
22	291.362366	0.53234375
23	291.179199	0.53200907
24	222.350967	0.40625408
25	291.362488	0.53234398
26	402.600861	0.73558593
27	598.950562	1.09433341
28	936.274048	1.71065211
29	936.115967	1.71036327
30	598.778076	1.09401834
31	402.601135	0.7355864

32	291.179199	0.53200907
33	402.360657	0.73514706
34	598.588623	1.09367216
35	598.777954	1.0940181
36	936.009827	1.71016932
37	222.350845	0.40625384
38	402.600891	0.73558599
39	598.950439	1.09433329
40	936.274719	1.71065331
41	936.274963	1.71065378
42	291.362518	0.53234404
43	222.349701	0.40625179
44	402.600983	0.73558611
45	598.777283	1.09401691
46	936.116211	1.71036375
47	936.011414	1.71017218
48	598.588135	1.09367132
49	402.360229	0.73514628
50	291.178802	0.53200841
51	402.601196	0.73558658
52	598.778809	1.09401965
53	936.11615	1.71036363
54	598.949402	1.09433138
55	936.274475	1.71065283
56	936.274597	1.71065307
57	291.361511	0.5323422
58	402.601654	0.73558736
59	598.776123	1.09401476
60	936.115173	1.71036184
61	402.601166	0.73558646
62	201.947433	0.3689751
63	222.35141	0.40625489
64	222.351608	0.40625525
65	222.350784	0.40625373
66	291.179504	0.53200966
67	402.360199	0.73514622
68	598.589478	1.09367383
69	936.010803	1.7101711
70	936.115967	1.71036327
71	936.274597	1.71065307
72	598.778381	1.09401894
73	402.601471	0.73558706
74	598.950806	1.09433401
75	936.274475	1.71065283
76	598.778442	1.09401894
77	936.116089	1.71036351
78	402.601563	0.73558718
79	291.361084	0.53234142
80	291.178284	0.5320074
81	291.361755	0.53234267
82	598.950073	1.09433258
83	402.601959	0.73558789
84	598.778564	1.09401917
85	402.360168	0.73514611
86	598.589661	1.09367406
87	936.010986	1.71017146
88	936.116516	1.71036422
89	936.273682	1.71065128
90	936.115173	1.71036172
91	936.275085	1.7106539

A.5 Shaft shear base stability calculations

ARUP	Job No. 60325853	Sheet No. 1	Rev.: 1
		Sheet Description: Shaft Bearing Stability Calculation Summary	
	Member/Location	Birmingham (One Centenary Way)	
Job Title: Project Aramis	Drg. Ref.		
	Made by: [redacted]	Date: 04/06/2024	Chd. CKS 06/06/2024

Parameter	Symbol	Characteristic Value	Design Value
Effective Angle of Shearing Resistance (°)	φ	33	26
Effective Cohesion (kPa)	c'	0	0
Soil Bouyant Unit Weight (kN/m^3)	γ	8.9	9.4
Footing Width (m)	B	16.7	16.7
Footing Depth (m)	D	2.7	2.7
Surcharge (kPa)	q	24	24
Bearing Capacity Factor 1	N_c	38.6	22.3
Bearing Capacity Factor 2	N_q	26.1	11.9
Bearing Capacity Factor 3	N_γ	32.5	7.9
Shape Factor 1	S_c	2.04	1.83
Shape Factor 2	S_q	2.0	1.8
Shape Factor 3	S_γ	0.7	0.7
Depth Factor 1	d_c	1.065	1.065
Depth Factor 2	d_q	1	1
Depth Factor 3	d_γ	1	1
Total Stress at Base Slab Level (kPa)	σ_v	405.875	405.875

Bearing Capacity Check - Characterisitc

Terzaghi (1943) characterisitc ultimate bearing capacity, q_{ult} (kPa) = $(c' \times N_c) + (q \times N_q) + (0.5 \times Y \times B \times Ny)$ = (0 x 38.6) + (24 x 26.1) + (0.5 x 8.9 x 16.7 x 32.5) **3042** kPa

Vesic (1973) modified characteristic ultimate bearing capacity, q_{ult} (kPa)= $(c \times N_c \times S_c \times d_c) + q \times N_q \times S_q \times d_q) + (0.5 \times \gamma \times B' \times N_\gamma \times S_\gamma \times d_\gamma)$ = (38.6 x 2.04 x 1.065) + (24 x 26.1 x 2 x 1) + (0.5 x 8.9 x 16.7 x 32.5 x 0.7 x 1) = **3122** kPa

Force on annulus with width B / √2, F (kN) = $\pi \times 0.25 \times ((B + B / \sqrt{2})^2 - B^2) \times \sigma_v$ = π x 0.25 x ((16.7 + 16.7 / √2)2 - 16.72) x 405.875 = **170178.8** kN

Equivalent Pressure, σ (kPa) = $F / (\pi \times (16.7 / 2)^2)$ = 170178.8 / (π x (16.7 / 2)2) **776.93** kPa

Terzaghi (1943) shaft bearing stability, FoS =	qult / σ	=	3042 / 776.93	3.92
Vesio (1973) shaft bearing stability, FoS =	qult / σ	=	3122 / 776.93 =	4.02

Bearing Capacity Check - Design

Terzaghi (1943) characterisitc ultimate bearing capacity, q_{ult} (kPa) = $(c' \times N_c) + (q \times N_q) + (0.5 \times Y \times B \times Ny)$ = (0 x 22.3) + (24 x 11.9) + (0.5 x 8.9 x 16.7 x 7.9) : **873** kPa

Vesic (1973) modified characteristic ultimate bearing capacity, q_{ult} (kPa)= $(c \times N_c \times S_c \times d_c) + q \times N_q \times S_q \times d_q) + (0.5 \times \gamma \times B' \times N_\gamma \times S_\gamma \times d_\gamma)$ = (22.3 x 1.83 x 1.065) + (24 x 11.9 x 1.8 x 1) + (0.5 x 8.9 x 16.7 x 7.9 x 0.7 x 1) = **969** kPa

Terzaghi (1943) shaft bearing stability, FoS =	qult / σ	=	873 / 776.93 =	1.12
Vesio (1973) shaft bearing stability, FoS =	qult / σ	=	969 / 776.93 =	1.25



A.6 Shaft lateral spring calculations

ARUP

Job No.	Sheet No.	1	Rev: - 1
109236	Sheet Description: Tunnel Shaft Lateral Earth Pressure Calculation Summary		
Member/Location	Bromley/Maxwilde shaft TH site		
Job Title: Project Arama	Org. Ref.		
Made by	Date: 09/07/2024	Chd.	

Parameter	Symbol	Value
Tunnel Lining Outer Radius (m)	r_0	9.55
Ground Poisson's Ratio	ν_s	Variable (0.2 - 0.45)
Ground Young's Modulus (MPa)	E_s	Variable (1.5 - 57)

	Unit weight	friction angle (peak)	K_0	K_a	K_p
	kN/m^3	°	-	-	-
Medium Dense SAND	18.5	33	0.52	0.26	5.16
Medium Dense Silty SAND pocket	18	31	0.52	0.26	5.16
Silty and Sandy CLAY pocket (1)	17	19	0.67	0.46	2.36
NLD Silty SAND	17.5	30	0.52	0.29	4.29
Medium Dense SAND	19	32	0.52	0.27	4.85
Organic and Silty/Sandy CLAY	17	19	0.67	0.46	2.36
Soft PEAT	15	15	0.8	0.54	1.94
SAND and Gravelly SAND	19.5	33	0.52	0.26	5.16

Top Level	K_0	K_a	K_p	Effective lateral stress, σ_h', kPa = σ_v' x K_0	Total lateral stress, σ_h, kPa = σ_v x K_0	Active limit (outside), P_a', kPa = $\sigma h'$ x K_a	Passive limit (outside), P_p', kPa = $\sigma h'$ x K_p
4	0.52	0.26	5.16	1	4	1	11
3.5	0.52	0.26	5.16	3	11	2	33
3	0.52	0.26	5.16	6	18	3	55
2.5	0.52	0.26	5.16	8	25	4	76
2	0.52	0.26	5.16	10	32	5	98
1.5	0.52	0.26	5.16	12	40	6	120
1	0.52	0.26	5.16	14	47	7	142
0.5	0.52	0.26	5.16	17	54	8	164
0	0.52	0.26	5.16	19	61	9	186
-0.5	0.52	0.26	5.16	21	69	10	208
-1	0.52	0.26	5.16	23	76	12	229
-1.5	0.52	0.26	5.16	25	83	13	251
-2	0.52	0.28	4.56	27	90	15	240
-2.5	0.52	0.28	4.56	29	97	16	258
-3	0.52	0.28	4.56	32	104	17	276
-3.5	0.52	0.28	4.56	34	111	18	294
-4	0.52	0.26	5.16	36	119	18	355
-4.5	0.52	0.26	5.16	38	126	19	377
-5	0.52	0.26	5.16	40	133	20	399
-5.5	0.52	0.26	5.16	42	140	21	421
-6	0.52	0.27	4.85	45	148	23	417
-6.5	0.52	0.27	4.85	47	155	24	439
-7	0.52	0.27	4.85	49	162	26	460
-7.5	0.52	0.27	4.85	52	170	27	482
-8	0.52	0.27	4.85	54	177	28	504
-8.5	0.52	0.27	4.85	56	184	29	526
-9	0.67	0.46	2.36	75	208	52	264
-9.5	0.67	0.46	2.36	77	215	53	272
-10	0.67	0.46	2.36	80	223	55	280
-10.5	0.67	0.46	2.36	82	230	57	288
-11	0.52	0.29	4.29	66	219	37	541
-11.5	0.52	0.29	4.29	68	226	38	557
-12	0.52	0.29	4.29	69	232	39	573
-12.5	0.52	0.29	4.29	71	239	40	589
-13	0.67	0.46	2.36	94	267	65	332
-13.5	0.67	0.46	2.36	97	275	67	340
-14	0.67	0.46	2.36	99	282	68	348
-14.5	0.67	0.46	2.36	101	289	70	356
-15	0.52	0.27	4.85	81	274	42	755
-15.5	0.52	0.27	4.85	83	281	43	777
-16	0.52	0.27	4.85	86	289	45	798
-16.5	0.52	0.27	4.85	88	296	46	820
-17	0.52	0.27	4.85	90	303	47	842
-17.5	0.52	0.27	4.85	93	311	48	864
-18	0.52	0.27	4.85	95	318	49	885
-18.5	0.52	0.27	4.85	97	326	51	907
-19	0.67	0.46	2.36	128	361	88	449
-19.5	0.67	0.46	2.36	130	368	90	457
-20	0.67	0.46	2.36	132	376	91	466
-20.5	0.8	0.54	1.94	160	408	109	388
-21	0.8	0.54	1.94	162	415	110	393
-21.5	0.8	0.54	1.94	164	422	112	398
-22	0.52	0.26	5.16	109	372	54	1083
-22.5	0.52	0.26	5.16	112	380	56	1107

Inputs

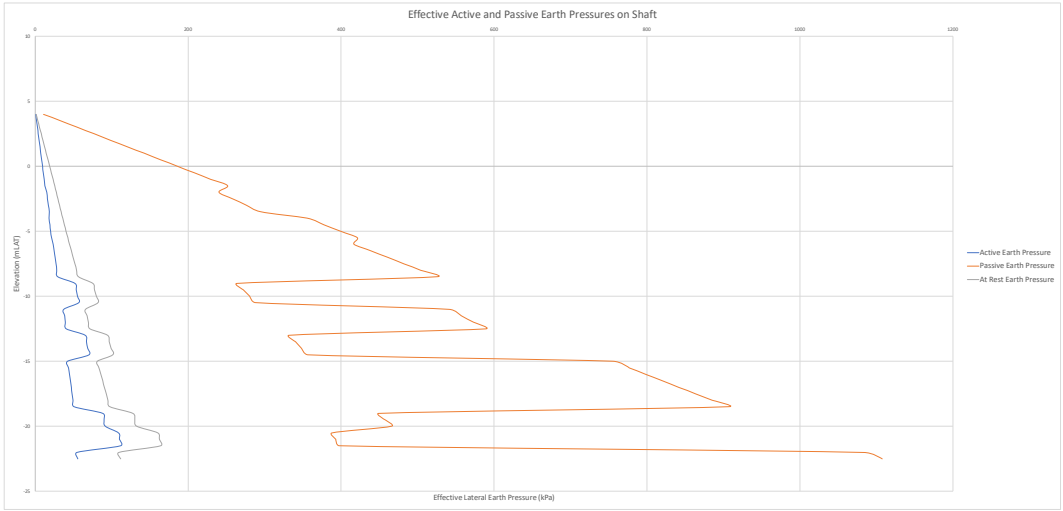
Effective internal friction angle	$\phi' = 33\ ^\circ$
The angle of wall friction, with sign convention as defined in Figure C.4 of BS EN 1997-1 when computing passive resistance	$\delta = 16.5\ ^\circ$
The angle from the horizontal to the soil surface direction, positive when the soil surface rises away from the wall	$\beta = 0\ ^\circ$
The angle between the vertical and the wall direction, positive when the soil overhangs the wall	$\theta = 0\ ^\circ$

Example Passive Earth Pressure Coefficient, K_p

$$K_n = \frac{1+\sin(\phi')\times\sin(2\times m_w+\phi')}{1-\sin(\phi')\times\sin(2\times m_t+\phi')}\times e^{2\times\frac{\pi-3.14}{180}\times\tan(\phi')}$$
$$= \frac{1+\sin(33\ ^\circ)\times\sin(2\times 4.53\ ^\circ+33\ ^\circ)}{1-\sin(33\ ^\circ)\times\sin(2\times 28.5\ ^\circ+33\ ^\circ)}\times(e)^{2\times\frac{34-3.14}{180}\times\tan(33\ ^\circ)}$$
$$= 5.16$$

Examle Active Earth Pressure Coefficient, K_a

$$K_n = \frac{1+\sin(-\phi')\times\sin(2\times m_w-\phi')}{1-\sin(-\phi')\times\sin(2\times m_t-\phi')}\times e^{2\times\frac{\pi-3.14}{180}\times\tan(-\phi')}$$
$$= \frac{1+\sin(-33\ ^\circ)\times\sin(2\times 54\ ^\circ-33\ ^\circ)}{1-\sin(-33\ ^\circ)\times\sin(2\times 61.5\ ^\circ-33\ ^\circ)}\times(e)^{2\times\frac{2.67-3.14}{180}\times\tan(-33\ ^\circ)}$$
$$= 0.259$$


Effective Active and Passive Earth Pressures on Shaft
0
200
400
600
800
1000
1200
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
Elevation (m LAT)
Effective Lateral Earth Pressure (kPa)
Active Earth Pressure
Passive Earth Pressure
At Rest Earth Pressure

APPENDIX B TUNNEL CALCULATIONS

B.1 Small-strain stiffness parameters

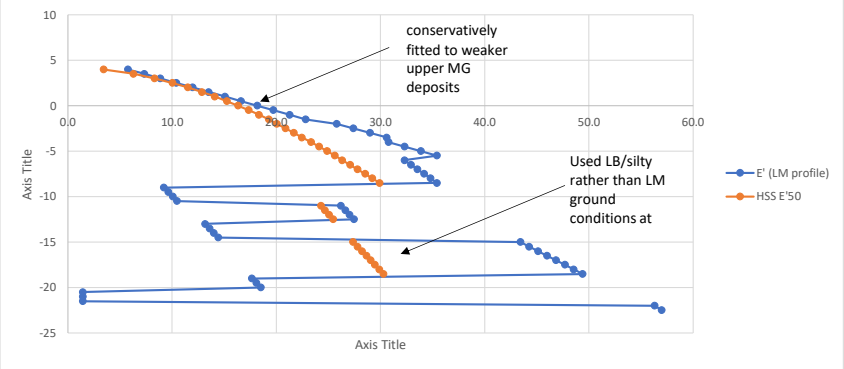
ARUP	Job No. 60325853	Sheet No. 1	Rev.: 1
Job Title: Project Aran	Member/Location	Sheet Description: Tunnel HSSmall parameters: B	
	Drg. Ref.	Maasvlakte shark fin site	
	Made by: [redacted]	Date: 04/06/2024	Chd. [redacted] 07/06/24

Derivation of Plaxis HS model parameter (E50)
E50 is calibrated against effective stresses for sections B and E of the tunnel profile and a conservative best-fit line adopted.

$$E_{50} = E_{50}^{ref}\left(\frac{c\cos(\varphi) - \sigma_3^{'}\sin(\varphi)}{c\cos(\varphi) + p^{ref}\sin(\varphi)}\right)^{m}$$

Stress-dependency parameters used for HS model (note c' = 0):

p' ref = 100 kPa m = 0.55



Stratum	Top Level 0 mLAT	Base Leve mLAT	Unit weigh kN/m3	friction ang degrees	K0 -	E' (LM profile) MPa	Pore wate kPa	Effective vertical stress kPa	Effective lateral stress kPa	E50,ref MPa	HSS E'50 MPa
Medium Dense SAND	4	3.5	18.5	33	0.52	5.8	2.525	2.100	1.1	40	3.4
Medium Dense SAND	3.5	3	18.5	33	0.52	7.3	7.575	6.300	3.3	40	6.3
Medium Dense SAND	3	2.5	18.5	33	0.52	8.9	12.625	10.500	5.5	40	8.3
Medium Dense SAND	2.5	2	18.5	33	0.52	10.4	17.675	14.700	7.6	40	10.0
Medium Dense SAND	2	1.5	18.5	33	0.52	12.0	22.725	18.900	9.8	40	11.5
Medium Dense SAND	1.5	1	18.5	33	0.52	13.5	27.775	23.100	12.0	40	12.9
Medium Dense SAND	1	0.5	18.5	33	0.52	15.1	32.825	27.300	14.2	40	14.1
Medium Dense SAND	0.5	0	18.5	33	0.52	16.6	37.875	31.500	16.4	40	15.3
Medium Dense SAND	0	-0.5	18.5	33	0.52	18.2	42.925	35.700	18.6	40	16.3
Medium Dense SAND	-0.5	-1	18.5	33	0.52	19.7	47.975	39.900	20.7	40	17.4
Medium Dense SAND	-1	-1.5	18.5	33	0.52	21.3	53.025	44.100	22.9	40	18.4
Medium Dense SAND	-1.5	-2	18.5	33	0.52	22.8	58.075	48.300	25.1	40	19.3
Medium Dense Silty SAND pocket	-2	-2.5	18	31	0.52	25.8	63.125	52.250	27.2	40	20.1
Medium Dense Silty SAND pocket	-2.5	-3	18	31	0.52	27.4	68.175	56.200	29.2	40	20.9
Medium Dense Silty SAND pocket	-3	-3.5	18	31	0.52	29.0	73.225	60.150	31.3	40	21.7
Medium Dense Silty SAND pocket	-3.5	-4	18	31	0.52	30.6	78.275	64.100	33.3	40	22.5
Medium Dense SAND	-4	-4.5	18.5	33	0.52	30.8	83.325	68.300	35.5	40	23.3
Medium Dense SAND	-4.5	-5	18.5	33	0.52	32.3	88.375	72.500	37.7	40	24.1
Medium Dense SAND	-5	-5.5	18.5	33	0.52	33.9	93.425	76.700	39.9	40	24.9
Medium Dense SAND	-5.5	-6	18.5	33	0.52	35.4	98.475	80.900	42.1	40	25.6
Medium Dense SAND	-6	-6.5	19	32	0.52	32.3	103.525	85.350	44.4	40	26.3
Medium Dense SAND	-6.5	-7	19	32	0.52	32.9	108.575	89.800	46.7	40	27.1
Medium Dense SAND	-7	-7.5	19	32	0.52	33.6	113.625	94.250	49.0	40	27.8
Medium Dense SAND	-7.5	-8	19	32	0.52	34.2	118.675	98.700	51.3	40	28.5
Medium Dense SAND	-8	-8.5	19	32	0.52	34.8	123.725	103.150	53.6	40	29.2
Medium Dense SAND	-8.5	-9	19	32	0.52	35.4	128.775	107.600	56.0	40	29.9
Silty and Sandy CLAY pocket (1)	-9	-9.5	17	19	0.67	9.2	133.825	111.050	74.4		
Silty and Sandy CLAY pocket (1)	-9.5	-10	17	19	0.67	9.6	138.875	114.500	76.7		
Silty and Sandy CLAY pocket (1)	-10	-10.5	17	19	0.67	10.1	143.925	117.950	79.0		
Silty and Sandy CLAY pocket (1)	-10.5	-11	17	19	0.67	10.5	148.975	121.400	81.3		
NLD Silty SAND	-11	-11.5	17.5	30	0.52	26.2	154.025	125.100	65.1	30	24.3
NLD Silty SAND	-11.5	-12	17.5	30	0.52	26.6	159.075	128.800	67.0	30	24.7
NLD Silty SAND	-12	-12.5	17.5	30	0.52	27.0	164.125	132.500	68.9	30	25.1
NLD Silty SAND	-12.5	-13	17.5	30	0.52	27.5	169.175	136.200	70.8	30	25.5
Silty and Sandy CLAY pocket (2)	-13	-13.5	17	19	0.67	13.2	174.225	139.650	93.6		
Silty and Sandy CLAY pocket (2)	-13.5	-14	17	19	0.67	13.6	179.275	143.100	95.9		
Silty and Sandy CLAY pocket (2)	-14	-14.5	17	19	0.67	14.0	184.325	146.550	98.2		
Silty and Sandy CLAY pocket (2)	-14.5	-15	17	19	0.67	14.4	189.375	150.000	100.5		
Medium Dense SAND	-15	-15.5	19	32	0.52	43.4	194.425	154.450	80.3	30	27.4
Medium Dense SAND	-15.5	-16	19	32	0.52	44.3	199.475	158.900	82.6	30	27.8
Medium Dense SAND	-16	-16.5	19	32	0.52	45.1	204.525	163.350	84.9	30	28.2
Medium Dense SAND	-16.5	-17	19	32	0.52	46.0	209.575	167.800	87.3	30	28.6
Medium Dense SAND	-17	-17.5	19	32	0.52	46.8	214.625	172.250	89.6	30	29.1
Medium Dense SAND	-17.5	-18	19	32	0.52	47.7	219.675	176.700	91.9	30	29.5
Medium Dense SAND	-18	-18.5	19	32	0.52	48.6	224.725	181.150	94.2	30	29.9
Medium Dense SAND	-18.5	-19	19	32	0.52	49.4	229.775	185.600	96.5	30	30.3
Organic and Silty/Sandy CLAY	-19	-19.5	17	19	0.67	17.7	234.825	189.050	126.7		
Organic and Silty/Sandy CLAY	-19.5	-20	17	19	0.67	18.1	239.875	192.500	129.0		
Organic and Silty/Sandy CLAY	-20	-20.5	17	19	0.67	18.5	244.925	195.950	131.3		
Soft PEAT	-20.5	-21	15	15	0.8	1.5	249.975	198.400	158.7		
Soft PEAT	-21	-21.5	15	15	0.8	1.5	255.025	200.850	160.7		
Soft PEAT	-21.5	-22	15	15	0.8	1.5	260.075	203.300	162.6		
SAND and Gravelly SAND	-22	-22.5	19.5	33	0.52	56.3	265.125	208.000	108.2		
SAND and Gravelly SAND	-22.5	-23	19.5	33	0.52	57.0	270.175	212.700	110.6		

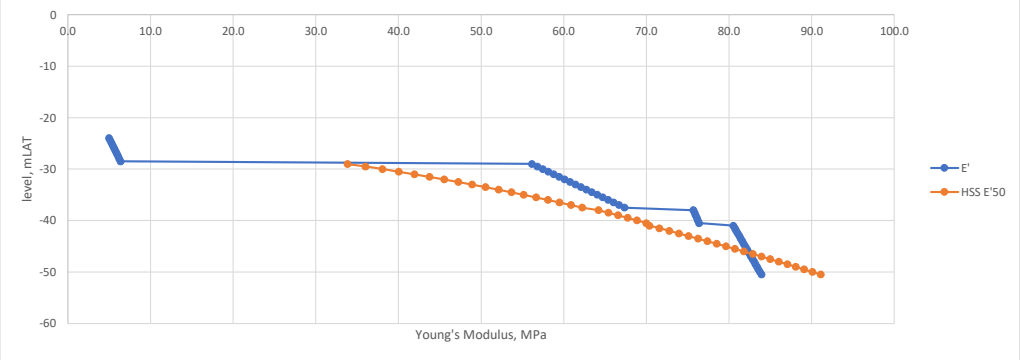
ARUP	Job No. 60325853	Sheet No.	1	Rev.: 1
	Member/Location	Sheet Description: Tunnel HSSmall parameters: E		
Job Title: Project Aran	Drg. Ref.	Maasgeul shipping channel		
	Made by: [redacted]	Date: 04/06/2024	Chd.	MM 07/06/24

Derivation of Plaxis HS model parameter (E50)
E50 is calibrated against effective stresses for sections B and E of the tunnel profile and a conservative best-fit line adopted.

Stress-dependency parameters used for HS model (note c' = 0):

$$E_{50} = E_{50}^{ref}\left(\frac{c\cos(\varphi) - \sigma_3^{'}\sin(\varphi)}{c\cos(\varphi) + p^{ref}\sin(\varphi)}\right)^{m}$$

p' ref 100 kPa m 0.55



Stratum	Top Level 0 mLAT	Base Leve mLAT	Unit weigh kN/m3	friction ang degrees	K0 -	E' MPa	Pore water kPa	Effective vertical stress kPa	Effective lateral stress kPa	E50,ref MPa	HSS E'50 MPa
NLD Clay	-24	-24.5	17	19	0.67	5.0	2.5	1.7	1.2		
NLD Clay	-24.5	-25	17	19	0.67	5.2	7.5	5.2	3.5		
NLD Clay	-25	-25.5	17	19	0.67	5.3	12.5	8.7	5.8		
NLD Clay	-25.5	-26	17	19	0.67	5.5	17.6	12.2	8.2		
NLD Clay	-26	-26.5	17	19	0.67	5.6	22.6	15.7	10.5		
NLD Clay	-26.5	-27	17	19	0.67	5.8	27.6	19.2	12.8		
NLD Clay	-27	-27.5	17	19	0.67	5.9	32.6	22.7	15.2		
NLD Clay	-27.5	-28	17	19	0.67	6.1	37.6	26.1	17.5		
NLD Clay	-28	-28.5	17	19	0.67	6.2	42.6	29.6	19.8		
NLD Clay	-28.5	-29	17	19	0.67	6.4	47.6	33.1	22.2		
Medium Dense SAND	-29	-29.5	19	31	0.53	56.2	52.7	37.6	19.9	80	33.8
Medium Dense SAND	-29.5	-30	19	31	0.53	56.8	57.7	42.1	22.3	80	36.0
Medium Dense SAND	-30	-30.5	19	31	0.53	57.5	62.7	46.6	24.7	80	38.1
Medium Dense SAND	-30.5	-31	19	31	0.53	58.2	67.7	51.0	27.1	80	40.0
Medium Dense SAND	-31	-31.5	19	31	0.53	58.8	72.7	55.5	29.4	80	41.9
Medium Dense SAND	-31.5	-32	19	31	0.53	59.5	77.7	60.0	31.8	80	43.8
Medium Dense SAND	-32	-32.5	19	31	0.53	60.1	82.7	64.5	34.2	80	45.5
Medium Dense SAND	-32.5	-33	19	31	0.53	60.8	87.8	69.0	36.6	80	47.3
Medium Dense SAND	-33	-33.5	19	31	0.53	61.4	92.8	73.5	38.9	80	48.9
Medium Dense SAND	-33.5	-34	19	31	0.53	62.1	97.8	78.0	41.3	80	50.6
Medium Dense SAND	-34	-34.5	19	31	0.53	62.8	102.8	82.4	43.7	80	52.1
Medium Dense SAND	-34.5	-35	19	31	0.53	63.4	107.8	86.9	46.1	80	53.7
Medium Dense SAND	-35	-35.5	19	31	0.53	64.1	112.8	91.4	48.4	80	55.2
Medium Dense SAND	-35.5	-36	19	31	0.53	64.7	117.9	95.9	50.8	80	56.7
Medium Dense SAND	-36	-36.5	19	31	0.53	65.4	122.9	100.4	53.2	80	58.1
Medium Dense SAND	-36.5	-37	19	31	0.53	66.1	127.9	104.9	55.6	80	59.5
Medium Dense SAND	-37	-37.5	19	31	0.53	66.7	132.9	109.4	58.0	80	60.9
Medium Dense SAND	-37.5	-38	19	31	0.53	67.4	137.9	113.8	60.3	80	62.3
Medium Dense Silty SAND	-38	-38.5	18	30	0.52	75.7	142.9	117.8	61.3	82	64.2
Medium Dense Silty SAND	-38.5	-39	18	30	0.52	75.8	147.9	121.8	63.3	82	65.4
Medium Dense Silty SAND	-39	-39.5	18	30	0.52	76.0	153.0	125.8	65.4	82	66.6
Medium Dense Silty SAND	-39.5	-40	18	30	0.52	76.1	158.0	129.8	67.5	82	67.7
Medium Dense Silty SAND	-40	-40.5	18	30	0.52	76.3	163.0	133.8	69.6	82	68.9
Medium Dense Silty SAND	-40.5	-41	18	30	0.52	76.4	168.0	137.7	71.6	82	70.0
Medium Dense SAND	-41	-41.5	19	31	0.53	80.5	173.0	142.2	75.4	80	70.4
Medium Dense SAND	-41.5	-42	19	31	0.53	80.7	178.0	146.7	77.8	80	71.6
Medium Dense SAND	-42	-42.5	19	31	0.53	80.9	183.0	151.2	80.1	80	72.8
Medium Dense SAND	-42.5	-43	19	31	0.53	81.1	188.1	155.7	82.5	80	74.0
Medium Dense SAND	-43	-43.5	19	31	0.53	81.3	193.1	160.2	84.9	80	75.1
Medium Dense SAND	-43.5	-44	19	31	0.53	81.4	198.1	164.7	87.3	80	76.3
Medium Dense SAND	-44	-44.5	19	31	0.53	81.6	203.1	169.1	89.6	80	77.4
Medium Dense SAND	-44.5	-45	19	31	0.53	81.8	208.1	173.6	92.0	80	78.5
Medium Dense SAND	-45	-45.5	19	31	0.53	82.0	213.1	178.1	94.4	80	79.6
Medium Dense SAND	-45.5	-46	19	31	0.53	82.1	218.2	182.6	96.8	80	80.7
Medium Dense SAND	-46	-46.5	19	31	0.53	82.3	223.2	187.1	99.2	80	81.8
Medium Dense SAND	-46.5	-47	19	31	0.53	82.5	228.2	191.6	101.5	80	82.9
Medium Dense SAND	-47	-47.5	19	31	0.53	82.7	233.2	196.1	103.9	80	83.9
Medium Dense SAND	-47.5	-48	19	31	0.53	82.9	238.2	200.5	106.3	80	85.0
Medium Dense SAND	-48	-48.5	19	31	0.53	83.0	243.2	205.0	108.7	80	86.0
Medium Dense SAND	-48.5	-49	19	31	0.53	83.2	248.2	209.5	111.0	80	87.1
Medium Dense SAND	-49	-49.5	19	31	0.53	83.4	253.3	214.0	113.4	80	88.1
Medium Dense SAND	-49.5	-50	19	31	0.53	83.6	258.3	218.5	115.8	80	89.1
Medium Dense SAND	-50	-50.5	19	31	0.53	83.8	263.3	223.0	118.2	80	90.1
Medium Dense SAND	-50.5	-51	19	31	0.53	83.9	268.3	227.4	120.5	80	91.1

APPENDIX C RECEPTION PIT CALCULATIONS

C.1 Limit equilibrium slope stability calculations

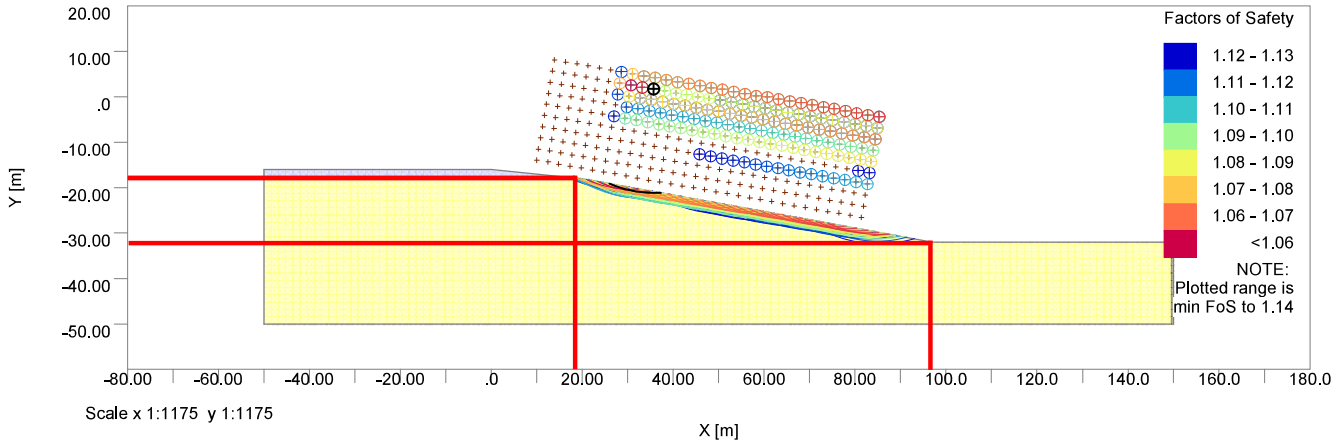
ARUP **Arup**

Job No.	Sheet No.	Rev.

Drg. Ref.

Made by Date | Checked Date

More than one slip surface shown, minimum factor of 1.057



Specification

Slip Type: CIRCULAR
Direction of slip: Increasing x
Minimum slip weight [kN/m] :100.00000
Type of analysis: STATIC
Partial factor analysis
Minimum number of slices 25
Method: Morgenstern-Price
Maximum number of iterations: 2000
Interslice force function: Half-sine
Reinforcement: NONE

Material Properties

No	Description	Unit Weight Above GWL [kN/m3]	Unit Weight Below GWL [kN/m3]	Shear Strength Parameters Condition	Phi or Phi0 [°]	c or c0' [kN/m²]
1	organic clay	18.000	18.000	Drained	15.000	0.0
2	silty sand	18.000	18.000	Drained	29.000	0.0

Slip Surface Specification

Circle centre specification:
Bottom left of grid: x = 10.00000 m y = -14.00000 m
Inclination of grid: -10.00000 deg
(positive anticlockwise direction about bottom left of grid)
Centres on grid: 30 in x direction at 2.50000m spacing
                  10 in y direction at 2.50000m spacing
Initial radius of circle 1.00000 m
Incremented by 1.00000 m until all possible circles considered

WORST CASE

Centre at (35.631m,1.7891m)
Radius 23.000m
Iterations: 3
Horiz acceleration [%g]: 0.0
Net vertical force [kN/m]: 0.0
Slip weight [kN/m] 101.69
Net horiz force [kN/m]: 0.0
Disturbing force [kN/m]: 15.328
Restoring force [kN/m]: 16.206
Reinf.Rest.Force [kN/m]: 0.0
Over-Design Factor: 1.0573
Scaling factor : 0.21494

The system of interslice and base forces are in equilibrium
when the strengths available at the bases are divided by the computed
over-design factor. The interslice forces shown in the following table
are in equilibrium with the factored strengths of the soil at the bases of slices.

Slip surface coordinates Point	x [m]	y [m]	Pore Pressure L [kN/m²]	R [kN/m²]	Interslice forces [kN/m] T	E	E(u)
1	25.977	-19.087	-	0.0027545	0.0	0.0	0.0
2	26.416	-19.284	1.1866	1.1866	0.0031750	0.12183	0.069130
3	26.855	-19.471	2.2695	2.2695	0.023208	0.44855	0.25566
4	27.293	-19.646	3.2311	3.2311	0.070140	0.91502	0.51712
5	27.732	-19.812	4.1019	4.1019	0.14905	1.4840	0.83242
6	28.171	-19.967	4.8615	4.8615	0.25761	2.0989	1.1684
7	28.610	-20.113	5.5303	5.5303	0.39182	2.7356	1.5165
8	29.049	-20.249	6.0981	6.0981	0.54165	3.3517	1.8423
9	29.488	-20.375	6.5648	6.5648	0.69532	3.9152	2.1336
10	29.926	-20.492	6.9407	6.9407	0.84237	4.4111	2.3834
11	30.365	-20.600	7.2256	7.2256	0.97093	4.8181	2.5817
12	30.804	-20.699	7.4197	7.4197	1.0703	5.1186	2.7281
13	31.243	-20.788	7.5128	7.5128	1.1287	5.2844	2.7954
14	31.682	-20.869	7.5250	7.5250	1.1467	5.3352	2.8029
15	32.121	-20.941	7.4464	7.4464	1.1194	5.2530	2.7430
16	32.559	-21.005	7.2869	7.2869	1.0516	5.0526	2.6252
17	32.998	-21.060	7.0366	7.0366	0.94555	4.7257	2.4533
18	33.437	-21.106	6.6954	6.6954	0.81028	4.2852	2.2198
19	33.876	-21.144	6.2733	6.2733	0.65942	3.7616	1.9475
20	34.315	-21.173	5.7604	5.7604	0.50312	3.1657	1.6407
21	34.753	-21.194	5.1666	5.1666	0.35558	2.5361	1.3238
22	35.192	-21.207	4.4921	4.4921	0.22718	1.9024	1.0000
23	35.631	-21.211	3.7266	3.7266	0.12531	1.2936	0.68762

Slip surface coordinates		Pore Pressure		Interslice forces [kN/m]		
Point	x [m]	y [m]	L [kN/m²]	R [kN/m²]	T	E	E(u)
24	36.053	-21.207	2.9114	2.9114	0.057120	0.77363	0.41887
25	36.475	-21.195	2.0153	2.0153	0.017578	0.35304	0.20200
26	36.897	-21.176	1.0485	1.0485	0.0018323	0.073099	0.054621
27	37.319	-21.149	918.18E-6	-	0.0	0.0	0.0

Slice No.	Strength Parameters		Average Pore Pressure	Slice Weight	Forces on base [kN/m]		
	c' [kN/m²]	Tan phi	[kN/m²]	[kN/m]	Normal	Shear (capacity)	Shear (mobilised)
1	0.0	0.44345	0.59468	0.46208	0.47021	0.081635	0.077214
2	0.0	0.44345	1.7280	1.3507	1.3533	0.23400	0.22133
3	0.0	0.44345	2.7503	2.1524	2.1285	0.36649	0.34664
4	0.0	0.44345	3.6665	2.8673	2.8096	0.48042	0.45440
5	0.0	0.44345	4.4817	3.5031	3.4066	0.58257	0.55102
6	0.0	0.44345	5.1959	4.0640	3.9306	0.67293	0.63650
7	0.0	0.44345	5.8142	4.5497	4.3851	0.75489	0.71401
8	0.0	0.44345	6.3314	4.9526	4.7680	0.82763	0.78281
9	0.0	0.44345	6.7528	5.2804	5.0882	0.89161	0.84333
10	0.0	0.44345	7.0832	5.5371	5.3504	0.94883	0.89745
11	0.0	0.44345	7.3227	5.7267	5.5564	0.99937	0.94525
12	0.0	0.44345	7.4662	5.8412	5.7003	1.0435	0.98699
13	0.0	0.44345	7.5189	5.8807	5.7746	1.0722	1.0142
14	0.0	0.44345	7.4857	5.8530	5.7901	1.0924	1.0333
15	0.0	0.44345	7.3667	5.7583	5.7378	1.0985	1.0390
16	0.0	0.44345	7.1618	5.6003	5.6225	1.0932	1.0340
17	0.0	0.44345	6.8660	5.3712	5.4305	1.0701	1.0122
18	0.0	0.44345	6.4843	5.0711	5.1576	1.0278	0.97211
19	0.0	0.44345	6.0168	4.7038	4.8112	0.96732	0.91494
20	0.0	0.44345	5.4635	4.2733	4.3864	0.88825	0.84015
21	0.0	0.44345	4.8294	3.7796	3.8875	0.79202	0.74913
22	0.0	0.44345	4.1094	3.2148	3.3110	0.67559	0.63900
23	0.0	0.44345	3.3190	2.4951	2.5686	0.52389	0.49552
24	0.0	0.44345	2.4633	1.8533	1.9045	0.38748	0.36650
25	0.0	0.44345	1.5319	1.1545	1.1817	0.24002	0.22702
26	0.0	0.44345	0.52471	0.39496	0.40084	0.050288	0.047565

Slice No.	Surface Load [kN/m_hor/m]		Point Load [kN/m]		Water Pressure on ground surface [kN/m_hor/m]	
	Vert	Horiz	Vert	Horiz	Vert	Horiz
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0038339	-698.94E-6
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0024566	-442.26E-6
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	644.76E-6	-117.54E-6
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0023689	-431.86E-6
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0017241	-310.39E-6
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	991.61E-6	-180.78E-6
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0030626	-558.33E-6
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0020710	-372.83E-6
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	259.09E-6	-47.234E-6
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0015976	-291.24E-6
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0037563	-684.79E-6
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0024178	-435.27E-6
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	605.95E-6	-110.47E-6
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0022913	-417.71E-6
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0016853	-303.40E-6
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0012823	-234.00E-6
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0012823	-230.96E-6
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	459.09E-6	-83.775E-6

Tunnel FEED – Geotechnical Baseline Report				Document Reference NL-ARM-040-ARU1-110307	
				Revision: 01	**Step**: IFD
				Date: 01/08/2024	
Document Type: REP	**Family Equip:** n/a	**Discipline:** CIV	**Class:** 2	**Page** 1 of 33	



ARAMIS PROJECT



Rev	Step	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
00	IFR	14/06/2024	Issued for Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
01	IFD	01/08/2024	Issued for Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]

This document is issued pursuant to an Agreement between TotalEnergies Nederland B.V and Petrofac Facilities Management Limited which agreement sets forth the entire rights, obligations, and liabilities of those parties with respect to the content and use of the report. Reliance by any other party on the contents of the report shall be at its own risk. Petrofac makes no warranty or representation, expressed or implied, to any other party with respect to the accuracy, completeness or usefulness of the information contained in this report and assumes no liabilities with respect to any other party's use of or damages resulting from such use of any information, conclusions or recommendations disclosed in this document.

CONTENTS

ABBREVIATIONS **5**

DEFINITIONS **6**

HOLDS **7**

1 INTRODUCTION **8**

1.1 Background 8

1.2 Scope of the report 8

1.3 Referenced Ground Investigation 9

2 DESCRIPTION OF THE PROPOSED WORKS **10**

2.1 Site Location 10

2.2 Proposed Works 10

2.3 GBR Site Extent 10

3 GEOLOGICAL BASELINE SETTING **12**

3.1 Geological setting 12

4 GEOTECHNICAL MATERIALS **13**

4.1 Launch Shaft (ch. 0+000 – 0+100) 13

4.2 Sea Defence (ch. 0+100 – 0+600) 16

4.3 Main tunnel drive (ch. 0+600 – 1+500) 17

4.4 Offshore reception pit (ch. 1+500 – 1+850) 18

5 GEOTECHNICAL PARAMETER DEFINITION **19**

6 LAUNCH SHAFT PARAMETERS (CH. 0+000 – 0+100) **20**

6.1 Made Ground Geotechnical Parameters 20

6.1.1 Tunnelman's Ground Classification 20

6.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 20

6.2 Naaldwijk Formation Geotechnical Parameters 21

6.2.1 Tunnelman's Ground Classification 21

6.2.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 21

6.3 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters 22

6.3.1 Tunnelman's Ground Classification 22

6.3.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 22

6.4 Winterton Shoal Formation Geotechnical Parameters 23

6.4.1 Tunnelman's Ground Classification 23

6.4.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 23

7 SEA DEFENCE PARAMETERS (CH. 0+100 – 0+600) 24

7.1 Naaldwijk Formation Geotechnical Parameters 24

7.1.1 Tunnelman's Ground Classification 24

7.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 24

7.2 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters 25

7.2.1 Tunnelman's Ground Classification 25

7.2.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 25

8 MAIN TUNNEL DRIVE PARAMETERS (CH. 0+600 – 1+500) 26

8.1 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters 26

8.1.1 Tunnelman's Ground Classification 26

8.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 26

9 OFFSHORE RECEPTION PIT PARAMETERS (CH. 1+500 – 1+850)..... 27

9.1 Naaldwijk Formation Geotechnical Parameters 27

9.1.1 Tunnelman's Ground Classification 27

9.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile 27

9.2 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters 28

9.2.1 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters 28

9.2.2 Tunnelman's Ground Classification 28

9.2.3 CPT Soil Behaviour Type Profile 28

10 CONCRETE AGGRESSIVITY 29

11 GROUNDWATER AND PERMEABILITY 30

11.1 GROUNDWATER AND TIDE LEVELS 30

11.2 Permeability 31

12 OBSTRUCTIONS 32

12.1 Unexploded Ordnance (UXOs) 32

12.2 Shipwrecks 32

12.3 Archaeology 32

List of Tables

Table 1-1 - Overview of CCS Infrastructure 8

Table 2-1: Site Overview 11

Table 3-1: Stratigraphic Description of Site Geology (DINOloket, Stratigraphic Nomenclature, 2024) 12

Table 3-2: Stratigraphic Description of Site anthropogenic deposits 12

Table 4-1: Launch Shaft Stratigraphic Summary 13

Table 4-2: Launch Shaft Detailed Stratigraphy 14
Table 4-3: Sea Defence Stratigraphic Summary 16
Table 4-4: Sea Defence Detailed Stratigraphy 16
Table 4-5: Main Tunnel Drive Stratigraphic Summary 17
Table 4-6: Main Tunnel Drive Detailed Stratigraphy 17
Table 4-7: Offshore Reception Pit Stratigraphic Summary 18
Table 4-8: Offshore Reception Pit Detailed Stratigraphy 18
Table 5-1: Definitions of geotechnical parameters 19
Table 5-2: Definitions of CPT soil behaviour types (after Robertson, 1990) 19
Table 6-1: Project Baseline Soil Parameters – Made Ground for Launch Shaft 20
Table 6-2: CPT Soil Behaviour types - Made Ground for Shaft Location 20
Table 6-3: Project Baseline Soil Parameters – Naaldwijk Formation for Launch Shaft 21
Table 6-4: CPT Soil Behaviour types - – Naaldwijk Formation for Launch Shaft 21
Table 6-5: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Formation for Launch Shaft 22
Table 6-6: CPT Soil Behaviour types - Kreftenheye Formation for Launch Shaft 22
Table 6-7: Project Baseline Soil Parameters – Winterton Shoal Formation for Launch Shaft 23
Table 6-8: CPT Soil Behaviour types - Winterton Shoal Formation for Launch Shaft 23
Table 6-9: Kreftenheye Formation CPT SBTn Profile 23
Table 7-1: Project Baseline Soil Parameters –Naaldwijk Formation for Sea Defence 24
Table 7-2: CPT Soil Behaviour types - Naaldwijk Formation for Sea Defence 24
Table 7-3: Naaldwijk Formation CPT SBTn Profile 24
Table 7-4: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Formation for Sea Defence 25
Table 7-5: CPT Soil Behaviour types - Kreftenheye Formation for Sea Defence 25
Table 7-6: Kreftenheye Formation CPT SBTn Profile 25
Table 8-1: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Formation for Main Tunnel Drive 26
Table 8-2: CPT Soil Behaviour types - Kreftenheye Formation for Main Tunnel Drive 26
Table 8-3: Kreftenheye Formation CPT SBTn Profile 26
Table 9-1: Project Baseline Soil Parameters –Naaldwijk Formation for Reception Pit 27
Table 9-2: CPT Soil Behaviour types - Naaldwijk Formation for Reception Pit 27
Table 9-3: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Fomation for Reception Pit Location 28
Table 9-4: CPT Soil Behaviour types - Naaldwijk Formation for Reception Pit 28
Table 10-1: Baseline concrete classification 29
Table 11-1: Design Groundwater Levels: Launch Shaft 30
Table 11-2: Design Groundwater Levels - Sea Defence, Main Tunnel Drive and Reception Pit 30
Table 11-3: Extreme (Surge) Water Levels - Sea Defence, Main Tunnel Drive and Reception Pit 31
Table 11-4: Baseline Made Ground Permeabilities – Shaft 31
Table 11-5: Baseline Naaldwijk Formation Permeabilities – Shaft, Sea defence, main drive and reception pit 31
Table 11-6: Baseline Kreftenheye Formation Permeabilities - Shaft, Sea defence, main drive and reception pit 31
Table 12-1: Unknown Man-made obstructions Baseline 33

ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
CCS	Carbon Capture and Storage
CPT	Cone Penetration Test
GI	Ground Investigation
HDD	Horizontal Directional Drilling
LAT	Lowest Astronomical Tide (survey vertical datum)
NAP	Normaal Amsterdams Peil (Amsterdam Ordnance Datum)
SAT™	Soil Abrasion Test™
SBT	Soil Behaviour Type
TBM	Tunnel Boring Machine

DEFINITIONS

Terminology	Definition
Company	Aramis, a joint development by TotalEnergies, Shell Netherlands, Energie Beheer Nederland (EBN) and NV Nederlandse Gasunie.
Aramis	Refers to assets owned and operated by Company
Project	Aramis Project consisting large-scale infrastructure to transport CO2 captured by other industrial enterprises and to deliver this offshore to depleted gas fields in which the CO2 will be stored permanently.
FEED Contractor	Petrofac Facilities Management Ltd.
EPC Contractor Sometimes EP(S)C or EP(S)CC	Party or organisation selected by the Company to execute the detailed engineering, procurement (supply) and construction (and commissioning) phase of the project.
Supplier	Party or organisation that manufactures, supplies equipment packages and/or services to perform duties specified by the Company, FEED Contractor or EPC Contractor.
Shall	Is used to indicate a mandatory requirement.
Should	Is used to indicate that the provision is preferred.
May	Is used to indicate alternatives, which are equally acceptable, at Contractor discretion.
Must	Is used to indicate compulsory, legally binding requirement.

HOLDS

No.	Section	Hold

1 INTRODUCTION

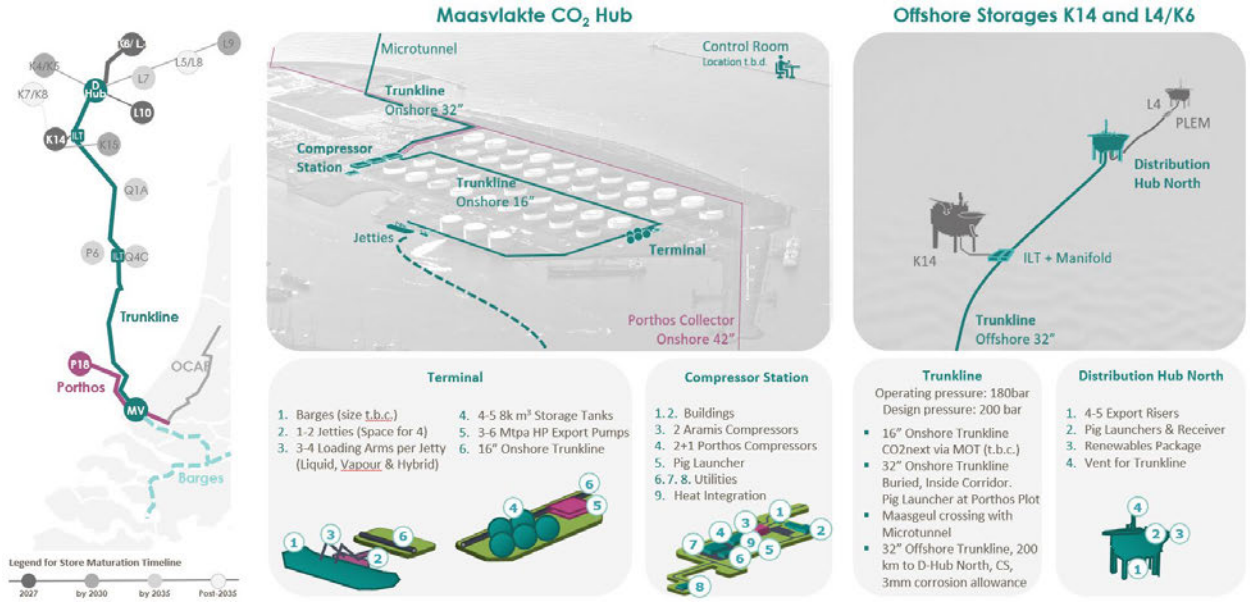
1.1 Background

The Aramis project is a cooperation between Shell, TotalEnergies, Gasunie and EBN to utilise depleted gas fields and potentially aquifers in the Dutch North Sea to establish an open-access CCS infrastructure for transport and storage, targeting hard-to abate industrial emissions in the Netherlands and Europe.

This part of the project provides the transport of CO_2 from the onshore terminal to an offshore platform, which is used as distribution hub (D-Hub). Other parts of the project are provided by CO2next and Porthos, while the actual storage in the depleted offshore gas fields under the North Sea is performed by Shell and TotalEnergies as part of their offshore operations.

In Table 1- below an overview of the envisaged CCS infrastructure is given. The left panel illustrates the trunkline that transports the CO_2 from the Maasvlakte to the offshore storage. The middle panels illustrate the Maasvlakte Hub with the Porthos compressor station and the CO2next Terminal. The right panel shows the platforms of TTE and Shell.

Table 1-1 - Overview of CCS Infrastructure



1.2 Scope of the report

This purpose of this Geotechnical Baseline Report (GBR) is;

- To describe the site geology and sub-surface conditions along the project proposed alignment,

- To assist prospective contract tenderers in their evaluation of the sub-surface conditions for construction of the project,
- To assist the Company in assessing tendered submissions,
- To establish sub-surface baseline conditions to be used as the only basis for evaluating changed sub-surface conditions.

The geotechnical baselines have been developed from the Geotechnical Investigation Report (GIR) incorporating geotechnical investigation data (current and historic) and publicly available information, published information on the prevailing geological formations in this area, engineering judgement and previous experience of these materials.

1.3 Referenced Ground Investigation

The following relevant site investigations have been referenced in this GBR. These references are provided for information only.

- ARAMIS Ground Investigation Report, Mott MacDonald, September 2023 (Mott MacDonald, 2023)
- Fugro Geophysical Survey Results Report, F197217-REP-001, NL-ARM-100-ARM1-100007, November 2022
- Aramis Project –Geotechnical Site Investigation, Fugro, December 2023 (Fugro, 2023)
    - Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results, F212522-4, NL-ARM-100-ARM1-100013, November 2023
    - Field Report, F197217-REP-002, NL-ARM-100-ARM1-100008, January 2023
    - Environmental Baseline Study, F197217-REP-004, NL-ARM-100-ARM1-100010, July 2023
    - Nearshore Geophysical Survey Results – Seeker, F197217-REP-RES, November 2022
    - Biodiversity Observations Report, F197217-REP-003, NL-ARM-100-ARM1-100009, July 2023
    - eDNA, F197217-REP-005, NL-ARM-100-ARM1-100011, January 2023
- PORTHOS Project, Maasgeul Crossing, Dutch Sector, North Sea, Investigation Results, Geotechnics, P90572/01 Issue 2, September 2019 (Fugro 2019)
- Gronderonderzoekgegevens voor de aanleg van kabels door horizontal gestuurde boring, Maasvlakte, cruising met de zeewering, Deltares, 2018 (Deltares, 2018)

2 DESCRIPTION OF THE PROPOSED WORKS

2.1 Site Location

The site is located in the Maasvlakte region of Rotterdam, a man-made extension of Europoort Rotterdam, with construction beginning in the 1960s (Maasvlakte 1) and continuing into the 2000s (Maasvlakte 2). The Shaft location is situated within an area known as the 'Shark Fin' within the wider area of the Maasvlakte, adjacent to the Kazerne Prinses Maximaweg Fire Station. Figure 2.1 highlights the Shark Fin site and approximate tunnel alignment. to an offshore reception pit in open water.

For this GBR the site is divided into four distinct sub-sites:

1. Launch Shaft (Maasvlakte shark fin site)
2. Sea Defence (boundary of Maasvlakte shark fin site)
3. Main Tunnel Drive (offshore - Maasgeul shipping channel / North Sea)
4. Reception/TBM recovery Pit (offshore – North Sea)

2.2 Proposed Works

At the time of preparation of this report, the works broadly comprise:

- Launch shaft for tunnel within the Maasvlakte 'shark fin' site, plus associated construction infrastructure to support tunnel construction. Launch Shaft assumed to be excavated in the wet (i.e., no dewatering during excavation);
- Approximately 3.0m internal diameter tunnel which passes beneath the sea wall and is predominantly beneath the North Sea / Maasgeul. It is anticipated to be a jacked tunnel extending from the shaft and under the sea defence, switching to segmental Tunnel Boring Machine (TBM) on a 'flying start' at an intermediate sub-sea point on the tunnel (not yet determined);
- Dredge pit for TBM recovery is approximately 2km from the launch shaft, beyond the shipping channel.

2.3 GBR Site Extent

The baseline chainages of the defined site locations, used for the derivation of site stratigraphy, are expressed below (all chainage in m, consistent with the Tunnel Plan and Geological Profile NL-ARM-040-ARU1-110308 Revision 01).

1. Launch Shaft: ch. 0+000 to 0+100
2. Sea Defence: ch. 0+100 to 0+550
3. Main Tunnel Drive: ch. 0+550 to 1+650
4. Offshore Reception Pit: ch. 1+650 to 1+850



Table 2-1: Site Overview

3 GEOLOGICAL BASELINE SETTING

3.1 Geological setting

A description of the naturally deposited geological units from the Dutch national lexicon, Table 3-1 and a summary of the anthropogenic deposits presented in Table 3-2.

Table 3-1: Stratigraphic Description of Site Geology (DINOloket, Stratigraphic Nomenclature, 2024)

Geological Formation	Age	Depositional Setting	Lithological Description
Naaldwijk Formation	Holocene	Tidal marine comprising littoral, coastal dune, washover, and tidal basin deposits	Very fine to very coarse sand deposits, partly clayey, silty, or calcareous. Grey to blue clay and silt layers present along with relatively thin peat layers. Uncomfortable or gradual transition to Nieuwkoop (Base Peat) or Kreftenheye Formation.
Kreftenheye Formation	Late Pleistocene to Early Holocene	Fluvioglacial, fluvial, and river plain deposits	Medium to coarse sand, moderate to very high gravel content. Localised fine to coarse gravel and occasional silty clay.
Winterton Shoal Formation	Early Pleistocene	Primarily low energy open marine deltaic or delta and fluvial deposits	Predominantly fine-grained deposits however full lithostratigraphy undetermined

Table 3-2: Stratigraphic Description of Site anthropogenic deposits

Formation	Lithological Description
Made Ground	The Made Ground comprises locally dredged material. Sand and silty sandy deposits. Occasional clay pockets are encountered, which may be laterally discontinuous.

4 GEOTECHNICAL MATERIALS

4.1 Launch Shaft (ch. 0+000 – 0+100)

Table 4-1 presents the overarching stratigraphic baseline conditions for the shaft location with a detailed stratigraphic baseline sequence to be allowed for are presented in Table 4-2.

Table 4-1: Launch Shaft Stratigraphic Summary

Strata	Top Level (mLAT)	Base Level (mLAT)	Thickness (m)
Made Ground	+4	-6	10
Naaldwijk Formation	-6	-22	16
Kreftenheye Formation	-22	-50	29
Winterton Shoal Formation	-50	<-90	>40

Table 4-2: Launch Shaft Detailed Stratigraphy

Description	Highest Level stratum encountered (mLAT)	Lowest Level stratum encountered (mLAT)	Smallest Depth stratum encountered (m)	Greatest Depth stratum encountered (m)	Min. Thickness (m)	Max. thickness (m)
Made Ground - SAND	+5.00	-6.08	0.00	10.00	0.10	5.40
Made Ground - Gravelly SAND	+3.88	+2.00	0.00	3.00	0.25	1.80
Made Ground - Silty SAND	+4.90	-2.53	0.10	7.84	0.52	5.82
Made Ground Sandy SILT	+1.00	-1.03	2.82	5.00	0.36	1.36
Made Ground - Silty CLAY	+1.72	+1.34	2.22	2.60	0.38	
Naaldwijk Formation - SAND	-3.55	-19.55	7.54	22.70	0.20	5.45
Naaldwijk Formation - Silty SAND	-3.73	-20.12	7.84	23.08	0.20	3.00
Naaldwijk Formation - Clayey SAND	-4.66	-20.80	8.56	24.74	0.28	4.54
Naaldwijk Formation - Sandy SILT	-4.28	-20.92	8.22	24.8	0.20	2.64
Naaldwijk Formation - Sandy CLAY	-3.12	-20.55	7.00	24.54	0.28	1.30
Naaldwijk Formation - Silty CLAY	-2.46	-21.85	6.36	26.40	0.20	2.20
Naaldwijk Formation - CLAY	-5.10	-21.85	9.00	25.82	0.32	2.00
Naaldwijk Formation – PEAT	-20.53	-21.4	24.80	25.28	0.24	0.48
Kreftenheye Formation - SAND	-21.6	-56.12	25.54	60.00	0.22	11

Description	Highest Level stratum encountered (mLAT)	Lowest Level stratum encountered (mLAT)	Smallest Depth stratum encountered (m)	Greatest Depth stratum encountered (m)	Min. Thickness (m)	Max. thickness (m)
Kreftenheye Formation - Gravelly SAND	-20.30	-40.50	25.30	45.50	0.32	4.14
Kreftenheye Formation - Silty SAND	-21.33	-53.03	25.30	57.00	0.20	11.00
Kreftenheye Formation - Clayey SAND	-31.18	-32.12	35.08	36.00	0.57	0.58
Winterton Shoal Formation - Silty CLAY	-49.85	-87.84	54.85	92.84	0.28	2.83
Winterton Shoal Formation - Silty SAND	-50.10	-91.00	54.04	96.00	0.50	7.00
Winterton Shoal Formation - Gravelly SAND	-51.00	-52.00	56.00	57.00	1.00	
Winterton Shoal Formation - Silty CLAY	-49.85	-87.84	54.85	92.84	0.28	2.83

4.2 Sea Defence (ch. 0+100 – 0+600)

Table 4-3 presents the overarching stratigraphic baseline conditions for the location of the sea defence with a detailed stratigraphic baseline sequence to be allowed for are presented in Table 4-4.

Table 4-3: Sea Defence Stratigraphic Summary

Strata	Top Level (mLAT)	Base Level (mLAT)	Thickness (m)
Naaldwijk Formation	-6	-23	17
Kreftenheye Formation	-23	-39	16

Table 4-4: Sea Defence Detailed Stratigraphy

Description	Highest Level stratum encountered (mLAT)	Lowest Level stratum encountered (mLAT)	Smallest Depth stratum encountered (m)	Greatest Depth stratum encountered (m)	Min. Thickness (m)	Max. thickness (m)
Naaldwijk Formation – SAND	-9.42	-17.06	16.42	24.00	0.82	1.62
Naaldwijk Formation - Silty SAND	-8.14	-19.91	15.14	26.85	0.64	2.85
Naaldwijk Formation - Sandy SILT	-8.78	-9.20	15.78	16.20	0.42	
Naaldwijk Formation - Silty CLAY	-9.20	-22.33	16.20	29.27	0.22	1.15
Naaldwijk Formation – PEAT	-21.06	-21.56	28.00	28.50	0.50	
Kreftenheye Formation – SAND	-30.96	-32.69	37.90	39.63	1.73	
Kreftenheye Formation - Gravelly SAND	-28.06	-46.56	35.00	53.50	1.36	5.37
Kreftenheye Formation - Silty SAND	-22.33	-52.75	29.27	59.69	0.73	5.00

4.3 Main tunnel drive (ch. 0+600 – 1+500)

Table 4-5 presents the overarching stratigraphic baseline conditions for the main tunnel drive with a detailed stratigraphic baseline sequence to be allowed for are presented in Table 4-6.

Table 4-5: Main Tunnel Drive Stratigraphic Summary

Strata	Top Level (mLAT)	Base Level (mLAT)	Thickness (m)
Kreftenheye Formation	-30	-48	18

Table 4-6: Main Tunnel Drive Detailed Stratigraphy

Description	Highest Level stratum encountered (mLAT)	Lowest Level stratum encountered (mLAT)	Smallest Depth stratum encountered (m)	Greatest Depth stratum encountered (m)	Min. thickness (m)	Max. thickness (m)
Kreftenheye Formation - SAND	-25.60	-54.69	1.40	29.99	1.40	25.29
Kreftenheye Formation - Gravelly SAND	-31.80	-44.90	8.20	27.15	0.85	13.1
Kreftenheye Formation - Silty SAND	-19.39	-49.91	3.71	35.70	0.19	5.65
Kreftenheye Formation - Clayey SAND	-33.01	-33.81	18.80	19.60	0.80	

4.4 Offshore reception pit (ch. 1+500 – 1+850)

Table 4-7 presents the overarching stratigraphic baseline conditions for the offshore TBM reception (recovery) pit location with a detailed stratigraphic baseline sequence to be allowed for are presented in Table 4-8.

Table 4-7: Offshore Reception Pit Stratigraphic Summary

Strata	Top Level (mLAT)	Base Level (mLAT)	Thickness (m)
Naaldwijk Formation	-16	-21	5
Kreftenheye Formation	-21	-39	18

Table 4-8: Offshore Reception Pit Detailed Stratigraphy

Description	Highest Level stratum encountered (mLAT)	Lowest Level stratum encountered (mLAT)	Smallest Depth stratum encountered (m)	Greatest Depth stratum encountered (m)	Min. thickness (m)	Max. thickness (m)
Naaldwijk Formation-Silty SAND	-16.29	-18.77	0.00	1.26	0.22	1.26
Naaldwijk Formation- Clayey SAND	-18.59	-19.15	0.52	1.08	0.18	0.38
Naaldwijk Formation- Sandy SILT	-16.93	-17.9	0.64	1.61	0.97	
Naaldwijk Formation- Clayey SILT	-18.83	-20.37	2.54	4.08	1.54	
Naaldwijk Formation- Silty CLAY	-17.90	-18.83	0.00	2.54	0.52	0.93
Naaldwijk Formation- CLAY	-17.35	-19.9	0.00	2.55	1.05	1.50
Kreftenheye Formation - SAND	-18.77	-50.41	2.10	33.74	0.44	24.90
Kreftenheye Formation - Gravelly SAND	-32.59	-36.25	15.24	18.90	3.66	
Kreftenheye Formation - Silty SAND	-19.15	-50.29	1.08	34.00	0.20	10.80

5 GEOTECHNICAL PARAMETER DEFINITION

Parameters baselined in the section below are defined in Table 5-1

Table 5-1: Definitions of geotechnical parameters

Geotechnical Parameter		Definition
Peak Drained Shear Strength	Effective cohesion (kPa) Peak effective angle of shearing resistance (°)	Maximum shear resistance of soil under defined effective stress conditions.
Undrained Shear Strength (kPa)		Maximum shear resistance of soil under constant volume (undrained) conditions. Dependent upon duration of load and length of drainage path.
Fines content (%)		Proportion of soil mass finer than 63 microns.
Gravel content (%)		Proportion of soil mass with particle size between 2mm and 60mm

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) has been used to classify soil behaviour from CPTs, using the classifications in Table 5-2:

Table 5-2: Definitions of CPT soil behaviour types (after Robertson, 1990)

Soil Group	SBTn Zone	Description
'Fine' behaviour	1	Sensitive fine grained
	2	Organic soils – clay
	3	Clays: clay to silty clay
	4	Silt mixtures: clayey silt & silty clay
'Coarse' behaviour	5	Sand mixtures: silty sand to sandy silt
	6	Sands: clean sands to silty sands
	7	Dense sand to gravelly sand
	8	Very stiff sand to clayey sand
	9	Very stiff fine grained

6 LAUNCH SHAFT PARAMETERS (CH. 0+000 – 0+100)

6.1 Made Ground Geotechnical Parameters

Table 6-1: Project Baseline Soil Parameters – Made Ground for Launch Shaft

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Undrained Shear Strength	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	Cu	c'		FC	GC
		kN/m³	°	kPa	kPa		%	%
Sand	Lower	18.5	30	-	0	-	0	0
	Upper	20.0	41	-	50	27	10	15
Silty Sand	Lower	17.5	30	-	0	-	5	0
	Upper	20.0	40	-	50	27	40	15
Clay	Lower	17.0	19	10	0	-	35	0
	Upper	18.0	23	130	15	7	100	15

6.1.1 Tunnelman's Ground Classification

There are no tunnels proposed within the Made Ground and classification is not required.

6.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile is averaged over CPTs ATL 1, 1A, 1B, 1C, and 1D in the Made Ground. Proportions of SBTn are summarised in Table 6-2:

Table 6-2: CPT Soil Behaviour types - Made Ground for Shaft Location

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	-
3	Organic soils – clay	0.2%
4	Clays: clay to silty clay	1.2%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	5.0%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	91.6%
7	Sands: clean sands to silty sands	2.0%

6.2 Naaldwijk Formation Geotechnical Parameters

Table 6-3: Project Baseline Soil Parameters – Naaldwijk Formation for Launch Shaft

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Undrained Shear Strength	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	Cu	c'		FC	GC
		kN/m³	°	kPa	kPa		%	%
Sand	Lower	18.0	30	-	0	-	0	0
	Upper	22.0	39	-	55	27	10	15
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	28	-	0	-	5	0
	Upper	20.0	39	-	55	27	25	15
Clay / Silt	Lower	16.0	17	20	0	-	20	0
	Upper	19.0	32	200	15	15	100	20
Peat	Lower	14.0	15	20	0	-	50	0
	Upper	18.0	-	-	-	-	100	5

6.2.1 Tunnelman's Ground Classification

The top of the Naaldwijk Formation is situated below the phreatic surface, and as such the granular deposits are classified as 'Flowing'. Naaldwijk Formation clays are predominantly described as firm to stiff, and often fissured which is in line with a 'Ravelling' classification. Soft clays are encountered in the Naaldwijk Formation, classified as 'Squeezing'.

Where clays are encountered within the predominantly sandy Naaldwijk Formation strata they may give rise to mixed-face tunnelling conditions.

6.2.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile is averaged over CPTs ATL 1, 1A and 1D in the Naaldwijk Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 6-4:

Table 6-4: CPT Soil Behaviour types - – Naaldwijk Formation for Launch Shaft

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	0.8%
3	Organic soils – clay	10.7%
4	Clays: clay to silty clay	7.8%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	28.5%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	52.3%
7	Sands: clean sands to silty sands	-

6.3 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters

Table 6-5: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Formation for Launch Shaft

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	c'		FC	GC
		kN/m^3	°	kPa		%	%
Sand	Lower	19.0	30	0	-	0	0
	Upper	22.0	41	80	31	15	10
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	29	0	-	5	0
	Upper	20.5	41	80	31	35	25

6.3.1 Tunnelman's Ground Classification

The Kreftenheye Formation is fully submerged and comprised exclusively of sandy and gravelly granular deposits, and such is classified as 'Flowing' according to Tunnelman's Ground Classification.

6.3.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile is averaged over CPTs ATL 1, 1A and 1D in the Kreftenheye Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 6-6:

Table 6-6: CPT Soil Behaviour types - Kreftenheye Formation for Launch Shaft

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	0.3%
3	Organic soils – clay	1.2%
4	Clays: clay to silty clay	0.3%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	2.9%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	89.7%
7	Sands: clean sands to silty sands	5.7%

6.4 Winterton Shoal Formation Geotechnical Parameters

Table 6-7: Project Baseline Soil Parameters – Winterton Shoal Formation for Launch Shaft

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Drained Apparent Cohesion	Undrained Shear Strength	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	c'	Cu	FC	GC
		kN/m^3	°	kPa	kPa	%	%
Sand	Lower	18.0	28	0	-	0	0
	Upper	20.0	40	80	-	15	10
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	28	0	-	5	0
	Upper	20.0	40	80	-	35	10
Clay / Silt	Lower	16.0	24	0	120	35	0
	Upper	19.0	31	15	350	100	10

6.4.1 Tunnelman's Ground Classification

There are no tunnels proposed within the Winterton Shoal Formation and classification is not required.

6.4.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile is averaged over CPT ATL 1D in the Winterton Shoal Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 6-6:

Table 6-8: CPT Soil Behaviour types - Winterton Shoal Formation for Launch Shaft

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	4.8%
3	Organic soils – clay	10.0%
4	Clays: clay to silty clay	18.1%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	48.2%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	19.9%
7	Sands: clean sands to silty sands	-

7 SEA DEFENCE PARAMETERS (CH. 0+100 – 0+600)

7.1 Naaldwijk Formation Geotechnical Parameters

Table 7-1: Project Baseline Soil Parameters –Naaldwijk Formation for Sea Defence

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Undrained Shear Strength	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	Cu	c'		FC	GC
		kN/m^3	°	kPa	kPa		%	%
Sand	Lower	18.0	30	-	0	-	0	0
	Upper	22.0	39	-	55	27	10	15
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	28	-	0	-	5	0
	Upper	20.0	39	-	55	27	25	15
Clay / Silt	Lower	16.0	17	20	0	-	20	0
	Upper	19.0	32	200	15	15	100	20
Peat	Lower	14.0	15	20	0	-	50	0
	Upper	18.0	-	-	-	-	100	5

7.1.1 Tunnelman's Ground Classification

The top of the Naaldwijk Formation is situated below the phreatic surface, and as such the granular deposits are classified as 'Flowing'. Naaldwijk Formation clays are predominantly described as firm to stiff, and often fissured which is in line with a 'Ravelling' classification. Soft clays are encountered in the Naaldwijk Formation, classified as 'Squeezing'.

Where clays are encountered within the predominantly sandy Naaldwijk Formation strata they may give rise to mixed-face tunnelling conditions.

7.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile is averaged over CPTs ATL 4, 4A, 5 and 5B in the Naaldwijk Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 7-2:

Table 7-2: CPT Soil Behaviour types - Naaldwijk Formation for Sea Defence

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	6.0%
3	Organic soils – clay	14.1%
4	Clays: clay to silty clay	9.1%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	29.5%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	40.8%
7	Sands: clean sands to silty sands	0.6%

7.2 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters

Table 7-4: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Formation for Sea Defence

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	c'		FC	GC
		kN/m^3	°	kPa		%	%
Sand	Lower	19.0	30	0	-	0	0
	Upper	22.0	41	80	31	15	10
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	29	0	-	5	0
	Upper	20.5	41	80	31	35	25

7.2.1 Tunnelman's Ground Classification

The Kreftenheye Formation is fully submerged and comprised exclusively of sandy and gravelly granular deposits, and such is classified as 'Flowing' according to Tunnelman's Ground Classification.

7.2.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile for Made Ground is averaged over CPTs ATL 4, 4A and 5B in the Kreftenheye Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 7-5:

Table 7-5: CPT Soil Behaviour types - Kreftenheye Formation for Sea Defence

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	-
3	Organic soils – clay	>0.1%
4	Clays: clay to silty clay	2.0%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	5.4%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	92.2%
7	Sands: clean sands to silty sands	0.4%

8 MAIN TUNNEL DRIVE PARAMETERS (CH. 0+600 – 1+500)

8.1 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters

Table 8-1: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Formation for Main Tunnel Drive

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	c'		FC	GC
		kN/m^3	°	kPa		%	%
Sand	Lower	19.0	30	0	-	0	0
	Upper	22.0	41	80	31	15	10
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	29	0	-	5	0
	Upper	20.5	41	80	31	35	25

8.1.1 Tunnelman's Ground Classification

The Kreftenheye Formation is fully submerged and comprised exclusively of sandy and gravelly granular deposits, and such is classified as 'Flowing' according to Tunnelman's Ground Classification.

8.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

The Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile for Made Ground is averaged over CPTs AT 3A, 4, 5, 6, 6A, 6B, 7 and BT6 in the Kreftenheye Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 8-2:

Table 8-2: CPT Soil Behaviour types - Kreftenheye Formation for Main Tunnel Drive

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	-
3	Organic soils – clay	0.3%
4	Clays: clay to silty clay	0.6%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	1.9%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	89.7%
7	Sands: clean sands to silty sands	7.5%

9 OFFSHORE RECEPTION PIT PARAMETERS (CH. 1+500 – 1+850)

9.1 Naaldwijk Formation Geotechnical Parameters

Table 9-1: Project Baseline Soil Parameters –Naaldwijk Formation for Reception Pit

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Undrained Shear Strength	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	Cu	c'		FC	GC
		kN/m³	°	kPa	kPa		%	%
Sand	Lower	17.0	28	-	0	-	0	0
	Upper	21.0	38	-	50	27	10	15
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	28	-	0	-	5	0
	Upper	20.5	38	-	50	27	25	15
Clay / Silt	Lower	16.0	17	5	0	-	20	0
	Upper	19.0	32	80	15	15	100	20

9.1.1 Tunnelman's Ground Classification

The top of the Naaldwijk Formation is situated below the phreatic surface, and as such the granular deposits are classified as 'Flowing'. Naaldwijk Formation clays are predominantly described as firm to stiff, and often fissured which is in line with a 'Ravelling' classification. Very soft clays are encountered in the Naaldwijk Formation, classified as 'Squeezing'.

Where clays are encountered within the predominantly sandy Naaldwijk Formation strata they may give rise to mixed-face tunnelling conditions.

9.1.2 CPT Soil Behaviour Type Profile

CPT AT 11 is the only CPT location within the defined extents of the Reception Pit site; however this encounters predominantly sandy soil within the Naaldwijk Formation which is not considered representative of the stratum in this area. For the purposes of baseline definition, the Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile is averaged over CPTs AT 3A, 4, 5, 6, 6A, 6B, 7, 11 and BT6 in the Naaldwijk Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 9-2:

Table 9-2: CPT Soil Behaviour types - Naaldwijk Formation for Reception Pit

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	1.2%
3	Organic soils – clay	14.9%
4	Clays: clay to silty clay	42.9%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	29.6%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	11.4%
7	Sands: clean sands to silty sands	-

9.2 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters

9.2.1 Kreftenheye Formation Geotechnical Parameters

Table 9-3: Project Baseline Soil Parameters – Kreftenheye Fomation for Reception Pit Location

Stratum	Bound	Unit weight	Peak effective angle of shearing resistance	Drained Apparent Cohesion	Abrasivity (SAT)	Fines content	Gravel content
		γ	ϕ_p	c'		FC	GC
		kN/m^3	°	kPa		%	%
Sand	Lower	19.0	30	0	-	0	0
	Upper	22.0	41	80	31	15	10
Silty / Clayey Sand	Lower	17.0	29	0	-	5	0
	Upper	20.5	41	80	31	35	25

9.2.2 Tunnelman's Ground Classification

The Kreftenheye Formation is fully submerged and comprised exclusively of sandy and gravelly granular deposits, and such is classified as 'Flowing' according to Tunnelman's Ground Classification.

9.2.3 CPT Soil Behaviour Type Profile

For consistency with the approach taken to characterise the Naaldwijk formation for the Reception Pit, the Robertson (1990) normalised Soil Behaviour Type (SBTn) profile for is averaged over CPTs AT 3A, 4, 5, 6, 6A, 6B, 7, 11 and BT6 in the Kreftenheye Formation. Proportions of SBTn are summarised in Table 9-4:

Table 9-4: CPT Soil Behaviour types - Naaldwijk Formation for Reception Pit

SBTn	Description	Proportion
2	Sensitive fine grained	-
3	Organic soils – clay	0.3%
4	Clays: clay to silty clay	0.5%
5	Silt mixtures: clayey silt & silty clay	1.7%
6	Sand mixtures: silty sand to sandy silt	91.4%
7	Sands: clean sands to silty sands	6.0%

10 CONCRETE AGGRESSIVITY

Sulphate classification to EN206:2013 and BRE Special Digest 1 (BRE, 2005) baseline classifications are presented in Table 10-1.

Table 10-1: Baseline concrete classification

• Stratum	Sulphate Classification
Made Ground	DS-5
Naaldwijk Formation	DS-5*
Kreftenheye Formation	DS-3
* noting low pH of 4.7 to 5.6 in peat layers	

11 GROUNDWATER AND PERMEABILITY

11.1 GROUNDWATER AND TIDE LEVELS

The following baseline groundwater levels in Table 11-1 for the Launch Shaft site (ch. 0+000 to 0+100) are to be used:

Table 11-1: Design Groundwater Levels: Launch Shaft

Bound	Level (mLAT)
Lower Bound	0.4
Upper Bound	4.0
Extreme flood	6.0

The baseline for groundwater levels on the Sea Defence, Main Tunnel Drive and Reception Pit are based on the tide levels in Table 11-2.

Table 11-2: Design Groundwater Levels - Sea Defence, Main Tunnel Drive and Reception Pit

Description	Level (mLAT)
Highest Astronomical Tide (HAT)	+2.6
Mean High Water Springs (MHWS)	+2.2
Mean Sea Level	+1.12
Mean Low Water Springs (MLWS)	+0.3
Lowest Astronomical Tide (LAT)	-0.0

Extreme (surge) water levels for the Sea Defence, Main Tunnel Drive and Reception Pit are baselined for construction on the basis of a 10-year return period in Table 11-3.

Table 11-3: Extreme (Surge) Water Levels - Sea Defence, Main Tunnel Drive and Reception Pit

Return Period (years)	Level (mLAT)
10	4.22

11.2 Permeability

Laboratory permeability tests are considered local values rather than representative of the mass, which is expected to be vertically stratified and also highly laterally variable, particularly in the Made Ground and the Naaldwijk Formation. The baseline permeability values for the primary strata within each of the three units are summarised below in Table 11-4, Table 11-5 and Table 11-6.

Table 11-4: Baseline Made Ground Permeabilities – Shaft

Stratum	Permeability (m/s)
Sand	1E-5 – 1E-3
Silty Sand	1E-6 – 3E-3
Clay	1E-10 – 1E-7

Table 11-5: Baseline Naaldwijk Formation Permeabilities – Shaft, Sea defence, main drive and reception pit

Stratum	Permeability (m/s)
Sand	3E-6 – 1E-3
Silty Sand	1E-6 – 3E-3
Clay	1E-10 – 1E-7
Peat	1E-10 – 1E-5

Table 11-6: Baseline Kreftenheye Formation Permeabilities - Shaft, Sea defence, main drive and reception pit

Stratum	Permeability (m/s)
Sand	3E-5 – 1E-3
Silty Sand	1E-8 – 3E-3

12 OBSTRUCTIONS

12.1 Unexploded Ordnance (UXOs)

Within the Launch Shaft and Sea Defence sites the shallow deposits are comprised of dredged seabed material. For the purpose of the GBR, the probability of encountering UXOs is sufficiently low that it is not baselined. N.b. the UXO baseline is for the purpose of assisting the EPC Contractor in pricing for geotechnical risk; Health and Safety duties and mitigating risk ALARP must still be undertaken by the EPC Contractor.

The offshore Reception Pit site contains extensive magnetic anomalies.

12.2 Shipwrecks

Shipwrecks are recorded within the nearshore and landfall area. The potential risk of striking an unrecorded shipwreck during construction remains.

12.3 Archaeology

All archaeological finds, described by the Dutch Government as “A valuable object that has been hidden for centuries and whose owner is no longer alive” (translated), must be reported to the Minister for Education, Culture and Science, and this includes maritime artifacts (Netherlands, 2024). By law archaeologists are granted six months to study any artifacts (Netherlands, 2024).

No items of archaeological interest were identified in the launch shaft or wider shark fin site.

Table 12-1 below baselines commercial risks of obstructions and archaeology.

Table 12-1: Unknown Man-made obstructions Baseline

Location	Unknown Man-made Obstruction	Baseline
Shaft	UXO	Will not be encountered
	Shipwrecks	Will not be encountered.
	Archaeology	Will not be encountered.
Sea Defence	UXO	Will not be encountered.
	Shipwrecks	Will not be encountered.
	Archaeology	Will not be encountered.
Main Drive	UXO	Will not be encountered.
	Shipwrecks	Will not be encountered.
	Archaeology	Will not be encountered.
Reception Pit	UXO	UXO detection and safe disposal required within the Naaldwijk Formation.
	Shipwrecks	Detection and removal of large metal fragments of shipwrecks required within the Naaldwijk Formation.
	Archaeology	Allow for archaeological watching brief.

Bijlage 7

Basis of design

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Basis of Design for Tunnel FEED				Documentreferentie NL-ARM-040-ARU1-110301	
				Revisie: 02	**Fase**: IFD
				Datum: 02-07-2024	
Type document: BOD	**Soort uitrusting:** n/a	**Discipline** CIV	**Klasse:** 1	**Pagina** 1 van 70	

ARAMIS-PROJECT

Ref	Fase	Datum	Revisiememo	Afgegeven door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
00	IFR	09-02-2024	Afgegeven ter beoordeling	[redacted]	[redacted]	[redacted]
01	IFA	22-03-2024	Afgegeven ter goedkeuring	[redacted]	[redacted]	[redacted]
02	IFD	02-07-2024	Afgegeven ter ontwerp	[redacted]	[redacted]	[redacted]

Dit document wordt uitgegeven conform een Overeenkomst tussen TotalEnergies Nederland B.V. en Petrofac Facilities Management Limited waarin alle rechten en verplichtingen van deze partijen met betrekking tot de inhoud en het gebruik van het rapport zijn vastgelegd. Als een andere partij vertrouwt op de inhoud van het rapport, is dat op eigen risico. Petrofac geeft geen garantie of verklaring, expliciet of impliciet, aan een andere partij ten aanzien van nauwkeurigheid, volledigheid of bruikbaarheid van de informatie in dit rapport en aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid met betrekking tot gebruik door andere partijen of schade die voortkomt uit gebruik van informatie, conclusies en aanbevelingen vermeld in dit document.

Inhoud

CONTENTS **2**
ABBREVIATIONS **6**
DEFINITIONS **7**
HOLDS **8**
1 INTRODUCTION **10**
1.1 Background 10
1.2 Purpose of Document 11
1.3 Scope of Design 11
1.4 Exclusions 12
1.5 Sources of Information 13
2 DESIGN CODES AND STANDARDS **16**
2.1 National design codes and standards 16
2.2 International design codes and standards 16
2.3 Project specific documents 17
2.4 Design by Others 18
3 COORDINATE SYSTEMS AND UNITS OF MEASUREMENTS **19**
4 BASIC ENGINEERING DATA **20**
4.1 Climate Conditions 20
4.2 Rainfall 20
4.3 Flooding 21
4.4 Wind Speed 21
4.5 Currents 21
4.6 Water Levels 24
4.7 Wave climate 25
4.8 Topography 28
4.9 Bathymetry 28
5 GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INPUT **29**
5.1 Geology 29
5.2 Groundwater 31
6 ASSUMPTIONS AND CONSTRAINTS **32**
6.1 Status of interfacing design by others 32
6.2 Assumptions 32

6.3 Constraints 34

7 DESIGN METHODS AND ANALYSIS 38

7.1 Shafts 38

7.1.1 Shaft location, geometry, and dimensions 38

7.1.2 Structure type and materials 38

7.1.3 Load conditions and combinations 39

7.1.4 Design methods and analysis 39

7.1.5 Interfaces with other structures 39

7.2 Tunnel 40

7.2.1 Alignment and longitudinal profile 40

7.2.2 Space proofing 41

7.2.3 Hybrid solution scenarios 41

7.2.4 Load conditions 42

7.2.5 Materials 46

7.2.6 Design method - selection of critical design sections 47

7.2.7 Design methods - Face stability analysis 47

7.2.8 Ground load estimation 49

7.2.9 Structural analysis method 51

7.2.10 Lining capacity 53

7.2.11 Pipejacking 55

7.2.12 Segmental lining 56

7.2.13 Flotation and buoyancy analysis 56

7.2.14 Interfaces with other structures 57

7.3 Reception pit 57

7.3.1 We will consider the following options for design of the reception pit. 57

7.3.2 Location, geometry and dimensions 58

7.3.3 Design methods 58

7.3.4 Marine works 58

7.3.5 Alternative approaches 59

7.4 Ground settlement analysis 59

7.5 TBM retrieval: 59

8 DURABILITY 61

9 PROPOSED CONSTRUCTION METHODS 62

9.1 Shafts 62

9.2 Tunnel 62
9.2.1 Pipejacking 62
9.2.2 Segmental lining (TBM) 62
9.3 Reception pit 63
10 CONSTRUCTION MONITORING 64
10.1 Condition Surveys 64
11 PIPELINE INSTALLATION AND OPERATIONAL REQUIREMENTS 65
12 INSPECTION AND MAINTENANCE PHILOSOPHY 66
12.1 Reception Pit 66
13 KEY INTERFACES DURING FEED 67
13.1 Inputs required from others 67
13.2 Outputs to be provided for others 67
14 RISK ASSESSMENT 68
14.1 Health, Safety and Environment 68
14.2 Cost & Schedule 68
15 INTERFACE MANAGEMENT PLAN 69
16 REFERENCES 70

Overzicht afbeeldingen

Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure 10
Figure 1-2 - Aramis Shore Crossing layout 12
Figure 4-1 Directional extreme wave values for Hs & Tp at Point 1 25
Figure 4-2 - Directional Extreme Values for Hmax, THmax & Cmax at Point 1 26
Figure 4-3 - Monthly Extreme values for Hs & Tp at Point 1 27
Figure 4-4 - Monthly extreme values for Hmax, THmax & Cmax at Point 1 27
Figure 7-1 - Tunnel alignment and longitudinal profile Pre-FEED 41
Figure 7-2 - Forces acting on the wedge with Ere = support force due to the earth pressure, G = own weight of wedge, Pv = vertical load from the soil prism, T = Shear force on the vertical slip surface, ϑ = Sliding angle, φ' = Friction angle of soil, c = cohesion of the soil, D = shield diameter and Q = shear force on inclined surface, γ = unit weight of soil. 49
Figure 7-3 - Example of CCM schematic 50
Figure 7-4 - Terzaghi's recommendations for the loading on tunnel linings 51
Figure 7-5 - Reduction in I for Joint Flexibility 52
Figure 9-1 – Pipejacking method 62
Figure 9-2 – Slurry shield TBM 63

Overzicht tabellen

Table 3-1 - Co-ordinate reference points 19
Table 4-1 - Temperatures....20
Table 4-2 - Rainfall....21
Table 4-3 - Directional Extreme Tidal Current at Point 1....22
Table 4-4 - Monthly Extreme Tidal Current at Point 1....23
Table 4-5 - Extreme Tidal Current Profile at Point 1....23
Table 4-6 - Tide Levels....24
Table 4-7 – Extreme Water Levels at Point 1....24
Table 4-1 – Pipeline design document....32
Table 6-1 - CO2 Pipeline Data....33
Table 6-2 - Project Constraints....34
Table 6-3 - Minimum clearance for each asset....36
Table 7-1 – Load and load combinations 45
Table 7-2 - Typical concrete properties....46
Table 7-3 - Typical bar reinforcement properties....46
Table 7-4 - Typical properties for other elements....47

AFKORTINGEN

Afkorting	Beschrijving
AACE	Association for the Advancement of Cost Engineering
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
BOD	Basis of Design
CCS	Carbon Capture and Storage
DAUB	Deutsche Ausschuss für Unterirdisches Bauen (Duitse tunnelbouwcommissie)
D-Hub	Distributiehub
EBN	Energie Beheer Nederland
EPC	Engineer, Procure, Construct (ontwerp, inkoop, bouw)
FEED	Front End Engineering Design
GBR	Geotechnical Baseline Report
GDR	Geotechnical Design Report
GIR	Ground Investigation Report
GIS	Geospatial Information System
HAT	Highest Astronomical Tide (hoogste astronomische getij)
VGM	Veiligheid, Gezondheid en Milieu
I&M	Instrumentation & Monitoring
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LAT	Lowest Astronomical Tide (laagste astronomische getij)
LIDAR	Light Detection and Ranging
MHWS	Mean High Water Springs (gemiddeld hoogwaterspring)
MLWS	Mean Low Water Springs (gemiddeld laagwaterspring)
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NGD	Nautical Guaranteed Depth (gegarandeerde nautische diepte)
PCTL	Precast Concrete Tunnel Lining (prefab betonnen tunnelbekleding)
PLANC:	Permits, Licenses, Authorisations, Notifications & Consent (vergunningen, licenties, machtigingen, kennisgevingen en toestemmingen)
Pre-FEED	Preliminary Front End Engineering Design
RWS	Rijkswaterstaat
TBM	Tunnelboormachine
TTE	TotalEnergies
UXO	Unexploded Ordnance (niet-ontplofte oorlogsmunitie)

DEFINITIES

Terminologie	Definitie
Bedrijf	Aramis-project
Aannemer	Petrofac Facilities Management Ltd
Consultant	Tunnelling FEED Consultant (Arup)
Pipeline Designer	Offshore Independents
HazID	Hazard Identification Study
HazOP	Hazard in Operation Study
HazCON	Hazard in Construction Study

AANHOUDEN

Nr.	Paragraaf	Aanhouden
1	1,5	**[GESLOTEN]** – Reeks van tracé "PL01(2-1).xslx" verstrekt door Aannemer (ref. 27).
2	1,5	**[GESLOTEN]** – GIS-laag "Magnetometer Anomaly" verstrekt door Aannemer van GIS.
3	1,5	**[GESLOTEN]** – Data van as-built kabels van TenneT, verstrekt door Aannemer.
4	2,1	**[GESLOTEN]** – CUR-referenties toegevoegd aan paragraaf 2.1.
5	2,1	**[GESLOTEN]** – RWS-vereisten verstrekt in TQ-reactie van Bedrijf aan Aannemer in NL-ARM-040-PTC1-TQ0001 (referentie toegevoegd in Paragraaf 2.3).
6	2,3	**[GESLOTEN]** – Placeholder voor HSSE & SP-beleid van Bedrijf vervangen door verwijzing naar VGM-beleid van Total Energies Nederland (TEPNL) en lokaal HSSE & SP-beleid van Aramis toegevoegd: ARM-PFE-BB3-HSE-REP-0247..
7	2,3	**[GESLOTEN]** – Placeholder voor HSSE & SP-beheerkader van Bedrijf vervangen door verwijzing naar VGM-beleid van Total Energies Nederland (TEPNL) en lokaal HSSE & SP-beleid van Aramis toegevoegd: ARM-PFE-BB3-HSE-REP-0247.
8	2,3	**[GESLOTEN]** – Placeholder voor HSSE & SP-plan van Bedrijf vervangen door verwijzing naar VGM-beleid van Total Energies Nederland (TEPNL) en lokaal HSSE & SP-beleid van Aramis toegevoegd: ARM-PFE-BB3-HSE-REP-0247.
9	2,3	**[GESLOTEN]** – Placeholder voor aanvullende data/rapporten over vervuilde grond die worden verstrekt door Bedrijf, gesloten bij ontvangst van Porthos-rapport 'Milieukundig rapport' opgenomen in NL-ARM-040-PTC1-TQ0004_rev_1 van Bedrijf. Verwijzing toegevoegd in Paragraaf 1.8.
10	4,5	**[GESLOTEN]** – Onshore Meteorological Design Basis (NL-ARM-100-ARM1-100003) en Offshore Meteorological Design Basis (NL-ARM-100-ARM1-100004) verstrekt door Aannemer.
11	4,5	**[GESLOTEN]** – Overeenkomstig AANHOUDEN 10.
12	4,6	**[GESLOTEN]** – Overeenkomstig AANHOUDEN 10.
13	4,8	**[GESLOTEN]** – Bevestiging ontvangen van Aannemer om AHN-data te gebruiken in plaats van projectspecifiek topografisch onderzoek.
14	4,9	**[GESLOTEN]** – Bestand met bathymetriedata verstrekt door Aannemer.
15	6,1	**[GESLOTEN]** – Methode van pijpleiding trekken van offshore naar onshore bevestigd in Pipeline Shore Landing Method Statement door Pipeline Designer (rapportref.: NL-ARM-040-PTC1-113852). Deze Basis of Design voor de tunnel-FEED omvat niet het scenario met een secundaire pijpleiding – elk onderzoek naar een tweede pijpleiding moet afzonderlijk worden ontwikkeld.
16	6,1	**[GESLOTEN]** – De werkhypothese voor lierbelasting is bevestigd op basis van een lier van 800 ton, met een specifieke schijfreactiebelasting verstrekt door Aannemer. Er wordt verwezen naar meerdere rapporten van Pipeline Designer, waaronder NL-ARM-040-PTC1-113851, ...-113852 en ...-113859.

Nr.	Paragraaf	Aanhouden
17	6,1	**[GESLOTEN]** – Details van aanvullende beschermingslaag voor pijp vermeld als '10 mm (3LPP)' overeenkomstig NL-ARM-040-PTC1-114070.
18	6,2	**[GESLOTEN]** – aanhouden voor restricties die voortkomen uit pijpleidingontwerp, constructie, onderhoud en werkzaamheden is gesloten vanwege ontvangst van diverse rapporten van Pipeline Designer zoals opgesomd in Paragraaf 6.1.
19	6,2	**[GESLOTEN]** – toeslag voor overbaggeren - gesloten op basis van het feit dat in de Maasgeul de zeebodem wordt bekeken op basis van vergelijking tussen (1) gegarandeerde nautische diepte van -23,2 mLAT met een extra (over)baggermarge van 1,5 m zoals gedefinieerd in de Aramis FEED Basis of Design [30], en (2) actuele bathymetriedata die door de klant zijn verstrekt [31].
20	7.1.1.	**[GESLOTEN]** – aanhouden voor restricties op locatie van schacht, waaronder bovengrondse infrastructuur, ruimte voor pijpleidingconstructie en toekomstig(e) werkzaamheden/onderhoud afgerond met verwijzing naar rapporten van Pipeline Designer zoals opgesomd in Paragraaf 6.1.
21	7.1.3.	**[GESLOTEN]** – Belasting afkomstig van ontwerp buiten de scope van de tunnel - FEED is afgesloten met verwijzing naar de rapporten in AANHOUDEN 18.
22	7.2.1.	**[GESLOTEN]** – Zie AANHOUDEN 1.
23	11	**[GESLOTEN]** – aanhouden voor pijpleidingconstructie en operationele vereisten is gesloten met verwijzing naar rapporten in AANHOUDEN 18.
24	12	**[GESLOTEN]** – Zie AANHOUDEN 18.
25	13	**[GESLOTEN]** – Zie AANHOUDEN 18.
26	13	**[GESLOTEN]** – aanhouden voor aanvullende restricties met betrekking tot pijpleidingontwerp is gesloten met verwijzing naar de rapporten in AANHOUDEN 18.

1 INTRODUCTIE

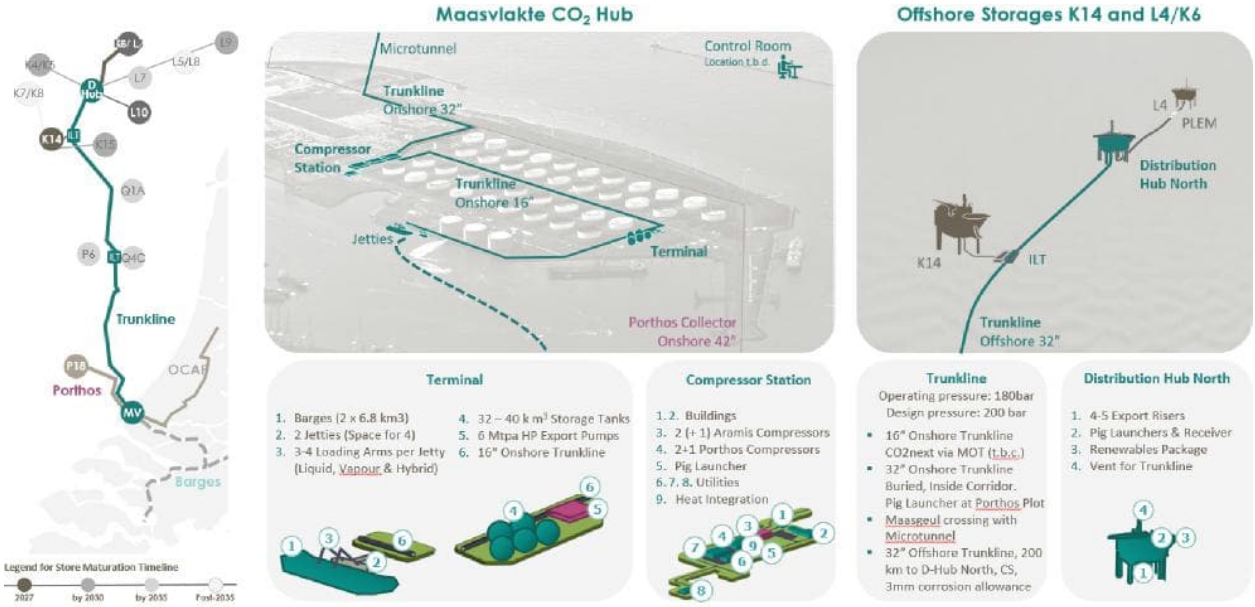
1.1 Achtergrond

Het Aramis-project is een samenwerking tussen Shell, TotalEnergies, Gasunie en EBN om lege gasvelden en mogelijke waterhoudende grondlagen in de Noordzee te benutten om een vrij toegankelijke CCS-infrastructuur voor transport en opslag op te zetten, die is gericht op industrieën die hun emissies in Nederland en Europa moeilijk kunnen reduceren.

Dit deel van het project voorziet in het transport van CO2 van de onshore terminal naar een offshore platform dat wordt gebruikt als distributieplatform (D-Hub). Ander delen van het project worden uitgevoerd door CO2next en Porthos, waarbij de feitelijke opslag in de lege offshore gasvelden onder de Noordzee wordt uitgevoerd door Shell en TotalEnergies als onderdeel van hun offshore werkzaamheden.

Afbeelding 1-1 hieronder toont een overzicht van de beoogde CCS-infrastructuur. Op de linker afbeelding staat de zeeleiding die CO2 van de Maasvlakte naar de offshore opslag transporteert. Op de middelste afbeelding staat de Maasvlakte-hub met het Porthos-compressorstation en de CO2next-terminal. Op de rechter afbeelding staan de platforms van TTE en Shell.

Afbeelding 1-1 – Overzicht van CSS-infrastructuur



1.2 Doel van dit document

Petrofac Facilities Management Ltd heeft Ove Arup & Partners Ltd opdracht gegeven voor het technisch ontwerp van de oeverkruisingslocatie in het Maasvlaktegebied, waaronder de sleufloze constructie. Dit Basis of Design (BoD)-rapport documenteert de standaarden, aannames, beweegredenen, criteria en overwegingen die nodig zijn voor de berekeningen en beslissingen tijdens het ontwerp. Het schetst de ontwerp- en analysemethodes die worden gebruikt voor het Front End Engineering Design (FEED).

Het doel van dit document is om relevante partijen te instrueren en informeren over de ontwerpbasis. Het document wordt periodiek geüpdatet om de impact die veranderingen op het design hebben, te beheren. De eerste versie is uitgegeven voorafgaand aan het voorlopige FEED-ontwerp. Sommige paragrafen moeten dan ook nog verder worden uitgewerkt, afhankelijk van de ontwerpopties die worden gekozen.

1.3 Scope van het ontwerp

In het pre-FEED onderzoeksrapport (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [3]) wordt verslag gedaan van twee onderzochte tunnelbouwmethodes: microtunneling in de vorm van doorpersen met behulp van een slurry-TBM met een gesloten front en een TBM met segmentsgewijze bekleding.

Voor de offshore verbinding zijn twee scenario's overwogen: 1) Hybride oplossing die bestaat uit doorpersen met overgang naar segmentsgewijze bekleding, 2) segmentsgewijze bekleding over de volledige lengte van de tunnel. Hoewel beide opties uitvoerbaar worden geacht, werd bij de microtunneling-optie geconstateerd dat de kans om vast te komen te zitten aanzienlijk groter was en deze optie daardoor ook een groter risico was voor het totale project. Het grootste risico bij het voltooien van het project zijn complicaties tijdens het wegdrukken. Omgekeerd werd vastgesteld dat de tijd en kosten bij microtunneling lager zijn (uitgaande van een succesvolle afronding). De hybride oplossing die bestaat uit gedeeltelijk doorpersen gevolgd door gedeeltelijk segmentsgewijze tunnelbekleding is ook overwogen als een haalbare oplossing en zal verder worden onderzocht als onderdeel van het FEED-onderzoek.

Afbeelding 1-2 - Inrichting Aramis-oeverkruising



De scope van het ontwerp zoals opgenomen in de opdracht (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [1]) voor de oeverkruising, omvat de ontwikkeling van FEED tot in voldoende detail om de aanbesteding voor een EPC-aannemer (ontwerp, inkoop en bouw) mogelijk te maken. De FEED omvat de volgende elementen:

- Schacht op de 'haaienvin' (zie Afbeelding 1-2 - Inrichting Aramis-oeverkruising) voor tunnelbouw, logistiek en pijpleidingconstructie, met waarborging van het ontwerp, bewust van de voorwaarden en optredende belastingen waaronder doorpersbelasting, lierlocatie en de pijpentrekker naar binnen vanaf zee.
- Tunnel (waaronder het verticale tracé) waarbij rekening wordt gehouden met grondcondities, geometrie, bouw en andere voorwaarden zoals langetermijnstabiliteit, zetting en duurzaamheid. Voor de hybride TBM-oplossing worden 3 opties bestudeerd: vliegende start, geplande omschakeling van doorpersen naar gesegmenteerde tunneling of omschakeling van doorpersen naar segmentaal wanneer nodig, op basis van daadwerkelijke productiesnelheid en wrijvingskrachten.
- Ontvangstschacht en inrichting van andere ontwerpoverwegingen zoals maritieme werkzaamheden, geotechnisch, structureel (tunnelbekleding), terughalen TBM, geo-ecologisch en invloed van derde partijen waaronder bouw van de pijpleiding en de mogelijke noodzaak voor terugvullen.

1.4 Uitzonderingen

De belangrijkste aspecten waarvan is vastgesteld dat ze buiten de ontwerpscope (te beheren door de Aannemer) van Arup vallen en daarom buiten de scope van dit Basis of Design, zijn als volgt:

- Het ontwerp van de pijpleiding valt niet binnen de scope van deze opdracht. Beperkingen/vereisten ten aanzien van het ontwerp van de pijpleiding die relevant zijn voor het tunnelontwerp, zijn echter opgenomen met verwijzing naar andere documenten (indien beschikbaar).
- PLANC: Permits, Licenses, Authorisations, Notifications & Consent (vergunningen, licenties, machtigingen, kennisgevingen en toestemmingen).
- Managementstrategie voor het uitvoeren van het PLANC-plan.
- Interfacebeheerplan
- Technische specificatie van de werkzaamheden voor eventuele aanvullende inspecties of onderzoeken (optionele scope die door Arup kan worden uitgevoerd).
- Risicobeoordeling van vervuilde grond in fase 2 (optionele scope die door Arup kan worden uitgevoerd en afhankelijk is van de uitkomst van de risicobeoordeling van vervuilde grond in fase 1).

1.5 Informatiebronnen

Het ontwerp wordt ontwikkeld op basis van de volgende informatiebronnen, waarnaar verwezen wordt indien relevant, en die gelezen behoren te worden in combinatie met dit rapport:

[1] Aramis Tunnel FEED Scope of Work: 100111091-RP-0002 [B]

[2] Aramis Ground Investigation Report, 20.09c.2023: 100111091-RP-0003 [A]

[3] Aramis Project Pre-FEED Studies Overview Report, 20.09.2023: 100111091-RP-0004 [A]

[4] Aramis Sea Defence Stability Assessment, 08.09.2023: 100111091-RP-0005 [A]

[5] Aramis Pre-FEED Studies - Alternative Land to South Opportunities, 08.09.2023: 100111091-TN-0001

[6] Aramis Pre-FEED Studies - UXO Review, 07.09.2023: 100111091-TN-0002

[7] Aramis Pre-FEED Studies - Face Pressure Assessment,15.09.202: 100111091-TN-0003

[8] Aramis Pre-FEED Studies - Thrust Assessment - TBM & Pipejack, 15.09.2023: 100111091-TN-0004

[9] Aramis Pre-FEED Studies - Profile Design and Constraints, 06.09.2023: 100111091-TN-0005

[10] Aramis Pre-FEED Studies - Abrasivity Analysis, 06.09.2023: 100111091-TN-0006

[11] ARAMIS Tunnel FEED Scope - NL-ARM-040-PTC1-100101_Rev01 Aramis-Constructability-Study_Basis-of-Design: ARM-CPT-BB3-PLR-BOD-0035_0_

[12] Micro-Tunnel-Nearshore-Export-Route-East: ARM-CPT-BB3-PLR-LAY-0052-0_

[13] Micro-Tunnel-Export-Route-East_First 30 km: ARM-CPT-BB3-PLR-LAY-0053-0_

[14] Shark-Fin-Layout_Microtunnel-A-B_Onshore-Connection: ARM-CPT-BB3-PLR-LAY-0062-0_

[15] Safety Concept: ARM-PFE-BB8b-SAF-PHIL-0218_v01

[16] Environmental-Site-Survey_Field-Report: F197217-REP-002-01_

[17] TotalAramis Biodiversity Observation Report: F197217-REP-003-01_

[18] Environmental-Desk-Top-Study: F197217-REP-ENV-001-R02_

[19] EPWPFML 10532 for the Volume 1 Total Aramis Micro Tunnelling Design Consultancy Services

[20] EPWPFML 10532 for the Volume 2 Total Aramis Micro Tunnelling Design Consultancy Services

[21] Aramis Pipeline Route Integrated Geophysical Survey Results Report - NL-ARM-100-ARM1-100007_01

[22] Aramis Pipeline Route Environmental Site Survey Field Report - NL-ARM-100-ARM1-100008_01

[23] Aramis Pipeline Route Biodiversity Observations Report - NL-ARM-100-ARM1-100009_01

[24] Aramis Pipeline Route Environmental Site Survey Environmental Baseline Study - NL-ARM-100-ARM1-100010

[25] Aramis Pipeline Route Environmental Site Survey – eDNA - NL-ARM-100-ARM1-100011_01

[26] Aramis Landfall and Nearshore Pipeline Route Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results - NL-ARM-100-ARM1-100013

[27] Coördinatiereeksen horizontaal tracé pijpleiding "PLO1(2-1).xlsx" verstrekt door Aannemer.

[28] GIS-laag: "Magnetometer Anomaly" verstrekt door Aannemer van GIS.

[29] Data van as-built kabels van TenneT in "Crossing Input Data.zip" met datum 2024-02-26 verstrekt aan Arup in overdrachtvermelding 201255-PEC_AUP-TSU-00007.

[30] Aramis FEED Basis of Design – NL-ARM-010-PTC1-100729_00

[31] Bron bathymetriedata: "Wip modified - subsampled data" bathymetriebestanden met datum 24/01/2024, verstrekt door Aannemer

[32] "MML Data Pack 1 – Maasvlakte.zip" (inclusief tekeningen van de Maasvlakte die zijn gemaakt door de haven van Rotterdam en dwarsdoorsnede van de zeewering), verstrekt door Bedrijf in NL-ARM-040-PTC1-TQ0002 Revision 1

[33] "MML-RWS.zip" (inclusief as-built tekeningen, rapporten en onderzoeksgegevens die zijn verstrekt door Rijkswaterstaat), zoals verstrekt door Bedrijf in NL-ARM-040-PTC1-TQ0002 Revision 1

[34] 11202326-004-GEO-0001_v3.0-Assessment of the stability of the Maasvlakte (zoals vermeld in "MML Data Pack 3 – Deltares – Maasvlakte Stability Assessment")

[35] Onshore Meteorological Design Basis (MSY23-160) – NL-ARM-100-ARM1-100003 Rev 1

[36] Offshore Metocean Design Basis – NL-ARM-100-ARM1-100004 Rev 1

[37] ‘Milieukundig rapport’ met datum 30 augustus 2010 als in TQ NL-ARM-040-PTC1-TQ0004 Rev 1.

2 ONTWERPCODES EN -STANDAARDEN

2.1 Nationale ontwerpcodes en -standaarden

Eurocodes:

- NEN-EN 1990 Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp, CEN
- NEN-EN 1991 Eurocode 1: Belastingen op constructies, CEN
- NEN-EN 1992 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies, CEN
- NEN-EN 1997 Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp, CEN
- NEN-EN 1998 Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies, wanneer betonconstructies worden gebouwd in aardbevingsgebieden, CEN
- NEN 3650, 2020, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen
- NEN 3651, 2020, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
- Nationale bijlage Nederland (NEN) bij Eurocodes , CEN.
- CUR-aanbeveling 122: 2018 Ontwerp en vervaardiging van betonconstructies met gebruikmaking van de doorgaande sterkteontwikkeling van beton.
- CUR 166: Damwandconstructies deel 1 & 2
- CUR 211: Handboek Kademuren
- NEN-EN 12110:2014 Tunnelbouwmachines - Luchtsluizen - Veiligheidseisen
- NEN-EN 1916:2002, Buizen en hulpstukken van ongewapend, gewapend en staalvezelbeton, CEN

2.2 Internationale ontwerpcodes en -standaarden

- ITA-AITES (2019), Guidelines for the Design of Segmental Tunnel Linings, WG2 Report.
- BSI (2016), Tunnel design - Design of concrete segmental tunnel linings - Code of practice, PAS 8810. British Standard Institution
- DAUB (2013), Aanbevelingen voor het ontwerp, de productie en installatie van segmentringen, Duitsland
- 2016-10 DAUB Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground
- CEN (2023), prEN 16191:2023, Tunnel boring machines – Safety requirements
- DIN 1054 Subsoil - Verification of the safety of earthworks and foundations - Supplementary rules to DIN EN 1997-1
- DIN 4085:2017-08 Subsoil - Calculation of earth-pressure
- Pipe Jacking Association (1995), Pipe Jacking Design Guide.
- Additional Technical Contract Conditions and Guidelines for Civil Engineering Structures (ZTV-ING)

- Pipe Jacking Association (2006), Guidance on the design of hand excavated pipejacks.
- Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS), AGS 4,0.
- International Federation for Structural Concrete (fib) Model Code for Concrete Structures, 2010
- International Federation for Structural Concrete (fib), Bulletin 83, Precast Tunnel Segments in Fibre Reinforced Concrete, 2017
- STUVA, Recommendation for Gasket Frames in Segmental Tunnel Linings 2019
- ACI 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete
- ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical. Concrete Specimens
- ASTM C94, Standard Specification for Ready Mix Concrete
- ASTM C494/C494M, Standard Specification for Admixtures for Concrete
- ASTM C1116, Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete
- ASTM A139, Standard Specification for Electric-Fusion (Arc)-Welded Steel Pipe Grade B for steel casing pipe
- ACI PRC-544.7-16 Report on Design and Construction of Fiber-Reinforced Precast Concrete Tunnel Segments.
- DWA-A 161E Static Calculation of Jacking pipes
- BS 59111:2021, Concrete pipes and ancillary concrete, Part 1: Unreinforced and reinforced concrete pipes (including jacking pipes) and fittings with flexible joints (complementary to BS EN 1916:2002) – Specification
- BS 6349 Maritime works
- PIANC publications (e.g. Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process)
- British Tunnelling Society (2024), Specification for Tunnelling, Fourth Edition.
- DIN-EN 681-1 Elastomeric seals – Material requirements for pipe joint seals used in water and drainage applications – Part 1: Vulcanized rubber
- DIN-EN 12889 / DWA-A 125E Pipe Jacking and Related Techniques
- ASCE/CI 36 Standard Design and Construction Guidelines for Microtunnelling (36-15)

2.3 Projectspecifieke documenten

- GS EP CIV 101, General Specification Civil Works Earthworks
- GS EP CIV 102, General Specification Civil Works Dredging and Reclamation Works
- GS EP CIV 202, General Specification Civil Works Drainage and underground networks
- GS EP CIV 300, General Specification Civil Works Reinforced and prestressed concrete
- GS EP CIV 401, General Specification Civil Works Minimum requirements for building design and construction (Internal Ref: GS HM STR 700)
- GS EP CIV 403, General Specification Civil Works Temporary construction camps and associated facilities (onshore)

- GS EP CIV 415, General Specification Civil Works Anchorages in the concrete
- GS EP CIV 500, General Specification Civil Works Foundations for onshore structures
- GS EP CIV 501, General Specification Civil Works Execution of Dredging and Rock Dumping Works
- Total Energies Netherlands (TEPNL) HSE Policy
- Aramis HSSE & SP Premises ARM-PFE-BB3-HSE-REP-0247
- RWS requirements within TQ NL-ARM-040-PTC1-TQ0001.

2.4 Ontwerp door anderen

- Ontwerp door anderen wordt geacht te worden uitgevoerd in overeenstemming met het Petrofac Basis of Design-document [30].
- Ontwerp van de pijpleiding valt buiten de scope van het project; de onderstaande standaarden voor offshore pijpleidingontwerp kunnen echter worden gebruikt als referentie voor coördinatiedoeleinden:
- NEN 3650, 2020, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal
- NEN 3654, 2014, Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen en hoogspanningssystemen
- NEN 3656, 2015, Eisen voor stalen buisleidingsystemen op zee
- DNVGL-ST-F101, Submarine pipeline systems
- DNVGL-RP-F109, On-bottom stability design of submarine pipelines

3 COÖRDINATENSYSTEMEN EN MEETEENHEDEN

Conform het pre-FEED onderzoeksrapport (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [3]), alle gepresenteerde dimensionale data en resultaten worden uitgedrukt in (metrische) SI-eenheden. Daarnaast kunnen andere eenheden worden gebruikt waar dit de algemeen aanvaarde en ondubbelzinnige standaard betreft, zoals voor standaard stroomsnelheden, temperatuur (°C), druk (bar), of diameters van pijpleiding (inch).

Coördinatensystemen en referentiediepten volgen de Basis of Design van de Aannemer [30]. Hieronder volgt een opsomming van de belangrijkste componenten:

- Waterstanden: de waterdiepten, getijdenstanden en offshore niveaus worden gedefinieerd door verwijzing naar het laagste astronomisch getij (LAT). Nabij de oever en aan land worden hoogtes ook gerelateerd aan het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Om twijfel te voorkomen, moet duidelijk worden aangegeven wanneer diepten zijn gerelateerd aan NAP en niet aan LAT. Op tekeningen staan referenties naar beide niveaus om onduidelijkheid te voorkomen.
- Nabij de oever en aan land worden hoogtes ook gerelateerd aan het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Opmerking: de verhouding tussen de twee niveaus is: LAT= -1,03 m NAP.
- Het geselecteerde projectiesysteem voor offshore voor dit project is ETRS89/UTM zone 31N. De projectie is in lijn met NEN 3656.
- Het geselecteerde coördinatensysteem voor onshore voor dit project is CRS Amersfoort / RD New [EPSG 28992].
- Om het parallel ontwerpen van de pijpleidingen op land, op zee en in de tunnel mogelijk te maken, is KP5 in het offshore gedeelte de vaste referentie voor de pijpleiding. De coördinaten van KP5 staan in Tabel 3-1. De tabel is overgenomen uit de Petrofac Basis of Design [21].

Tabel 3-1 - Coördinaten van referentiepunten

ID	UTM Z31N ETRS89		ETRS 89	
	East	North	Latitude	Longitude
KP 5.000	571280.94	5764850.90	52°01'46.914"N	4°02'20.462"E

ID	RD New (RDNAPTrans2018)		
	East	North	Software
KP 5.000	62482.49	449898.59	PC Trans 5.2 (RNHS 2021)

4 TECHNISCHE BASISGEGEVENS

Dit zijn natuurverschijnselen die buiten de controle van het project vallen. Over het algemeen worden omgevingscondities waar mogelijk ontleend aan de nationale bijlage van de relevante Eurocode, hoewel ook rekening moet worden gehouden met specifieke lokale gegevens.

Opmerking: er wordt gewerkt aan een gedetailleerde beoordeling van de technische basisgegevens van de ontvangen informatie om mogelijke hiaten of tegenstrijdigheden tussen bronnen te identificeren. Er wordt onderzoek gedaan in open databronnen, historische projecten, etc. om beschikbare data aan te vullen. Voorkeursbronnen, aanvullende bronnen die nog niet zijn verstrekt (maar waarnaar al wel wordt verwezen in de verstrekte informatie), voorgestelde werkhypothesen uit gesprekken met gespecialiseerde aannemers, papers en tijdschriften etc. worden vastgesteld tijdens projectbesprekingen. (Mogelijke bronnen van algemene en open data worden hieronder opgesomd totdat meer specifieke projectparameters zijn overeengekomen).

4.1 Klimaatomstandigheden

Tabel 4-1 toont de jaarlijkse maximum- en minimumtemperaturen in het huidige klimaat (1981-2010) en het klimaat in 2050 en 2085 (waarden voor het laagste (GL) en hoogste (WL) KNMI'14 klimaatscenario). Aanvullende informatie die betrekking heeft op verschillende herhalingstijden kunt u vinden op https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/.

Tabel 4-1 - Temperaturen

Beschrijving	Huidig	2050	2085
Zomertemperatuur (warmste zomerdag per jaar)	31,4 °C	32,7 tot 35,3 °C	33,6 tot 36,7 °C
Wintertemperatuur (koudste winterdag per jaar)	-9,2°C	-3,6 tot -7,0 °C	-1,4 tot -6,2 °C

Bron: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), geraadpleegd via Klimaateffectatlas https://www.knmi.nl/over-het-knmi/over

Voor constructieve ontwerpen worden de temperatuurwaarden overgenomen van Eurocodes.

Onshore Meteorological Design Basis [35] en Offshore Metocean Design Basis [36] worden, waar relevant, gebruikt als basis voor overwegingen met betrekking tot offshore temperatuurcondities.

4.2 Neerslag

Tabel 4-2 toont het jaarlijks gemiddelde neerslagvolume en gemiddelde winterse neerslagvolume in het huidige klimaat (1981-2010) en het klimaat in 2050 en 2085 (waarden voor het laagste (GL) en hoogste (WL) KNMI'14 klimaatscenario). Aanvullende informatie die betrekking heeft op verschillende herhalingstijden kunt u vinden op https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/.

Tabel 4-2 - Neerslag

Beschrijving	Huidig	2050	2085
Jaarlijkse neerslag (gem.)	850 – 900 mm	965 – 985 mm	980 – 1000 mm
Winterse neerslag (gem.)	200 – 225 mm	235 – 270 mm	240 – 290 mm

Bron: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) https://www.knmi.nl/over-het-knmi/over

4.3 Overstromingen

https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/

4.4 Windsnelheden

Voor een constructief ontwerp (op de haaienvin) wordt de basiswindsnelheid overgenomen uit de nationale bijlage van Eurocode 1991-1-4, waarbij windgebied II wordt gebruikt. Herhalingstijden die geschikt zijn voor de constructie, worden in overweging genomen.

Onshore Meteorological Design Basis [35] en Offshore Metocean Design Basis [36] worden, waar relevant, gebruikt als basis voor overwegingen met betrekking tot offshore windcondities.

4.5 Stromingen

Waterstromingen (met name bij de ontvangstschacht en de teen van de zeewering) worden gebaseerd op data in het rapport Offshore Metocean Design Basis, 2023, ref. NL-ARM-100_ARM1-100004 [36]

Getijdenstroomdata van Punt 1 worden gebruikt voor het FEED-ontwerp van de ontvangstschacht.

Tabel 4-3 - Richting van stroming bij extreem getijde bij Punt 1

Sectors		Data	Extreme Uc (m/s)						
			Return period (years)					Quantile	Max
		%	1	10	100	1000	10000	95%	40.0 yrs
Omnidirectional		100.0	0.68	0.71	0.73	0.76	0.78	0.49	0.72
N	0.0	0.3							
NNE	22.5	0.5							
NE	45.0	1.2	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.07	0.16
ENE	67.5	35.0	0.68	0.71	0.73	0.76	0.78	0.56	0.72
E	90.0	4.5	0.59	0.61	0.64	0.66	0.68	0.22	0.63
ESE	112.5	0.2							
SE	135.0	0.1							
SSE	157.5	0.1							
S	180.0	0.1							
SSW	202.5	0.1							
SW	225.0	0.4							
WSW	247.5	49.0	0.46	0.47	0.49	0.51	0.53	0.36	0.48
W	270.0	7.0	0.36	0.37	0.39	0.40	0.42	0.17	0.38
WNW	292.5	0.8							
NW	315.0	0.4							
NNW	337.5	0.3							

Tabel 4-4 - Maandelijkse stroming bij extreem getijde bij Punt 1

Month	Extreme Uc (m/s)						
	Return period (years)					Quantile	Max
	1	10	100	1000	10000	95%	40.0 yrs
annual	0.68	0.71	0.73	0.76	0.78	0.49	0.72
Jan	0.65	0.68	0.71	0.73	0.76	0.49	0.69
Feb	0.67	0.69	0.72	0.75	0.77	0.50	0.70
Mar	0.68	0.71	0.73	0.76	0.78	0.50	0.72
Apr	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.50	0.69
May	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75	0.49	0.66
Jun	0.67	0.69	0.72	0.75	0.77	0.48	0.71
Jul	0.65	0.67	0.70	0.73	0.75	0.49	0.66
Aug	0.67	0.69	0.72	0.75	0.77	0.50	0.67
Sep	0.68	0.70	0.73	0.76	0.78	0.50	0.68
Oct	0.67	0.70	0.73	0.75	0.78	0.50	0.71
Nov	0.67	0.69	0.72	0.75	0.77	0.49	0.71
Dec	0.66	0.69	0.71	0.74	0.76	0.49	0.70

Tabel 4-5 - Profiel van stroming bij extreem getijde bij Punt 1

Depth (m)	Extreme Uc (m/s)						
	Return period (years)					Quantile	Max
	1	10	100	1000	10000	95%	40.0 yrs
-0.0	0.77	0.81	0.84	0.87	0.90	0.56	0.82
5.0	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.53	0.77
6.5	0.70	0.73	0.76	0.79	0.81	0.51	0.74
1m above seabed	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.39	0.57

Bronnen met aanvullende informatie over stroomsnelheden zijn o.a.:

- 'diamonds'" op de relevante Admiralty Chart (8015).

- UK Hydrographic Office Total Tide (slechts 2 datapunten binnen 1 km van de locatie van de herstelschacht van de TBM).
- https://www.portofrotterdam.com/nl/actuele-informatie/weer-getijde-en-waterdiepte
- https://gis.portofrotterdam.com/apps/mcs_alat/

Opmerking: bij de huidige voorspellingen op basis van alleen getijden wordt geen rekening gehouden met milieuaspecten (wind, golven, vloedgolven) en de invloed op de grootte en richting van getijdenstromingen.

4.6 Waterstanden

Waterstanden op de locatie worden overgenomen van het rapport Offshore Metocean Design Basis, 2023, ref. NL-ARM-100_ARM1-100004.

Tabel 4-6 toont de getijdenniveaus voor de dichtstbijzijnde onshore Standard Harmonic Post (1510, Europahaven) en het dichtstbijzijnde offshore datapunt van UK Hydrographic Office Total Tide dat beschikbaar is (Europlatform). Aanvullende informatie die betrekking heeft op verschillende waterstanden kunt u vinden via UK Hydrographic Office Total Tide: https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/

Tabel 4-6 - Getijdenniveaus

Beschrijving	Niveau (in meters, kaartniveau) Europahaven	Niveau (in meters, kaartniveau) Europlatform
Hoogste astronomisch getij (HAT)	+3,0	+2,6
Gemiddeld hoogwater spring (MHWS)	+2,4	+2,2
Gemiddeld zeeniveau	1,07	1,12
Gemiddeld laagwater spring (MLWS)	0,3	0,3
Laagste astronomisch getij (LAT)	-0,2	-0,0

Bron: UK Hydrographic Office Total Tide

Extreme waterstanden voor de ontvangstschachtlocatie, overgenomen van de Offshore Metocean Design Basis worden hieronder in Tabel 4-7 getoond.

Tabel 4-7 - Extreme waterstanden bij Punt 1

Data	Return period (years)					Max 40-y
	1	10.0	100.0	1000.0	10000.0	
positive level (m/LAT)	3.73	4.22	4.72	5.21	5.7	4.52
negative level (m/LAT)	-0.64	-0.95	-1.31	-1.67	-2.04	-1.11
positive surge (m)	1.77	2.4	3.06	3.72	4.38	2.73
negative surge (m)	-1.14	-1.49	-1.88	-2.28	-2.67	-1.86

4.7 Golfklimaat

Golfklimaatdata op de locatie worden overgenomen van het rapport Offshore Metocean Design Basis, 2023, ref. NL-ARM-100_ARM1-100004.

Deze data kunnen worden aangevuld met extra gegevens van verschillende sets golfmeetboeien rond het gebied. Deze kunnen worden aangeschaft om een schatting te maken van extreme gebeurtenissen (indien van toepassing):

- Op locatie 'P2', enkele mijlen offshore (bron: DHI MetOcean on Demand).
- In de haveningang van de haven van Rotterdam (bron: Golfmetingen haven van Rotterdam - Svasek Hydraulics).

Golfklimaatdata van Punt 1 worden gebruikt voor het FEED-ontwerp voor de ontvangstschacht.

Afbeelding 4-1 Waarden per richting van extreme golven voor Hs & Tp bij Punt 1

Sectors		Data	Extreme Hs (m)							Associated Tp values (s)				
			Return period (years)					Quantile	Max	Return period (years)				
		%	1	10	100	1000	10000	95%	40.0 yrs	1	10	100	1000	10000
Omnidirectional		100	4.57	5	5.53	6.07	6.63	2.16	5.19	10.3	10.8	11.2	11.7	12.2
N	0	10.5	2.09	2.49	2.87	3.22	3.55	1.41	2.69	7.4	8.1	8.6	9.1	9.5
NNE	22.5	3.7	1.19	1.47	1.91	2.41	2.96	1.02	1.87	5.1	5.4	5.9	6.3	6.8
NE	45	1.5	0.81	1.11	1.43	1.75	2.08	0.83	1.35	3.5	4.1	4.7	5.2	5.6
ENE	67.5	1	0.71	0.98	1.26	1.54	1.81	0.71	1.29	3.3	3.9	4.4	4.8	5.3
E	90	0.7												
ESE	112.5	0.6												
SE	135	0.7												
SSE	157.5	0.7												
S	180	0.8												
SSW	202.5	1	0.94	1.15	1.37	1.57	1.77	0.81	1.27	3.8	4.2	4.6	4.9	5.2
SW	225	2.2	1.29	1.69	2.13	2.58	3.02	1	2.04	6.4	7.1	7.8	8.4	9
WSW	247.5	9.1	2.1	2.38	2.66	2.93	3.18	1.43	2.48	7.7	8.1	8.4	8.8	9.1
W	270	19.6	3.28	3.93	4.67	5.4	6.11	2.08	4.37	8.6	9.2	9.8	10.4	10.9
WNW	292.5	12.4	4.09	4.65	5.15	5.59	5.99	2.68	4.85	9.2	9.7	10.1	10.5	10.8
NW	315	17.4	4.57	5	5.53	6.07	6.63	2.94	5.19	10.4	10.8	11.2	11.7	12.1
NNW	337.5	17.9	3.63	4.31	4.92	5.46	5.96	2.07	4.7	9.8	10.5	11	11.5	11.9

Afbeelding 4-2 Waarden per richting van extreme golven voor THmax, Hmax & Cmax bij Punt 1

		Extreme THmax (s)					Extreme Hmax (m)					Extreme Cmax (m)				
Sectors		Return period (years)					Return period (years)					Return period (years)				
		1	10	100	1000	10000	1	10	100	1000	10000	1	10	100	1000	10000
Omnidirectional		9.48	9.94	10.30	10.76	11.22	7.76	9.01	10.06	11.00	11.90	4.96	5.90	6.69	7.41	8.10
N	0.0	6.81	7.45	7.91	8.37	8.74	3.55	4.49	5.22	5.84	6.37	2.27	2.94	3.47	3.93	4.34
NNE	22.5	4.69	4.97	5.43	5.80	6.26	2.02	2.65	3.48	4.37	5.31	1.29	1.73	2.31	2.94	3.62
NE	45.0	3.59	3.77	3.96	4.14	4.23	1.38	2.00	2.60	3.17	3.73	0.88	1.31	1.73	2.14	2.54
ENE	67.5	2.85	3.04	3.31	3.50	3.68	1.21	1.77	2.29	2.79	3.25	0.77	1.16	1.52	1.88	2.21
E	90															
ESE	112.5															
SE	135															
SSE	157.5															
S	180															
SSW	202.5	2.85	3.04	3.22	3.31	3.50	1.60	2.07	2.49	2.85	3.18	1.02	1.36	1.66	1.92	2.16
SW	225.0	5.89	6.53	7.18	7.73	8.28	2.19	3.05	3.88	4.68	5.42	1.40	1.99	2.58	3.15	3.69
WSW	247.5	7.08	7.45	7.73	8.10	8.37	3.57	4.29	4.84	5.31	5.71	2.28	2.81	3.22	3.57	3.88
W	270.0	7.91	8.46	9.02	9.57	10.03	5.57	7.08	8.50	9.79	10.97	3.56	4.64	5.65	6.59	7.46
WNW	292.5	8.46	8.92	9.29	9.66	9.94	6.95	8.38	9.37	10.13	10.75	4.44	5.49	6.23	6.82	7.32
NW	315.0	9.57	9.94	10.30	10.76	11.13	7.76	9.01	10.06	11.00	11.90	4.96	5.90	6.69	7.41	8.10
NNW	337.5	9.02	9.66	10.12	10.58	10.95	6.16	7.77	8.95	9.90	10.70	3.94	5.08	5.95	6.66	7.28

Afbeelding 4-3 Maandelijkse waarden van extreme golven voor Hs & Tp bij Punt 1

	Extreme Hs (m)							Associated Tp values (s)				
Month	Return period (years)					Quantile	Max	Return period (years)				
	1	10	100	1000	10000	95%	40.0 yrs	1	10	100	1000	10000
annual	4.57	5	5.53	6.07	6.63	2.16	5.19	10.3	10.8	11.2	11.7	12.2
Jan	4.57	5	5.53	6.07	6.63	2.75	4.94	10.3	10.8	11.2	11.7	12.2
Feb	4.42	4.83	5.34	5.87	6.4	2.48	4.95	10.2	10.6	11.1	11.5	12
Mar	4	4.37	4.83	5.31	5.79	2.2	4.54	9.8	10.1	10.6	11	11.5
Apr	4.2	4.59	5.08	5.58	6.09	1.82	4.77	10	10.4	10.8	11.3	11.7
May	3.56	3.9	4.31	4.73	5.17	1.55	4.05	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9
Jun	3.38	3.69	4.08	4.49	4.9	1.49	3.84	9.1	9.4	9.9	10.3	10.7
Jul	3.99	4.36	4.82	5.3	5.79	1.46	4.53	9.8	10.1	10.6	11	11.5
Aug	3.68	4.02	4.45	4.89	5.34	1.64	4.18	9.4	9.8	10.2	10.7	11.1
Sep	3.92	4.28	4.73	5.2	5.68	2	4.45	9.7	10.1	10.5	10.9	11.4
Oct	4.27	4.67	5.16	5.67	6.19	2.26	4.85	10	10.4	10.9	11.4	11.8
Nov	4.51	4.93	5.46	6	6.54	2.51	5.13	10.3	10.7	11.2	11.7	12.1
Dec	4.57	5	5.53	6.07	6.63	2.63	5.19	10.3	10.8	11.2	11.7	12.2

Afbeelding 4-4 Maandelijkse waarden van extreme golven voor THmax, Hmax & Cmax bij Punt 1

	Extreme THmax (s)					Extreme Hmax (m)					Extreme Cmax (m)				
Month	Return period (years)					Return period (years)					Return period (years)				
	1	10	100	1000	10000	1	10	100	1000	10000	1	10	100	1000	10000
annual	9.48	9.94	10.30	10.76	11.22	7.76	9.01	10.06	11.00	11.90	4.96	5.90	6.69	7.41	8.10
Jan	9.48	9.94	10.30	10.76	11.22	7.76	9.01	10.06	11.00	11.90	4.96	5.90	6.69	7.41	8.10
Feb	9.38	9.75	10.21	10.58	11.04	7.51	8.71	9.72	10.64	11.49	4.80	5.70	6.46	7.16	7.82
Mar	9.02	9.29	9.75	10.12	10.58	6.79	7.88	8.79	9.62	10.39	4.35	5.16	5.84	6.48	7.07
Apr	9.20	9.57	9.94	10.40	10.76	7.13	8.27	9.25	10.11	10.93	4.56	5.42	6.15	6.81	7.44
May	8.56	8.92	9.29	9.66	10.03	6.05	7.03	7.84	8.57	9.28	3.87	4.60	5.21	5.77	6.32
Jun	8.37	8.65	9.11	9.48	9.84	5.74	6.65	7.43	8.14	8.79	3.67	4.35	4.94	5.48	5.99
Jul	9.02	9.29	9.75	10.12	10.58	6.78	7.86	8.77	9.61	10.39	4.33	5.14	5.83	6.47	7.07
Aug	8.65	9.02	9.38	9.84	10.21	6.25	7.25	8.10	8.86	9.58	4.00	4.74	5.38	5.97	6.52
Sep	8.92	9.29	9.66	10.03	10.49	6.66	7.71	8.61	9.43	10.19	4.26	5.05	5.72	6.34	6.94
Oct	9.20	9.57	10.03	10.49	10.86	7.25	8.42	9.39	10.28	11.11	4.64	5.51	6.24	6.92	7.56
Nov	9.48	9.84	10.30	10.76	11.13	7.66	8.89	9.94	10.88	11.74	4.90	5.82	6.61	7.32	7.99
Dec	9.48	9.94	10.30	10.76	11.22	7.76	9.01	10.06	11.00	11.90	4.96	5.90	6.69	7.41	8.10

4.8 Topografie

De nieuwste topografische onderzoeksinformatie voor de projectlocatie (met name de haaienvin-locatie) is afkomstig van Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

4.9 Bathymetrie

De beschikbare data worden momenteel grondig onderzocht. Naar verwachting zullen de waterdiepten 14 tot 20 m zijn. Naar verluidt zijn er geofysische profielonderzoeken van de zeebodem beschikbaar en de nieuwste beschikbare bathymetriedata voor het project zijn door de Aannemer in CAD-formaat aangeleverd [31].

Bronnen voor aanvullende informatie over bathymetrie omvatten o.a.:

- https://gis.portofrotterdam.com/apps/mcs_alat/
- Admiralty Chart (8105)
- Navionics ChartViewer.

5 GEOLOGISCHE EN GEOTECHNISCHE INPUT

De volgende documenten worden gebruikt bij de voorlopige geotechnische beoordeling en bij het afleiden van geotechnische parameters en grondwatercondities die nodig zijn voor de tunnel, het schachtontwerp en de stabiliteitsbeoording van de zeewering:

- Aramis Ground Investigation Report, 20.09c.2023: 100111091-RP-0003 [A]
- Aramis Sea Defence Stability Assessment, 08.09.2023: 100111091-RP-0005 [A]
- Aramis Pre-FEED Studies - UXO Review, 07.09.2023: 100111091-TN-0002
- Aramis Pre-FEED Studies - Abrasivity Analysis, 06.09.2023: 100111091-TN-0006
- Aramis Landfall and Nearshore Pipeline Route Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results - NL-ARM-100-ARM1-100013

Op het moment dat deze ontwerpbasis voor het eerst werd uitgegeven, werd een kloofanalyse van het bovenstaande uitgevoerd om een overzicht te krijgen van alle ontbrekende data die nodig zijn om het FEED-ontwerp voor de tunnel, de schachten en de stabiliteitsanalyse van de zeewering te kunnen maken. Na afronding van de kloofanalyse werd aanvullende documentatie geïdentificeerd als zijnde relevant voor het project en in overweging genomen tijdens FEED.

- PORTHOS Project, Maasgeul Crossing, Dutch Sector, North Sea, Investigation Results, Geotechnics - TROF-ENG-GEO-FUG-REP-0001 Fugro Document No. P905721/01 Issue 2

Het Geotechnical Investigation Report (GIR) en het Geotechnical Design Report (GDR) worden uitgevoerd in overeenstemming met:

- NEN EN 1997, Eurocode 7 – Geotechnisch ontwerp, CEN

Het Geotechnical Baseline Report (GBR) wordt uitgevoerd in overeenstemming met:

- CIRIA C807 – Geotechnical Baseline Reports: a guide to good practice, Feb 2023.

5.1 Geologie

Ondergrondse geologische modellen van DINOloket (2024) zijn beoordeeld en accentueren uitgebreide dekking van de getijde-afzetting Naaldwijk Formatie rond de vindplaats, met een smalle doorgang van rivierafzettingen die horen bij de Kreftenheye Formatie, direct offshore van de haaienvin in de vaargeul van de Maasmond. Deze afzetting is waarschijnlijk ontstaan door verwijdering van Naaldwijk-afzetting door regelmatige baggeractiviteiten.

De stratigrafie van de Noordzee Supergroep is gebaseerd op het gebruik van het lithostratigrafische raamwerk van Rijkdijk et al. (2005), terwijl de locatie Maasvlakte zich in het conceptuele model dichtbij de kust, onder de lagen Naaldwijk en Kreftenheye, bevindt. Er is een grote onregelmatigheid waargenomen tussen de bovenste tot middelste Kreftenheye Formatie (waarbij opvalt dat basale klei/veen afwezig is) en de Winterton Shoal Formatie.

De vindplaats bevindt zich aan de zuidelijke rand van het verzakkende zuidelijke Noordzeebekken en er heeft zich een dikke opeenvolging (>200 m) van laat-pleistocene fluviatiele en mariene afzettingen opgehoopt. De Winterton Shoal Formatie is de belangrijkste oorzaak van deze opeenvolging. De rest van het Onder-Pleistoceen en het hele Midden-Pleistoceen is afwezig, waarbij de Boven-Pleistocene Kreftenheye Formatie ondoordringbaar op de Onder-Pleistocene afzettingen rust.

Tijdens de latere periode van het Midden-Pleistoceen rukte de saaliene ijskap net ten noorden van de vindplaats op en werd de loop van de Rijn, die voorheen door het midden van Nederland stroomde, verlegd naar het Zuiderzeebekken. De verlegde loop van de Rijn doorkruiste het vindplaatsgebied, waardoor eerdere afzettingen mogelijk werden geërodeerd. (Rijsdijk. K.F., 2005). De basis van de Kreftenheye Formatie is onregelmatig als gevolg van dit proces, en de bestaande informatie suggereert dat de top van de Winterton Shoal Formatie mogelijk plaatselijk de tunnelbodem doorkruist.

Tijdens het vroege Holoceen, als reactie op de stijging van de zeespiegel na de ijstijd, werd de Rijnvallei slecht gedraineerd door een verlies van gradiënt, en was er een periode van veenophoping bovenop de fluviatiele sedimenten vóór de grote holocene mariene transgressie (Rijsdijk. K. F., 2005). Als gevolg van deze transgressie volgden kustafzettingen uit zee en lagunes de veenlaag op. Deze afzettingen vormen de Naaldwijk Formatie. De grens tussen de Naaldwijk Formatie en de Kreftenheye Formaties vormt een verandering in afzettingscondities als gevolg van de vroeg-holocene maritieme transgressie, in plaats van een onregelmatigheid (Rijsdijk. K.F., 2005). De twee formaties hebben waarschijnlijk verschillende geotechnische kenmerken als gevolg van deze verandering in afzettingscondities.

Het grootste deel van de Naaldwijk Formatie (voor zover aanwezig en niet verstoord door baggerwerkzaamheden voor de scheepvaart), is hoofdzakelijk kust- en laguneafzetting, sterk beïnvloed door sedimenttransport langs de monding van de Rijn (Rijsdijk. K.F., 2005). Er kunnen getijdengeulen aanwezig zijn, alsook dunne veenlagen die tijdelijke kwelders aangeven. De kustbarrière die de lagunaire sedimenten scheidt van de open mariene afzettingen in Nederland bevindt zich ten noorden van het Rijnkanaal aan de oostkant van het vindplaatsgebied.

Mott MacDonald heeft in september 2023 een vroege geotechnische interpretatie uitgevoerd voor de pre-FEED-onderzoeken voor het Aramis-project. Het Ground Investigation Report (GIR) dat door Mott MacDonald werd opgesteld (100111091-RP-0003) bevat informatie uit eerdere rapporten van Fugro (2022, 2019), Deltares (2018), en RPS Group (2022) en moet daarom beschouwd worden als pre-FEED en zelfs eerder. In het Ground Investigation Report van Mott MacDonald uit 2023 werd ook verwezen naar informatie uit het grondonderzoek van Fugro uit 2023, dat nog aan de gang was tijdens de publicatie van het GIR van 2023 door Mott MacDonald en dus onvolledig was op het moment van schrijven. Dit rapport zal samen met het voltooide geofysische en geotechnische grondonderzoek van Fugro uit 2023 worden gebruikt, samen met digitale geologische en geotechnische gegevens die in AGS-formaat aan de auteurs zijn verstrekt (Fugro, 2023). Er zijn geen aanvullende verstorende of niet-verstorende bodemonderzoeken uitgevoerd en geen aanvullende onderzoeksdata verstrekt.

5.2 Grondwater

Grondwaterniveaus zijn beoordeeld en geïnterpreteerd op basis van de feitelijke grondonderzoeksdata in het grondonderzoeksrapport (Aramis Ground Investigation Report, 20.09c.2023: 100111091-RP-0003 [A]).

Tijdens de eerste handmatige uitgravingen van de proefboringen werden drie grondwaterlagen aangetroffen, wat een boven- en ondergrens opleverde voor het grondwaterniveau op land van respectievelijk 1,2 en 1,4 mBGL (2,5 tot 2,7 mLAT). Het grondwater werd niet gecontroleerd en is mogelijk gemaskeerd door de steunvloeistof tijdens het boren (Fugro, 2023). Het grondwater is zout, met een zoutconcentratie van 30.000 ppm, wat een watergewicht per eenheid oplevert van 1,03 kg/l of 10,1 kN/m3.

De ontwerpgrondwaterniveaus voor de zeewering, hoofdtunnel en ontvangstschacht zijn als volgt gedefinieerd:

- Hoogste astronomisch getij (HAT) - +2,6 mLAT
- Gemiddeld hoogwaterspring (MHWS) - +2,2 mLAT
- Gemiddeld zeeniveau - +1,12 mLAT
- Gemiddeld laagwaterspring (MLWS) - +0,3 mLAT
- Laagste astronomisch getij (LAT) - 0,0 mLAT

Er is een kloofanalyse uitgevoerd op de verstrekte data en de volgende uitkomsten zijn geconstateerd met betrekking tot het grondwater:

- Grondwatermonitoring: op dit moment zijn er geen digitale data voor grondwatermonitoring op de lange termijn beschikbaar, hoewel er in 100111091-RP-0003 melding wordt gemaakt van monitoring gedurende meerdere jaren. Deze data zijn nodig om inzicht te krijgen in de vereisten voor waterdichtheid, ontwatering en gedetailleerd ontwerp tijdens de ontwerp-, inkoop- en bouwfase. Verdere langetermijnmonitoring van grondwaterniveaus op de locatie van de schacht is nodig om inzicht te krijgen in de variatie in de tijd, de slechtst denkbare niveaus op korte en lange termijn en de relatie met getijdenvariaties.
- Doorlatendheid van de grondmassa: alle doorlatendheidsproeven tot op heden zijn uitgevoerd op kleine laboratoriummonsters, waardoor de doorlatendheid van de grondmassa waarschijnlijk wordt onderschat, aangezien deze meestal wordt gedomineerd door de meest doorlatende bodemlagen. Deze data zijn nodig om inzicht te krijgen in de vereisten voor waterdichtheid, ontwatering en gedetailleerd ontwerp tijdens de ontwerp-, inkoop- en bouwfase. In-situ permeabiliteitstesten zijn nodig om de invloed van macroschaalstructuren van bodems te begrijpen.

6 AANNAMES EN RESTRICTIES

6.1 Status van raakvlakontwerp door anderen

Ten tijde van de uitgave van versie 02 van deze Basis of Design zijn de volgende in Tabel 6-1 vermelde documenten beschikbaar gesteld aan de Consultant en gebruikt om aannames en restricties in de paragrafen 6.2 en 6.3 te bevestigen.

Tabel 6-1 – Documenten inzake ontwerp pijpleiding

ID	Documentnummer	Document
1	NL-ARM-040-PTC1-110261_01_IFR_20240531	Site layout drawings
2	NL-ARM-040-PTC1-110262_00_IFR_20240605	Shark Fin Layout Arrangement Justification Note
3	NL-ARM-040-PTC1-110265_01	Shaft Location Selection Note
4	NL-ARM-040-PTC1-113851_01_IFD_20240610	Pipeline Shore Pull-In Analysis
5	NL-ARM-040-PTC1-113852_01	PIPELINE SHORE LANDING METHOD STATEMENT
6	NL-ARM-040-PTC1-113853_Rev00	Pipeline Shore Crossing and Tunnel Profile
7	NL-ARM-040-PTC1-113854_00	Pulling Facility Site Layout Drawings
8	NL-ARM-040-PTC1-113855_A	Offshore Tunnel Entrance Drawings - Reception Pit for TBM Retrival
9	NL-ARM-040-PTC1-113856_00	Offshore Pipeline Pull In Operation Drawings
10	NL-ARM-040-PTC1-113859_00_IFR_20240523	OFFSHORE PIPELINE PULL IN CONSTRUCTABILITY REPORT
11	NL-ARM-040-PTC1-113860_00_IFR_20240610	Offshore Pipeline Pull-in Operation – Sheave Support Structure Design Report
12	NL-ARM-040-PTC1-113861_01_IFA_20240607	Landfall and Tunnel Integrity Philosophy
13	NL-ARM-040-PTC1-114070_00_IFR_20240607	Landfall Construction Concept Selection Technical Note

6.2 Aannames

Dit zijn de aannames voor het project:

- Golfslagbreker: de stroomopwaartse grens is de schacht ter hoogte van het gebied dat de 'haaienvin' wordt genoemd, waar de zeeweringkruising begint (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [14]) en waar het tunnelontwerp grenst aan de pijpleiding van de aanlandingsinstallatie. Stroomafwaarts eindigt de scope bij de ontvangstschacht op 2 km van de tunnelschacht, na het kruisen van de Maasgeul (zie Paragraaf 1.5 - Informatiebron [1]),
- Ontwerplevensduur: de vereiste ontwerplevensduur voor de Aramis-pijpleiding is 30 jaar. Echter, zoals geadviseerd in de Scope of Work (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [1]) wordt de impact van techniek en kosten van een verlenging van de ontwerplevensduur van 30 naar 100 jaar, waardoor mogelijk hergebruik aan het einde van Aramis mogelijk wordt, worden overwogen. Voor het huidige FEED-ontwerp wordt uitgegaan van een levensduur van 30 jaar.

- Data CO2-pijpleiding: Tabel 6-2 - Data CO2-pijpleiding wordt weergegeven voor het identificeren van potentiële tunnelrestricties die voortkomen uit het ontwerp van de CO2-pijpleiding en om te helpen bij het tunnelontwerp.
- De CO2-pijpleiding wordt geïnstalleerd door middel van oplieren of intrekken van offshore naar onshore, overeenkomstig de Pipeline Shore Method Statement (NL-ARM-040-PTC1-113852 waarnaar wordt verwezen in paragraaf 6.1).
- De lierbelasting is een trekkracht van 800 ton zoals vermeld in diverse rapporten van de Pipeline Designer (NL-ARM-040-PTC1-113851, NL-ARM-040-PTC1-113852, NL-ARM-040-PTC1-113859, NL-ARM-040-PTC1-113860, zoals vermeld in paragraaf 6.1). Er moet rekening worden gehouden met individuele liersteunreacties zoals beschreven in NL-ARM-040-PTC1-113860.
- De schacht en tunnel moeten worden ontworpen met een ontwerplevensduur van 30 jaar. De ontvangstschacht is een tijdelijke constructie en is alleen open gedurende de looptijd van deze werkzaamheden. Elke schacht wordt weer opgevuld en de werkzaamheden worden beëindigd na voltooiing van de installatie van de pijpleiding. Er worden opmerkingen gemaakt over de gevolgen van een mogelijke verlenging van de ontwerplevensduur van de schacht en de tunnel van 30 tot 100 jaar, in overeenstemming met de aanpak die voor de pijpleiding is gekozen.
- De grenzen van de vaargeul (gegarandeerde nautische diepte) moeten tot 25 m voorbij de grenzen van de vaargeul worden gehandhaafd.
- Voor zover praktisch uitvoerbaar moeten bouwmethoden worden overwogen die aannemerneutraal' zijn en waarbij rekening wordt gehouden met lokale bouwmethoden, inclusief Nederlandse gebruiken.

Tabel 6-2 - Data CO2-pijpleiding

Relevantie	Parameter	Waarde
Operationele data	Druk pijpleidingontwerp	200 barg op +5 m ten opzichte van NAP (het niveau waarop de ontwerpdruk is gespecificeerd, wordt verondersteld het gemiddelde terreinniveau te zijn waar het compressorstation zal worden gesitueerd (Maasvlakte)).
	Maximale werkdruk pijpleiding	180 barg op +5 m ten opzichte van NAP
	Ontwerptemperatuur pijpleiding	Maximaal 70 °C, minimum is -25 °C
Ontwerpdata pijpleiding	Materiaal pijpleiding	Normaal koolstofstaal van materiaalkwaliteit L450 (equivalent van X65)
	Nominale uitwendige diameter pijpleiding	32 inch
	Negatieve productietolerantie	-1,0 mm (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [11])

Relevantie	Parameter	Waarde
	Corrosietoeslag	3 mm
	Coating pijpleiding	10 mm (3LPP)
	Max. waterdiepte	40 m
Staaleigenschappen pijpleiding	Staaldichtheid (kg/m^3)	7850
	Elasticiteitsmodulus (MPa)	2,07·x10^5
	Poisson-factor	0,3
	Pijpleidingspecificaties & materiaalkwaliteit	Koolstofstaal - L450 conform ISO 3183

6.3 Restricties

Restricties die voortvloeien uit raakvlakontwerpen door de Pipeline Consultant voor zaken die buiten de scope van de tunnel-FEED vallen (inclusief plannen voor installatie, exploitatie, onderhoud en bovengrondse infrastructuur van pijpleidingen) zijn aan de Consultant verstrekt in de documenten die zijn samengevat in paragraaf 6.1.

Er zal voldoende aandacht worden besteed aan de uitstoot van stikstofoxiden (NOx) als gevolg van het project voor zover dit verband houdt met de scope van de tunnel-FEED, waarbij rekening wordt gehouden met de lokale regelgeving die voorschrijft dat de bouw waar mogelijk moet worden geëlektrificeerd (op te nemen als selectiecriterium wanneer opties worden vergeleken). Op deze basis wordt ervan uitgegaan dat de TBM wordt geëlektrificeerd als een restrictie.

De belangrijkste restricties voor het tunnelprofiel die al zijn vastgesteld, staan vermeld in Tabel 6-3 - Projectrestricties (zoals vastgesteld in Paragraaf 1.5 - Informatiebron [1]).

Tabel 6-3 - Projectrestricties

Restrictie	Omschrijving restrictie	Ontwerpoverweging
Voorzieningen voor het herverpakken van explosieven	Het gebied voor het herverpakken van explosieven grenst aan de locatie. Er geldt een uitsluitingszone voor delen van de 'haaienvin'-locatie, waarin geen bebouwing is toegestaan.	Bij de ontwikkeling van de locatie voor permanente werkzaamheden moet hiermee rekening worden gehouden, zodat er geen permanente bebouwing in de uitsluitingszone komt te staan.
Toegang tot de locatie	De 'haaienvin'-locatie wordt momenteel ontsloten via een geasfalteerde toegangsweg (Pr. Maximaweg) vanaf de Maasvlakteweg die naast de locatie loopt.	Voorgestelde bouwmethode om rekening te houden met toegangsrestricties.

Restrictie	Omschrijving restrictie	Ontwerpoverweging
Vaargeul	Restricties op het werken in de vaargeul schrijven voor dat de oversteek van CO2-pijpleiding plaatsvindt middels een sleufloze methode. Restricties op het werken in de Maasgeul (ongeveer 1350 m) schrijven voor dat de oversteek van de CO2-pijpleiding plaatsvindt middels een sleufloze methode. Het is verplicht om de gegarandeerde nautische diepte binnen de Maasgeul en de Markeerdiepte buiten de Maasgeul te handhaven.	Door het gebruik van een tunnel zijn er geen werken nodig binnen de vaargeul of die de vaargeul beïnvloeden. Het ontwerp moet worden ontwikkeld in overeenstemming met de eisen volgens NEN 3651. Raadpleeg Tabel 6-4
Natura 2000	Grenzend aan de Maasvlakteweg bevindt zich het Natura 2000-gebied Voordelta.	De tunnelconstructie gaat zonder impact onder dit gebied door. Er moet rekening worden gehouden met de impact van werkzaamheden bij de haaienvin en de tunnelontvangstschacht.
Zeewering	De zeewering rond de locatie wordt beschouwd als een primaire waterkering.	Raadpleeg Tabel 6-4
TenneT-kabels	TenneT-kabels die begraven liggen in de zeebodem, worden doorkruist door de tunnel.	Raadpleeg Tabel 6-4
PORTHOS-project	Het PORTHOS-project ligt vlak bij de werkzaamheden.	De klant beheert het interfaceplan
UXO	De zeebodem in het gebied is een bekend hoogrisicogebied met niet-ontplofte munitie en vormt als zodanig een aanzienlijke beperking voor de locatie van maritieme werkzaamheden en ondiepere gedeelten van de tunnels en werkzaamheden aan de haaienvin (met name de constructie van schachten).	Raadpleeg Paragraaf 1.5, Informatiebron [6])
NOx	Er wordt van uitgegaan dat de lokale wetgeving beperkingen oplegt aan de NOx-niveaus tijdens de bouw, in verband met de Natura 2000-gebieden (Voordelta en Solleveld & Kapittelduinen).	Onderzochte bouwmethodes in de haalbaarheidsrapportplanning worden overwogen als mogelijkheid voor geëlektrificeerde installaties. Arup zal de veronderstelde totale stroomafname bij benadering opgeven indien informatie beschikbaar is. TBM wordt geacht te worden geëlektrificeerd.

Restrictie	Omschrijving restrictie	Ontwerpoverweging
Andere bedrijfsmiddelen	Andere bedrijfsmiddelen op de zeebodem moeten worden geïdentificeerd.	Bij het ontwerp moet hiermee rekening worden gehouden en moeten eventuele extra bedrijfsmiddelen worden geïnventariseerd en moet de invloed hierop worden beoordeeld.

Op basis van de informatie waarnaar in Paragraaf 1.5, Informatiebron [3] wordt verwezen, is een samenvatting gemaakt van de minimale bedekking/vrije ruimte voor elke restrictie. Deze staat weergegeven in Tabel 6-4, die zal worden gevalideerd in het voorlopige ontwerp en het FEED-ontwerp.

Tabel 6-4 - Minimale vrije ruimte voor elk bedrijfsmiddel

Bedrijfsmiddel/Locatie	Criterium	Minimale dekking boven de kruin van de tunnel	Basis
Zeewering	Minimale vrije ruimte conform NEN 3651	3 m	De minimale bedekking boven de kruin van de tunnel is gebaseerd op NEN 3651, Paragraaf 8.1.6 Constructief ontwerp - Configuratie kruisingen en voorzieningen - Waterwegen.
	Zetting	6,5 m	Er wordt uitgegaan van maximaal 30 mm zetting op maaiveldniveau. 6,5 m is de voorlopige minimale afstand tussen de tunnelkruin en de zeewering. Deze restrictie wordt gevalideerd in het voorlopige ontwerp en het FEED-ontwerp.
	Hellingstabiliteit	N.v.t.	Geen indicatie om te beheren.
	Tunnelveiligheid/-stabiliteit	7 m	Er wordt uitgegaan van een minimum van ~2 diameters (verondersteld 3 m ID en 3,5 m OD), rekening houdend met de verstoorde grond van de installatie (baggeren) en de hoogte voor het overspannen met bovenstaande toeslag om een stabiel boorgat te houden. Als een kleinere vrije ruimte haalbaar wordt geacht, dan wordt dit voorgesteld.
	Definitieve waarde	**7 m**	**Maximum van bovenstaande**
Vaargeul	Minimale vrije ruimte conform NEN	4 m	NEN 3651 cl 8.1.6.2 – 2 m ankerzone en 2 m bufferzone
	Flotatie	10 m	Inclusief speling voor baggerwerk.
	Frontdruk/-stabiliteit	13 m	Minimum om voldoende buffer te creëren voor stabiliteitsdruk en blow-out. De stabiliteitsbeoordeling van de frontdruk bevestigt de minimale bovenlaag die nodig is tussen de tunnelkruin en de zeebodem.

Bedrijfsmiddel/Locatie	Criterium	Minimale dekking boven de kruin van de tunnel	Basis
	Definitieve waarde	**13 m (Zie opmerking 1)**	**Maximum van bovenstaande**
TenneT-kabels	Zetting	5 m	Veronderstelde maximale zetting van 50 mm - Nominale waarde op basis van ervaring. 5 m is de voorlopige minimale afstand tussen de tunnelkruin en de TenneT kabels. Deze restrictie wordt gevalideerd in het voorlopige ontwerp en het FEED-ontwerp. Hoekverdraaing van de TenneT-kabel wordt geverifieerd in het FEED-ontwerp.
	Definitieve waarde	**5 m**	**Maximum van bovenstaande**
Opmerking 1: in de Maasgeul wordt de zeebodem bekeken op basis van vergelijking tussen (1) gegarandeerde nautische diepte van -23,2 m LAT met een extra (over)baggermarge van 1,5 m zoals gedefinieerd in de Aramis FEED Basis of Design [30], en (2) actuele bathymetriedata die door de klant zijn verstrekt [31].			

7 ONTWERPMETHODEN EN ANALYSE

7.1 Schachten

7.1.1 Schachtlocatie, geometrie en afmetingen

Bepaling van de locatie is gebaseerd op overweging van de volgende parameters:

- Invloed op de zeewering, waaronder faalmodusanalyses, en de invloed van incidenten zoals het instorten van sleuven
- Diepte van de schacht
- Diameter van de schacht die nodig is voor die bouw (logistiek van de tunnelbouw en installatie van de pijpleiding, inclusief ondersteuning van de standpijp in de schacht, gebaseerd op de input van de Pipeline Designer)
- Diameter van schacht die nodig is voor de pijpleidinginfrastructuur
- Restricties op de locatie van de schacht, zoals vereist door anderen, zijn gedocumenteerd in de rapporten die zijn vermeld in paragraaf 6.1, waaronder:
    - Bovengrondse infrastructuur
    - Benodigde ruimte voor lierwerkzaamheden en voorkeurslocatie vanaf bouwlocatie
    - Operationeel en onderhoudsperspectief.

7.1.2 Constructietype en materialen

Er zal een kwalitatieve verkennend onderzoek worden uitgevoerd om de kosten en baten van verschillende constructieopties te beoordelen om aanbevelingen te kunnen doen aan de Aannemer en het Bedrijf.

De meest waarschijnlijke constructieopties zijn:

- Diepwand
- Prefab schachtsegmenten
- Stalen damwand
- Diepwandpeanut/caterpillar
- Ter plaatse gestorte caisson
- Stalen damwand met combiwanden

Aanvullende structurele schachtelementen, waaronder een structurele basisplaat, een interne secundaire bekledingswand en lokale verdikking rond de tunnelopening, worden onderzocht.

De schacht wordt zo ontworpen dat deze algeheel falen als gevolg van opwaartse druk kan doorstaan. De voorgestelde constructieopties worden beoordeeld en de behaalde veiligheidsfactor tegen opwaartse druk wordt gerapporteerd in een aparte technische notitie. Afhankelijk van de algehele veiligheidsfactor zullen ook noodmaatregelen tegen opwaartse druk worden beoordeeld, zoals jet-grouting, grondbevriezing, verticale en schuine ankers/trekpalen, schachtwandbaretten en de verlengde schachtteen, als een diepwandconstructie de voorkeursoptie is, en palen rond de schacht die vanaf het maaiveldniveau worden gebouwd.

De opties voor het opvullen van de schacht zijn:

- Zand
- Cementmortel
- Beton

7.1.3 Belastingsomstandigheden en -combinaties

Over het algemeen worden de schachten ontworpen volgens de relevante gedeelten van de Eurocodes voor constructies. Er is aanvullende informatie nodig met betrekking tot de extra belasting van de constructie (zoals de portaalkraan) die zich in de nabijheid van het schachtgedeelte bevindt en eventuele andere specifieke belastingsscenario's.

Belastingen met betrekking tot het ontwerp die buiten de scope van de tunnel-FEED vallen (bijv. trekbelasting voor het installeren van pijpleidingen) worden in aanmerking genomen indien deze zijn opgenomen in de ontwerprapporten van de pijpleiding in Paragraaf 6.1 (bijv. lierreacties). Als er geen specifieke vereisten zijn voor de belasting van de schacht, wordt uitgegaan van een gelijkmatige druk van 20 kPa rond de schacht zodat rekening kan worden gehouden met de algemene bewegingen van de installatie en de belasting van de schacht.

De schacht wordt ook ontworpen voor belasting door het doorpersen van de tunnelpijpleiding. Dit omvat o.a de effecten van cyclische belasting op de schachtwand.

Ongevalsscenario's omvatten overstromingen als gevolg van waterdoorbraak of iets soortgelijks.

7.1.4 Ontwerpmethoden en analyse

Aangenomen wordt dat de eerste berekeningen gebaseerd zullen zijn op eenvoudige handberekeningen. In latere stadia kan het nodig zijn om driedimensionale analysemodellen te maken om de effecten van onevenwichtige belastingen en de interactie tussen bodem en constructie te beoordelen.

7.1.5 Raakvlakken met andere constructies

Het schachtontwerp heeft raakvlakken met een aantal andere aspecten van het ontwerp, zoals hieronder opgesomd:

- Tunnelontwerp bij schachtwanden, waaronder verbindingsvereisten op het raakvlak van tunnel en schacht;
- Inbrengen en verwijderen van de TBM (geometrische restricties);

- Vereisten voor het installeren van de pijpleiding (gewichten van de pijpleiding, lierbelastingen, ruimtebeveiliging tijdens het installeren/lieren van de pijpleiding en het verwijderen van de pijpleiding uit de schacht en aansluiting op het afsluiterstation);
- Tijdelijke werkzaamheden op maaiveldniveau (onevenwichtige belasting door opslag van puin, opslag van schachtsegmenten, extreme belastingen door portaalkranen, andere hijsapparatuur zoals mobiele kranen).

7.2 Tunnel

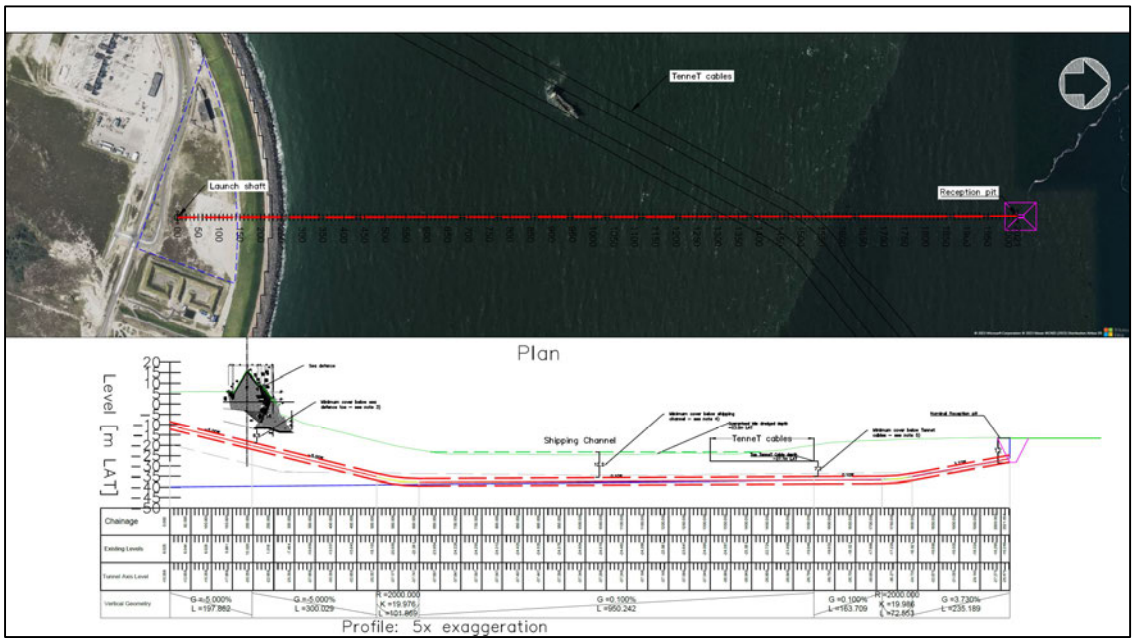
7.2.1 Tracé en lengteprofiel

Het horizontale tracé van de CO2-pijpleiding wordt bepaald met behulp van coördinaten van de Aannemer [27].

Het verticale tracé van de tunnel, zoals gepresenteerd in het pre-FEED-onderzoek (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [9]) en getoond in Afbeelding 7-1, wordt beschouwd als basis voor de FEED en de volgende restricties worden overwogen om een optimale locatie van de schacht en de ontvangstschacht te ontwikkelen:

- De minimale vrije ruimte tot de zeewering, vaargeul en TenneT-kabels wordt gedefinieerd overeenkomstig de NEN-normen.
- De minimale technische vereisten voor tunnelstabiliteit en toelaatbare zetting van bijbehorende constructies
- De minimale operationele vereisten en permanente vereisten voor pijpleidingen
- De toelaatbare hellingshoek in verband met de gekozen constructietechnieken en de installatie van de pijpleiding
- Optimalisatie van de tunnellengte, rekening houdend met de locatie van de schacht en de offshore locatie van de tunneluitgang.

Afbeelding 7-1 - Tunneltracé en lengteprofiel (pre-FEED)



7.2.2 Spaceproofing

Spaceproofing is de controle waarbij ervoor wordt gezorgd dat alle vereiste functies, zoals de plaatsing van CO2-pijpleidingen, de minimaal benodigde grootte voor de constructie en bediening voor het doorpersen en de TBM, in de uitgraving kunnen worden ondergebracht.

Volgens het document 'Tunnelling and Pipejacking: Guidance for designers' is een inwendige diameter van meer dan 1,8 m aanvaardbaar vanuit het oogpunt van gezondheid en veiligheid. Om de montage van segmentsgewijze bekleding mogelijk te maken, moet de minimale inwendige tunneldiameter voor een TBM volgens prEN 16191:2023(E) en Herrenknecht (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [3]) 3 m ID zijn om adequate veiligheidsuitrusting mogelijk te maken, zoals de schuilkamer en het veiligheidslooppad (minimale hoogte boven het looppadoppervlak is 1,5 m en minimale breedte het looppad is 0,6 m). Bovendien is in Europa een tolerantieradius voor de schildaandrijving gebruikelijk van R = 10cm , d.w.z. de diameter van de tunnel is 20 cm groter dan de vereiste interne bouwkundige grens (DAUB, 2013). De minimale inwendige tunneldiameter zal daarom tussen 3,1 en 3,2 m liggen.

7.2.3 Hybride oplossingsscenario's

Het ontwerp is gebaseerd op een hybride oplossing met een TBM, bestaande uit een gedeeltelijk doorpersde en gedeeltelijk segmentgewijs beklede tunnel met een slurryschild. Voor de hybride oplossing worden 3 varianten bestudeerd:

- ¿ Hybride 'vliegende start': een start van de tunnelbouw in doorpersmodus en overschakeling naar segmentsgewijze tunnelbouw na ca. 100-150 m: deze optie combineert de voordelen van doorpersen (snelle start en een kleinere schacht) en segmentsgewijze tunnelbouw (met veronderstelde hogere snelheid en lager risico op vastlopen).
- Hybride oplossing voor maximale uitvoeringssnelheid met een geplande omschakeling van doorpersen naar segmentsgewijze tunnelbouw na ca. 1000-1500 m: Deze optie resulteert in een kleine schacht en maximale verplaatsingssnelheid, ervan uitgaande dat de wrijvingsverliezen laag blijven in de verwachte grondcondities en de noodzaak voor tussentijds doorpersen zeer gering is.
- Overschakelen van doorpersen naar segmentsgewijze tunnelbouw op basis van de actuele productiesnelheid en de actuele wrijvingskrachten, zonder voorafgaande informatie over de exacte locatie: deze optie is gericht op het maximaliseren van de verplaatsingssnelheid door alleen over te schakelen wanneer dat nodig is, afhankelijk van de actuele productiesnelheid en de actuele wrijvingskrachten.

Het ontwerp is gericht op het optimaliseren van de locatie van de overschakeling van doorpersen naar de TBM, waarbij de volgende risico's worden afgewogen:

- Kosten
- Planning
- Personeel (verschillende bouwteams bij de overdracht)
- Veiligheid
- Technische risico's
- Inkoop van tunnelonderdelen en bijbehorende onzekerheden in het geval van een ongeplande omschakeling.

7.2.4 Belastingsomstandigheden

7.2.4.1 Statisch belasting

Het eigen gewicht van de belangrijkste constructiedelen en de hulpstukken wordt beschouwd als statisch gewicht. Niet-bouwkundige delen worden beschouwd als dynamische belasting. Het eigen gewicht van de prefab segmentsgewijze betonelementen (pijpleidingen en segmenten) wordt ingeschat aan de hand van materiaaleigenschappen.

Al het vul-/terugstortmateriaal wordt beschouwd als dynamische belasting. De veronderstelde kenmerken van het vulmateriaal worden aangegeven in het FEED-rapport.

7.2.4.2 Grondbelasting

De grondbelasting is gerelateerd aan het eigengewicht van de grond boven de tunnel. Het eigengewicht van de grond wordt gebaseerd op de geotechnische parameters die voor het project zijn gedefinieerd in Paragraaf 5.

7.2.4.3 Extern water

Voor het FEED-ontwerp wordt in eerste instantie aangenomen dat de grondwaterspiegel gelijk is aan het zeeniveau (aanname die tijdens de FEED moet worden geverifieerd op basis van de informatiebronnen waarnaar in dit document wordt verwezen). Tunnels worden zodanig ontworpen dat ze bestand zijn tegen de bijbehorende hydrostatische druk. Bij de hydrostatische druk wordt rekening gehouden met de beschikbare stroom- en getijdendata en de lengteprofielen die het verwachte maximale en minimale zeewaterpeil langs het tunneltracé weergeven.

7.2.4.4 Dynamische belasting

Niet-bouwkundige aanbouwdelen of interne elementen zoals pijpleidingen, mechanische, elektrische en loodgietersapparatuur, ventilatie, etc. worden beschouwd als dynamische belasting en dienen door anderen te worden gedefinieerd als input voor het tunnelontwerp of te worden uitgewerkt in een gedetailleerd ontwerp. Naar verwachting zullen niet-bouwkundige aanbouwdelen en inwendige elementen geen significante invloed hebben op het ontwerp, omdat ze in verhouding tot de externe belastingen op de tunnel meestal klein zijn.

7.2.4.5 Interne hydraulische druk

Interne wateroverdruk wordt beschouwd als een belastingsgeval als water de tunnel kan overstromen tijdens de bouw.

7.2.4.6 Ringsmering en grouten

Bij uitgravingen met doorpersing of machines met schilden wordt een ringvormige opening gevormd achter de vijzel of de staart van het schild van de TBM, die aan de binnenkant wordt begrensd door de bekledingssegmenten en aan de buitenkant door de omringende grond. De grootte van de door grouten ontstane opening wordt bepaald door de TBM en door het verschil in grootte tussen de doorpersbuizen en segmenten (gewoonlijk 400 mm vs. 250 mm voor vergelijkbare diameters). De grootte van de ringvormige opening is de som van oversnijding, coniciteit van de oppervlakte van de TBM, buisgeometrie en het ontwerp van de afdichting.

Belasting op de bekleding wordt gegenereerd bij het ringvormig aangieten of bij het vullen van deze ringvormige ruimte met halfvloeibare specie onder hoge druk. Ringvormig aangieten wordt uitgevoerd om de zettingen aan het grondoppervlak te controleren en te beperken en om een nauw contact tussen de ring/buizen en de grond te garanderen.

Om de ringvormige ruimte te vullen, moet de speciedruk in het algemeen groter zijn, tussen 1,5 en 2 bar boven de hydrostatische druk op de bekleding, in overeenstemming met ACI 544,7 en ITA WG2. De speciedruk moet tevens lager zijn de lithostatische druk om omhoog gaan te voorkomen, of falen van het omringende in-situ materiaal (blow-outs) te voorkomen.

Bij het doorpersen van pijpleidingen wordt gewoonlijk een smeerslurry gebruikt voordat de specie wordt aangebracht. Voor ontwerpdoeleinden wordt de druk die ontstaat door smering, gelijkgesteld aan de druk die ontstaat door het grouten.

7.2.4.7 Vijzelbelasting

De belasting die nodig is om de tunnel door te persen, is voornamelijk een kwestie van wrijvingskrachten die rond de tunnelsecties worden opgebouwd. Deze krachten zijn afhankelijk van de bodemsoort en de boogkarakteristieken, de wrijvingshoek, de diepte van de deklaag, het grondwater en eventuele extra belasting, de lengte en diameter van de door te persen buis en de tijd die nodig is voor de handeling.

Tussendrukstations worden ontworpen op basis van de methoden die in de ontwerprichtlijnen en -aanbeveling van de Pipejacking Association worden aangegeven. De vijzelbelasting wordt afgeleid op basis van de volgende condities: frontbelasting om het schild vooruit te duwen, eigengewicht van de doorpersbuizen, wrijving rond de doorpersbuizen door bodemafsluiting of onstabiele grond en foutieve uitlijning of tijdsvertragingen tijdens het doorpersen. Om het aantal tussendrukstations en de vijzelcapaciteit ervan te bepalen, wordt rekening gehouden met de maximale afstand in verhouding tot de grondwrijving en de maximaal toelaatbare druk op de buizen.

7.2.4.8 Cilinders van de TBM

De betonnen segmenten zijn onderhevig aan de krachten die door de TBM (via de cilinders) worden uitgeoefend. De TBM drukt op de ring die naar voren wordt gedrukt wanneer er één schild wordt gebruikt. Wanneer de TBM voortbeweegt met één mixschild/slurryschild, worden de segmenten niet blootgesteld aan significante krachten behalve de krachten die nodig zijn voor het bouwen van de ring.
Segmenten die worden blootgesteld aan belasting door de cilinders moeten worden bevestigd en gecontroleerd tijdens de FEED. Belastingen door het terughalen, stabiliteit aan het einde van de tunnel en pijpleidinginstallatiekrachten en alle daarmee samenhangende risico's moeten worden geanalyseerd.

7.2.4.9 Belastingsgevallen en -combinaties

In de FEED worden de volgende belastingsgevallen bekeken:

C1: eigengewicht

C2: grondbelasting

C3: externe waterdruk

C4: dynamische belasting

C5: intern water

C6: vijzelbelasting/TBM-belasting

C7: speciebelasting

C8: Accidentele stootbelasting tijdens terughalen TBM

Een overzicht van alle belastingscombinaties voor het tunnelontwerp is te vinden in Tabel 7-1.

Tabel 7-1 – Belastingen en belastingscombinaties

Belastingscombinaties - Ontwerp van bekleding	**UGT**	**BGT**
L1: C1+ C2 + C3	1,35D +1,35E + 1,2W_g	1D +1E +1W_g
L2: C1+ C2 + C3 + C4	1,35D + 1,35E + 1,2W_g + 1,5Q	1D +1E +1W_g + 1Q
L3: C1 +C2 + C3 + C5	0,9D + 0,9E + 0,9W_g + 1,2Wi	1D + 1E + 1W_g + 1Wi
L4: C1 +C2 + C3 + C6	1,35D + 1,35E + 1,2W_g + 1,5J	1D +1E +1W_g + 1J
L5: C1 + C7	1,35D + 1,5G	1D +1G
Belastingscombinaties - Opwaartse druk	**UPL**	
L6: C1+ C2 + C3	0,9D +0,9E + 1,1W_g	
Accidenteel geval		
L7: C1+ C2 + C3 +C8	1,0 D +1,0 E + 1,0W_g + A_L	

D=Statische belasting; E= Grondbelasting; W_g=Belasting van externe grondwaterdruk; Q=Dynamische belasting; W_i=Belasting van interne waterdruk; J=Belasting door vijzel of TBM; G=Belasting van speciedruk; A_L =Gevallen zware materialen stootbelasting met factortoepassing

Opmerking:

In een later stadium zullen belastingsgevallen voor toekomstige ontwikkelingen worden toegevoegd.

7.2.5 Materialen

De gebruikelijke beton- en wapeningskenmerken worden beschreven in respectievelijk Tabel 7-2 en Tabel 7-3. Andere eigenschappen die relevant kunnen zijn voor het ontwerp, staan vermeld in Tabel 7-4.

Het ontwerp van het betonmengsel moet voldoen aan de materiaal- en duurzaamheidseisen van de relevante codes en projectstandaarden (zoals Eurocodes 2 en NEN EN-1992). De waterdichtheids-, blootstellings- en chemische ontwerpklassen van de geprefabriceerde betonnen tunnelbekleding en de naleving van materiaal- en duurzaamheidsvereisten worden bepaald en opgenomen in de volgende fasen van de FEED als onderdeel van het ontwerpproces.

Betonblootstellingsklasse voor het buitengewelf van de tunnel zal naar verwachting XS2 zijn met een maximaal toegestane scheurwijdte van 0,20 mm. Bij gebruik van stalen wapening moet de minimale dekking voor duurzaamheid ($c_{min,dur}$) 45 mm zijn bij een ontwerplevensduur van 30 jaar.

Tabel 7-2 - Gangbare betoneigenschappen

Eigenschap	Symbool	Eenheid	Waarde
Sterkteklasse	-	-	C50/60
Gewichtseenheid	γ	kg/m3	2400
Karakteristieke druksterkte	f_{ck}	MPa	50
Ontwerp druksterkte	f_{cd}	MPa	50
Gemiddelde secans elasticiteitsmodulus (korte termijn)	E_{cm}	MPa	37277
Gemiddelde secans elasticiteitsmodulus (lange termijn)	E_{cmd}	MPa	18638
Poisson-factor	ν	-	0,2
Materiaalfactor beton	γ_c	-	1,5
Langetermijncoëfficiënt beton – Compressie	α_{cc}	-	0,85
Langetermijncoëfficiënt beton – Spanning	α_{ct}	-	1,00

Tabel 7-3 - Gangbare eigenschappen van staafwapening

Eigenschap	Symbool	Eenheid	Waarde
Staalkwaliteit	-	-	B500
Kenmerkende treksterkte van bewapening	f_{ck}	MPa	500
Ontwerp treksterkte van bewapening	f_{cd}	MPa	434,8
Elasticiteitsmodulus van bewapening	E_s	MPa	200000
Materiaalfactor betonstaal	γ_s	-	1,15

Tabel 7-4 - Gangbare eigenschappen voor andere elementen

Component	Beschrijving
Cirkelvormige pennen	Kern van staal of composiet, afhankelijk van de benodigde schuifcapaciteit, in overeenstemming met de relevante Eurocodevereisten
Stalen ring voor het doorpersen van pijpverbindingen	Staalkwaliteit S355, voor ontwerp in overeenstemming met NEN 1993

7.2.6 Ontwerpmethode - Selectie van kritieke secties in het ontwerp

In overeenstemming met het tracé en lengteprofiel van de tunnel worden verschillende ontwerpscenario's gedefinieerd. Bij het bepalen van de kritieke secties voor het ontwerp wordt rekening gehouden met de volgende factoren:

- Verandering in geologie;
- Verandering in deklaag (ondiepste en diepste sectie);
- Verandering in grondwaterniveau;

7.2.7 Ontwerpmethoden - Analyse van frontstabiliteit

De frontstabiliteit van de tunnel is van groot belang bij het doorpersen of bij uitgravingsmethoden voor segmentsgewijze bekleding. Bodembewegingen boven de tunnel kunnen schade veroorzaken aan bovengrondse constructies of leidingen. De bodemgesteldheid moet zorgvuldig worden beoordeeld om te kunnen anticiperen op mogelijke frontinstabiliteit, met name in bodems zonder cohesie onder de grondwaterspiegel, zachte klei, slib en gemengde bodems.

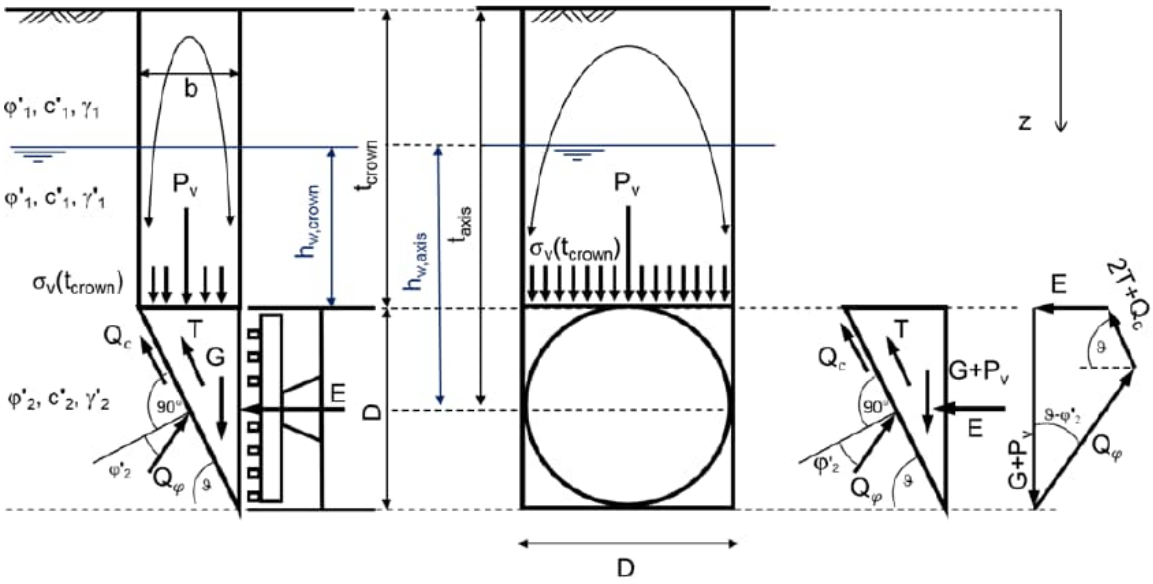
De evaluatie van het theoretische frontdrukbereik is gebaseerd op DAUB-document 'Recommendations for face support pressure calculations for shield tunnelling in soft ground', oktober 2016.

In de DAUB 2016 worden twee analytische methoden van de glijvlakmethode, te weten die van Anagnostou & Kovari (1994) en Jancsecz & Steiner (1994), voorgesteld om de vereiste ondersteuningsdruk te bepalen als gevolg van de optredende gronddruk of door het water. Daarnaast wordt soms een glijvlakmethode op basis van DIN 4085 gebruikt om de component van de ondersteuningskracht ten gevolge van de gronddruk te berekenen.

De glijvlakmethoden kunnen worden gekarakteriseerd door de vereiste aanname van een kinematisch faalmechanisme van het tunnelfront. Het eerste faalmechanisme voor glijvlakken werd voorgesteld door Horn (1961) en gaat uit van een glijdende wig aan de voorzijde van het tunnelfront die geladen is met een rechthoekig prisma dat zich uitstrekt naar het terreinoppervlak. Dit glijdende-wigmechanisme voor onderzoek van tunnelfrontstabiliteit werd door Anagnostou & Kovari (1994) en Jancsecz & Steiner (1994) geïntroduceerd in gemechaniseerde tunnelbouw . De glijvlakcondities worden geformuleerd op het hellende glijvlak (Afbeelding 7-2) in loodrechte en parallelle richting.

The analysemethode voor de frontstabiliteit omvat de glijvlakmethode van DAUB en de grondwaterverlaging. Daarnaast schrijft ZTV-ING (2012) voor dat in het geval van persluchtondersteuning de ondersteuningsdruk op het laagste punt van luchtcontact met het tunnelfront een minimale veiligheidsfactor van $\eta = 1{,}05$ moet hebben ten opzichte van de lokale grondwaterdruk.

Afbeelding 7-2 - Krachten die inwerken op de wig waarbij Ere = ondersteuningskracht door de gronddruk, G = eigengewicht van de wig, Pv = verticale belasting van het grondprisma, T = schuifkracht op het verticale glijvlak, ϑ = glijhoek, _xD835_xDF11_' = wrijvingshoek van grond, c = cohesie van de grond, D = schilddiameter en Q = schuifkracht op hellingsvlak, y = gewichtseenheid van grond.



7.2.8 Inschatting grondbelasting

De grondbelasting op de tunnelbekleding wordt ingeschat aan de hand van onderstaande methoden:

7.2.8.1 Convergence Confinement Method (CCM)

Er wordt een CCM toegepast om de belasting te bepalen die de grond na vervorming op de bekleding uitoefent nadat deze is uitgegraven. De Convergence Confinement Method (CCM) biedt een numerieke benadering om de gronddruk op de tunnelbekleding te bepalen als gevolg van vervormingen (zie Paragraaf 16, Referentie [1]).

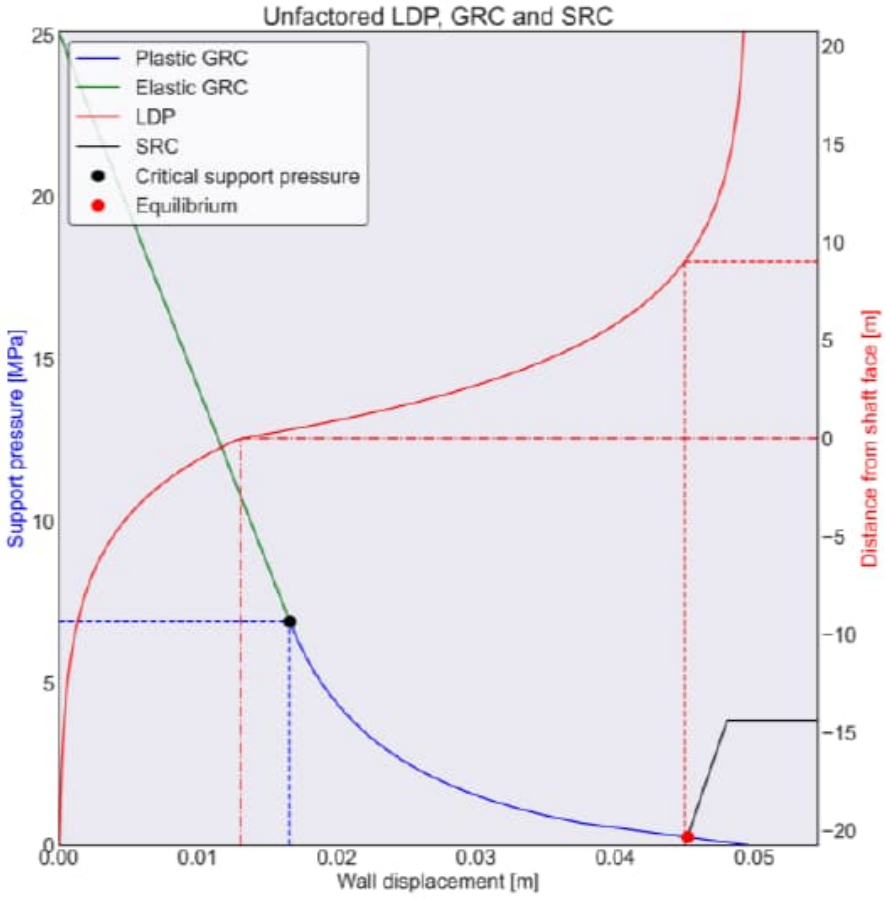
Er worden drie krommen gemaakt om de analyse te kunnen uitvoeren:

1. Grondreactiekromme (GRC): beschrijft de reactie van de grond op de uitgraving en toont de relatie tussen de ondersteuningsdruk, pi, en de verplaatsing ('u') van de omtrek van de uitgraving. Deze lijn kan worden afgeleid voor een verscheidenheid aan bodemcondities.
2. Lijn/Kromme van ondersteuningskarakteristiek: beschrijft de stijfheid van de ondersteuning ('ki') voor een maximale ondersteuningsdruk ('pi'). Deze lijn kan worden afgeleid voor een aantal gangbare ondersteuningssystemen.

3. Kromme van longitudinale verplaatsing (LDP): wordt gedefinieerd als het profiel van de wandverplaatsing versus de afstand vanaf het tunnelfront.

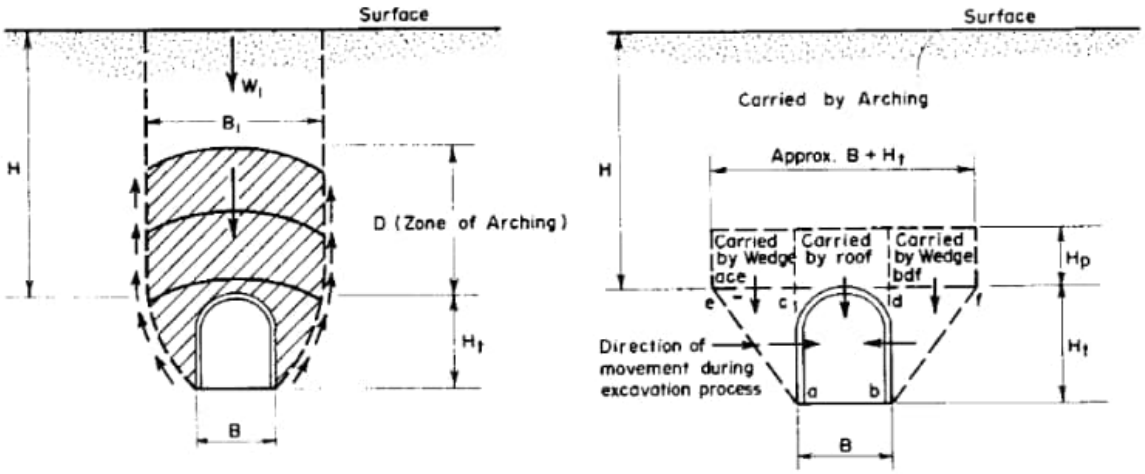
Het evenwicht wordt bepaald door het snijpunt van de grondreactiekromme met de lijn van de ondersteuningskarakteristiek en dus wordt er rekening gehouden met eventuele vertraging bij het installeren van de ondersteuning en de bijbehorende radiale verplaatsing die optreedt. Ongeveer aan het einde van het TBM-schild (achter de tunnelwand) wordt de grondbelasting bepaald voor de beoordeling van de segmentsgewijze bekleding.

Afbeelding 7-3 - Voorbeeld van CCM-schema



7.2.8.2 Terzaghi-belasting

Afbeelding 7-4 - Aanbevelingen van Terzaghi voor de belasting van tunnelbekledingen



In de theorie van Terzaghi (zie Paragraaf 16, Referentie [2]) gebaseerd op de glijvlaktheorie, wordt de minimale omringende gronddruk die nodig is om de stabiliteit van de grond te handhaven, verkregen wanneer de grond boven de tunnel op het punt staat te bezwijken. Volgens deze theorie is de grondmassa een los medium met een zekere cohesie. Het uitgraven van een tunnel zorgt ervoor dat de omringende grond zakt en de bewegende grond aan beide zijden wordt blootgesteld aan weerstand. De deklaagdruk op de ondersteuningsconstructie ontstaat in de bewegende grond, zoals weergegeven in Afbeelding 7-4 - Aanbevelingen van Terzaghi voor de belasting van tunnelbekledingen. De berekeningsformule voor de druk op de omringende grond wordt weergegeven in onderstaande vergelijking:

$$q = \frac{\gamma a_1 - c\left(1 - e^{-\frac{K_0 \tan\phi}{a_1} H}\right)}{K_0 \tan\phi}$$

$$a_1 = \frac{B}{2} + h \tan\left(45^0 - \frac{\phi}{2}\right)$$

Hierbij is q de verticale gelijkmatige belasting die op de draagconstructie werkt, γ het gewicht van de omringende grond, H de diepte van de tunnel, a1 de halve overspanning van de boog, B de overspanning van de tunnel, h de hoogte van de tunnel, ϕ de werkelijke interne wrijvingshoek van de grondmassa, c de cohesie en K0 de zijdelingse drukcoëfficiënt van de grond.

De Terzaghi-belasting wordt toegepast voor de constructieberekening van de tunnelbekleding wanneer de tunnel in de grond ligt.

7.2.9 Methode voor constructieberekening

Het tunnelontwerp voor de permanente situatie wordt uitgevoerd aan de hand van de volgende methoden:

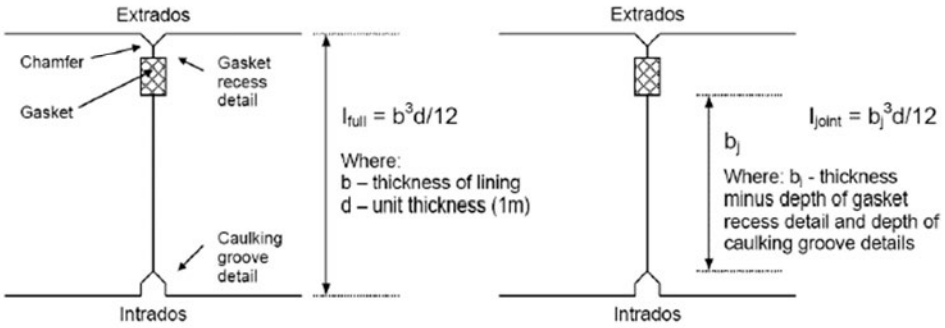
7.2.9.1 Analyse van tunnelbekleding

Om de dikte van de bekleding te verifiëren (zie Paragraaf 16, Referentie [3]), zullen gesloten oplossingen die zijn gebaseerd op de 'volledige hechting'-aanname worden gebruikt om de minimaal vereiste dikte te bepalen. 2D-analyse is de primaire ontwerpmethode om de dikte van de tunnelbekleding te bepalen. Als onderdeel van het FEED-ontwerp kan 3D-modellering worden uitgevoerd op de locatie van de ontvangstschacht om de volgorde van de uitgraafwerkzaamheden vast te leggen.

Wanneer een bekleding uit segmenten bestaat, kan de stijfheid bij de verbindingen aanzienlijk minder zijn dan op andere plaatsen (bij vier segmenten of minder wordt aangenomen dat de aanwezigheid van voegen geen invloed heeft op de stijfheid van de ring). Bij een groter aantal gelijke segmenten kunnen we bij eerste benadering uitgaan van een parabolische omhulling van het buigmoment rond een segment zoals het effectieve oppervlaktetraagheidsmoment. De stijfheid van de bekleding wordt verminderd op basis van het aantal segmenten (n) groter dan 4, het effectieve oppervlaktetraagheidsmoment (I_{ring}) wordt gebruikt voor het ontwerp van de bekleding, (zie Paragraaf 16, Referentie [4]) zoals getoond in Afbeelding 7-5.

Afbeelding 7-5 - Reductie in I voor flexibiliteit van voegen

Full second moment of area, I_{full}	$I_{full} = b.d^3 / 12$
Effective second moment of area, I_{ring}	$I_{ring} = I_{joint} + I_{full} \times (4 / \text{no. of joints})^2$ with $I_{ring} < I_{full}$



7.2.9.2 Constructieberekening voor voegen (segmentsgewijze bekleding)

Slechte (niet-circulaire) bouw, foutieve uitlijning en stuwkracht van de TBM zorgen ervoor dat de belasting wordt geconcentreerd op de raakvlakken van de voegen. Plaatselijk kunnen verkorting, afbrokkeling en uiteindelijk verbrijzeling optreden in de contactgebieden. Omdat slechts een deel van de draagvlakken wordt belast, leidt een sterk geconcentreerde drukbelasting tot trekspanning in het geheel van de segmentdikte. De trekkrachten in de omgeving van de voeg die hoog genoeg kunnen zijn om tot spanning te leiden, kunnen de elastische trekgrenzen overschrijden en de weerstand verminderen. De volgende ontwerppunten worden gecontroleerd bij de ongunstigste combinatie van maximale doorpersbelasting en excentriciteiten als gevolg van het uitlijnen van de vijzelschoenen en het dichtmaken van de voegen bij radiale voegen.

- Belasting die nodig is om de voeg te dichten en evaluatie van elastische en plastische sluiting van de voeg;
- Buigmoment dat bij het dichten van de voeg wordt gegenereerd als gevolg van de excentrische belasting;
- Barsten in de voegen (zie Paragraaf 16, Referentie [5]) – Vogelbek bij binnengewelf en buitengewelf van de tunnel of door belasting door cilinders;
- Contactspanning bij de voeg;
- De treksterkte van het beton en beperkingen van de draagspanning wordt gebaseerd op Eurocodes.

7.2.10 Draagvermogen van de bekleding

Het draagvermogen van de tunnelbekleding wordt ontwikkeld en gecontroleerd in overeenstemming met NEN EN 1992, Eurocode 2 - Ontwerp en berekening van betonconstructies, CEN. De modelleringsmethoden moeten worden gebruikt om te controleren of de secties voldoende draagvermogen hebben voor buigmomenten, afschuiving en axiale belasting.

De bekleding zal zowel tijdens de bouw (tijdelijke fase) als na de bouw (permanente fase) worden blootgesteld aan een scala van krachten en daarom moet in de ontwerpmethodiek rekening worden gehouden met alle belastingscombinaties die van invloed zullen zijn op het ontwerp.

Voor het doorpersen worden pijpleidingen ontworpen die voldoen aan de belastingklasse die in dit document is gedefinieerd en die in overeenstemming zijn met de productstandaarden, zoals buizen en voegen die zodanig zijn ontworpen dat ze bestand zijn tegen de doorpersbelasting tijdens de installatie. Informatie over de doorperskracht moet worden opgevraagd bij de fabrikant.

7.2.10.1 Uiterste grenstoestand (UGT)

Ontwerp van buigsterkte van geprefabriceerde betonnen tunnelbekleding

De tunnelbekleding wordt blootgesteld aan combinaties van axiale druk en buigmoment als gevolg van de verschillende belastingscombinaties van grondbelasting, interne waterdruk en hydrostatische belasting. De ongunstigste combinaties van M (buigmoment) en N (axiale kracht) worden uitgezet op de omhullende van het M-N-draagvermogen om het totale draagvermogen van de constructie te bepalen.

Het buigvermogen bij de uiterste grenstoestand van de geprefabriceerde segmenten wordt berekend in overeenstemming met NEN EN 1992, Eurocode 2 - Ontwerp en berekening van betonconstructies, CEN voor conventioneel gewapend beton. De optredende axiale krachten en buigmomenten uit de ontwerpbelastingsgevallen worden vervolgens gecontroleerd aan de hand van de draagvermogenskrommen van de segmentsecties. De controle wordt uitgevoerd op geselecteerde secties in het hele tracé, met name op kritieke locaties die bepalend kunnen zijn voor het ontwerp.

Barstspanningen op radiale voegen

De radiale voegen ondervinden plaatselijk hoge spanningen door de axiale kracht die via de radiale voegen wordt overgebracht. Dit kan het gevolg zijn van een slechte (niet-circulaire) bouw en foutieve uitlijning (zogenaamde 'steps and lips') en kan leiden tot belastingsconcentraties bij de raakvlakken van de segmentvoegen. Voor deze controle wordt de tolerantie van de vorm van de ring op 1% van de inwendige diameter ingesteld.

Omdat slechts een deel van de draagvlakken mag worden belast, leiden geconcentreerde drukbelastingen tot trekspanningen in het geheel van de segmentdikte in de buurt van de radiale voeg. Deze trekspanningen worden zo ontworpen dat ze onder de elastische treklimieten blijven om een verminderd draagvermogen van de voeg te voorkomen.

Het barsten van de voeg door geconcentreerde belastingen en spanningen op contactlagers (de maximale berekende axiale kracht wordt gebruikt in combinatie met de maximale draaiing van de voeg om de zwaarste draag- en barstspanning van de voeg te bepalen).

Waar de treksterkte van het beton wordt overschreden, worden wapeningscontroles uitgevoerd om voldoende constructieve draagkracht te leveren en binnen de gespecificeerde rekgrenzen te blijven. De vermindering van het draagoppervlak door spanningsontlastende details en verbindingsstukken wordt meegenomen in de analyse van de voeg.

7.2.10.2 Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

De minimumeisen volgens NEN 1992, Eurocode 2 – Ontwerp en berekening van betonconstructies, CEN, en de richtlijnen voor ontwerp van bekleding, ten aanzien van de scheurwijdte van bekleding en vervormingstolerantie worden gevolgd tijdens de controles van het draagvermogen van de bekleding.

7.2.11 Doorpersen

7.2.11.1 Soort bekleding

Voor het doorpersgedeelte worden de geprefabriceerde tunnelbuizen van gewapend beton beschouwd als de ontwerpbasis. Overwegingen zoals de keuze van het buismateriaal worden verder uitgewerkt tijdens de FEED-ontwerpfase. Voor het ontwerp van de bekleding van de doorpersbuizen wordt verwezen naar DWA-A 161E. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste beoordelingen voor het ontwerp van de doorpersing.

De eisen voor de pakking en bijbehorende waterdichtheid moeten in het FEED-rapport worden opgenomen. De specificatie van het type en de prestaties van het te gebruiken afdichtingssysteem zal worden uitgevoerd in samenwerking met de leveranciers van pakkingen. De maximale externe waterdruk zal naar verwachting ongeveer 4,4 bar bedragen.

Om een veilige werkomgeving te garanderen tijdens het overschakelen van een uitgraving met doorpersing naar een uitgraving met segmentsgewijze bekleding, moet een lekkagegraad van klasse 4 worden toegepast volgens de algemene standaarden voor toevoertunnels van de British Tunnelling Society (2024), Specification for Tunnelling, Fourth Edition.

Constructiestaalwerk moet voldoen aan NEN 1993, Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies, CEN. De stalen ring moet van staalkwaliteit S355 zijn en moet tijdens het doorpersen waterdicht blijven en op zijn plaats worden gehouden.

7.2.11.2 Beoordeling van wrijving of stuwkracht

De vijzelbelasting die nodig is om de pijpleiding te installeren, wordt afgeleid op basis van de volgende aspecten:

- FFrontbelasting om het schild vooruit te duwen;
- Eigengewicht van de doorpersbuizen in stabiele grond;
- Wrijving rond de doorpersbuizen door bodemafsluiting of onstabiele grond;
- Foutieve uitlijning of tijdsvertragingen tijdens het doorpersen.

De wrijving in de bodem kan zowel lineair als exponentieel variëren, afhankelijk van de boogwerking van de bodem, de nauwkeurigheid van het doorpersen en de tijd en/of vertraging.

Hoewel het lastig is om deze krachten nauwkeurig te beoordelen middels de grondmechanicatheorie, hebben aannemers die zich bezighouden met het doorpersen van pijpleidingen, na jarenlange ervaring empirische waarden afgeleid. Voor het project stellen we voor om de wrijvingskrachten in te schatten op basis van de meest recente onderzoeken en modellen: Analysis of interface friction effects on Micro-tunnel jacking forces in coarse-grained soils (zie Paragraaf 16, Referentie [6]). Tussendrukstations worden ontworpen op basis van DWA-A-161E.

7.2.11.3 Afzetwand

De afzetwand bij de lanceerschacht wordt ontworpen volgens de standaard ontwerppraktijk voor bouwconstructies voor de specifieke planning die voor de wand is gedefinieerd: schachtgeometrie, diepte, bodemgesteldheid en stuwkrachtbelasting.

De afzetwand wordt beschouwd als een tijdelijke constructie en in overeenstemming met de ontwerpcodes en -standaarden voor het ontwerp ervan worden lagere veiligheidsfactoren in de ontwerpberekeningen gebruikt.

7.2.12 Segmentsgewijze bekleding

De tunnelbekleding bestaat uit een enkelvoudige geprefabriceerde segmentsgewijze betonnen tunnelbekleding (PCTL) met vezel- of staafwapening. De bekleding wordt ontworpen om bodembewegingen onder controle te houden, toegepaste belastingen te weerstaan, een veilige werkomgeving te creëren tijdens de bouw en een waterdichte, duurzame oplossing te bieden tijdens de operationele levensduur van de tunnel.

De gebruikelijke configuratie van de geprefabriceerde betonnen tunnelbekleding van de ring, de geometrie en de assemblagetoleranties worden in de volgende fasen van het project gedefinieerd.

De pakkingen van de segmentsgewijze tunnelbekleding worden ontworpen en gespecificeerd om een waterdichte afdichting te bieden. De prestaties van de pakkingen met betrekking tot waterdruk, compressiekarakteristieken van de pakkingen, voegspleten en verschuivingstoleranties vormen een belangrijk onderdeel van het ontwerp van de geprefabriceerde betonnen tunnelbekleding. De specificatie van het type en de prestaties van het te gebruiken afdichtingssysteem zal worden uitgevoerd in samenwerking met de leveranciers van pakkingen. De duurzaamheidsbeoordeling omvat een evaluatie van de voor het project vastgestelde pakkingen om hun geschiktheid in alle bekende blootstellingscondities langs het tracé te bevestigen. De pakkingen moeten zodanig worden ontworpen dat ze bestand zijn tegen de hydrostatische druk door compressie van de pakking voor de gehele ontwerplevensduur en dat ze afdichten bij de maximaal verwachte hydrostatische druk op de tunnel met de gespecificeerde ‘stepping and lipping’. De maximale externe waterdruk zal naar verwachting ongeveer 4,4 bar bedragen.

Aan de buitenzijde worden cirkelvormige pennen aangebracht om aangrenzende ringen met elkaar te verbinden. Cirkelvormige pennen kunnen een kern van staal of composiet bevatten, afhankelijk van de vereiste schuifcapaciteit. Er worden geen bouten voorzien op de radiale voegen.

7.2.13 Analyse van flotatie en opwaartse druk

Op plaatsen met een lage bedekking boven de tunnel zal een extra controle op flotatie worden uitgevoerd. Gunstige belastingen, zoals die welke voortvloeien uit eigengewicht, worden gereduceerd in overeenstemming met de belastingscombinaties die zijn beschreven in Paragraaf 7.2.4.9.

De vereiste veiligheidsfactor tegen flotatie in de tijdelijke toestand (tijdens de bouw) is 1,1 (d.w.z. wanneer alleen de tunnelbekleding is voltooid). In de permanente situatie waarin de transportbuis en de ringvormige specie zijn geïnstalleerd, is de minimale veiligheidsfactor 1,5 voor normale hoogwaterstanden en 1,1 voor hoogwaterstanden.

7.2.14 Raakvlakken met andere constructies

De tunnel heeft raakvlakken met andere constructies, zoals de stalen pijpleiding, de zeewering, de Rotterdamse haven, TenneT en de vaargeul.

Rekening houdend met de andere constructies die in de FEED zijn opgenomen, zullen er verbindingen worden gemaakt tussen de tunnelbekleding en de schacht en de ontvangstschacht aan het einde van de tunnel.

Elementen van het schachtontwerp zijn afhankelijk van de tunnelmethodiek. In het ontwerp wordt rekening gehouden met afhankelijkheden met betrekking tot de tunnellogistiek en de volgorde in de tunnelbouw.

7.3 Ontvangstschacht

Het FEED-ontwerp is gebaseerd op het gebruik van een ontvangstschacht om de TBM terug te halen. We doen echter onderzoek naar alternatieve methoden om een ontwerp vast te stellen dat voldoet aan de volgende restricties:

- Archeologie/Contact met niet-ontplofte munitie binnen het schachtgebied. Is het noodzakelijk om de locatie van de schacht aan te passen of eventuele vooronderzoeken te verrichten?
- Werkruimte, werkvensters (voor TBM en maritieme werkzaamheden), werkgebied / voetafdruk, ontruimingsgebied voor niet-ontplofte munitie
- TBM-dekking en aandrijfhoek.

7.3.1 We overwegen de volgende opties voor het ontwerp van de ontvangstschacht:

- Opengebaggerde schacht: type installatie/baggerwerktuig, hellingstabiliteit, snelheid van aanslibbing/opvulling
- Kistdam die zich uitstrekt van het zeeoppervlak tot het bouwkundig plafond van de tunnel, optie die toegang tot TBM op het droge mogelijk maakt. De kistdam kan rond of rechthoekig zijn. Stutten op meerdere niveaus is vereist. De damwand moet lang genoeg zijn om instabiliteit van de uitgraving te voorkomen.
- Kistdam die zich uitstrekt van de zeebodem tot het bouwkundig plafond van de tunnel. Hierbij is sprake van nat terughalen van de TBM. Varianten op deze optie zijn ronde en rechthoekige kistdammen of een methode met een open sleuf. De damwanden kunnen vrijdragend worden gestut of dicht bij de zeebodem worden geplaatst.

7.3.2 Locatie, geometrie en afmetingen

Pre-FEED-werkzaamheden worden beoordeeld en er vindt een bespreking met de Aannemer plaats voor een overeenkomst over werkvensters. Het tunnelontwerp is ook bepalend voor deze punten, zoals de afstand tot TenneT-kabels en de diepte onder de zeebodem. Daarnaast kunnen er milieubeperkingen en operationele restricties gelden voor de haven van Rotterdam.

7.3.3 Ontwerpmethoden

Open schacht: nadat de locatie en diepte zijn vastgesteld in overleg met het tunnelbouwontwerpteam en anderen, en de milieucondities zijn vastgesteld, wordt de stabiliteit van de segmentsgewijze bekleding beoordeeld op draagkracht en flotatie onder verschillende belastingscombinaties. Verificatie van de hellingen die verband houden met de duur van de openstelling van de schacht zal ook worden beoordeeld. Overleg met de baggeraar over ervaring met de snelheid van uitgraven en opvullen.

Kistdam van volledige hoogte net als bij een open schacht worden de locatie en uitgravingsdiepte vastgesteld in overleg met het tunnelontwerpteam en anderen. De milieuomstandigheden moeten worden vastgesteld en er moet een geotechnische beoordeling worden uitgevoerd om het bodemmateriaal en de ontwerpeigenschappen te categoriseren. De hydraulische en geotechnische belastingen op de kistdamwanden moeten worden bepaald. Het softwarepakket FREW voor keermuren wordt gebruikt om de inbeddiepte voor stabiliteit en momenten en schuifkrachten in de damwanden te bepalen. De afmetingen en middelpunten van de gordingbalk moeten worden geoptimaliseerd. De kistdam kan rond of rechthoekig van vorm zijn. De diepte van de damwand moet voldoende zijn om de stabiliteit van de basis te garanderen in het doorlatende zand na ontwatering en vóór het aanbrengen van de funderingsplug. Er moet rekening worden gehouden met golfbelasting op de constructie, maar niet zozeer met het botsen van schepen.

Kerende constructie onder water: een lager gelegen versie van de volledige kistdam. De uitgraving blijft de hele tijd onder water, maar de kistdam vermindert het volume bewegend zand dat in de ontvangstschacht terechtkomt. De kistdam kan rond of rechthoekig van vorm zijn. Er is ook een alternatieve mogelijkheid, namelijk het maken van een sleuf met een open einde, wat de toegang tot zowel de tunnel als de pijpleiding zou vereenvoudigen. De damwanden kunnen vrijdragend of gestut worden ontworpen. Bij vrijdragende damwanden is de toegang voor het verwijderen van de TBM en het installeren van de pijpleiding eenvoudiger, maar de wandconstructie is dan wel fors.

7.3.4 Maritieme werkzaamheden

Gesprekken met gespecialiseerde aannemers bieden inzicht in de werkvoorkeuren, waar spudpalen e.d. nodig kunnen zijn. Toestemmingen voor de scheepvaart / kennisgeving aan zeevarenden etc.

Voor de baggerput moet worden besproken of tijdelijke opslag aan land mogelijk is of dat offshore storten en winnen van materiaal voor opvulling nodig is en wat de logistieke implicaties van deze opties zijn. Er zal een overzicht worden gemaakt van de locaties waarvoor vergunning nodig zijn. Door de vereiste schachtdiepte zijn er maar weinig baggerwerktuigen geschikt voor dit project. Het kan nuttig zijn om verschillende baggerwerktuigen te gebruiken in verschillende fasen van het project, maar de mobilisatiekosten voor baggerwerktuigen kunnen aanzienlijk zijn. Om het baggerwerktuig 24/7 te laten werken, voor zover dit is toegestaan, zijn er voldoende schuiten nodig die het baggerafval opruimen.

Voor de installatie van kistdammen zijn kranen nodig die opereren vanaf schepen of hefeilanden en materiaalschepen voor de levering van damwanden, gordingbalken en allerlei metaalwerk. Voor het plaatsen van damwanden onder water zijn speciale heihamers nodig. Eventuele milieubeperkingen voor heiwerkzaamheden die door regelgevende instanties worden opgelegd, moeten worden opgevolgd. Er zijn duikers of onderwaterrobots nodig voor het installeren en afbreken van constructies.

7.3.5 Alternatieve methoden

We gaan de haalbaarheid van de volgende alternatieven onderzoeken:

- Het aanleggen van een tijdelijke onderwaterwal aan het einde van het tunneltracé om de tunnel ondieper te kunnen bouwen zodat de TBM gemakkelijker kan worden teruggehaald. De wal zou gemaakt kunnen worden met behulp van Kyowa-filterzakken met steenbestorting om het aanleggen en weghalen makkelijker te maken.
- Installatie van een stalen buis met grote diameter aan het geplande einde van de tunnel. De buis wordt gevuld met slappe specie. De TBM kan door de buis worden gestuwd om deze weer terug te halen. De buis biedt extra ondersteuning aan het einde van de tunnel tijdens het verwijderen van de TBM en de daaropvolgende installatie van de pijpleiding.

7.4 Analyse van grondzetting

De zettingen zullen worden beoordeeld op de locaties waar de zeewering en de TenneT-kabels elkaar kruisen. In eerste instantie zal de grondzetting worden geëvalueerd op basis van gesloten oplossingen met behulp van de omgekeerde normale verdeling van Gauss, zoals voorgesteld door Peck (1969) [7] en O'Reily en New (1982) [8]. Tijdens de FEED zal Arup een driedimensionale analyse ontwikkelen met behulp van Oasys XDisp om tijdens de bouwfase specifieke verticale en horizontale zettingen te kunnen berekenen.

7.5 Het terughalen van TBM's:

Het terughalen van TBM's wordt bepaald en meegenomen in het ontwerp van de tunnelbekleding. De bouwvolgorde en potentiële belastingsomstandigheden die gepaard gaan met het terughalen van de TBM, worden bepaald tijdens de FEED van de tunnel.

Bij gebruik van een machine van het type Herrenknecht AVN of een vergelijkbare machine wordt aangenomen dat de TBM wordt teruggehaald door de grond rond de stopgezette TBM weg te baggeren, zodat er geen steunconstructies behoeven te worden gebouwd. Tijdens het terughalen verandert de belasting van het tunnelsegment en daarom wordt de structurele stabiliteit van de segmentring gecontroleerd aan de hand van de veronderstelde fasen voor het terughalen van de TBM. Ook onverwachte onbedoelde belasting kan van invloed zijn op de reeds aangebrachte segmentbekleding en daarom moet de bouwkundige robuustheid van de segmentring in de buurt van de terughaallocatie worden gecontroleerd op de onvoorziene belasting die kan worden veroorzaakt door het terughalen van de TBM.

Hieronder staan enkele belangrijke ontwerpelementen met betrekking tot het terughalen van de TBM opgesomd:

- Gebruik een hoogwaardige verbinding met een longitudinale pen in de lengterichting van de tunnel in de omgeving van het tunneldeel: de specificatie van het materiaal van het penverbindingsstuk en de lengte van de tunnel die versterkt moet worden, worden berekend met behulp van constructieberekeningen of -analyses op basis van de onvoorziene belasting die specifiek wordt bepaald voor de volgorde en methode van het terughalen van de TBM.
- Stabiliteitscontrole van de segmentring tijdens/na het baggeren: Door het baggeren zal het ondersteunende materiaal rond de tunnel worden verwijderd, waardoor de stabiliteit van de reeds gebouwde segmentring wordt gecontroleerd. Mogelijk moet er een tijdelijke ondersteuningsstructuur in de tunnel worden geïnstalleerd om te waarborgen dat de segmentring rond blijft tijdens het baggeren rond de tunnel. Deze controle omvat ook onevenwichtige belastingscondities die kunnen ontstaan wanneer slechts één kant van de tunnel wordt uitgebaggerd.
- Bevestiging van de schotten aan het segment: In een bepaald stadium van het terughalen van de TBM moet een geïsoleerd deel van de met segmenten beklede tunnel onder water worden gezet ter ondersteuning van het proces. Voor het isoleren van het tunneldeel moet een tijdelijke schotwand worden gebouwd door deze aan de segmentbekleding te bevestigen. De volledige hydrostatische waterdruk moet door de bevestiging in de schuifrichting worden opgevangen en de draagkracht van het betonnen segment voor de vereiste mate van bevestiging/boren moet worden gecontroleerd.
- Controle van de opwaartse druk van de tunnel tijdens het baggeren rond de tunnel.

8 DUURZAAMHEID

De ontwerplevensduur van de Aramis pijpleiding wordt verondersteld 30 jaar te zijn, zoals vermeld in Paragraaf 6.1. Zoals aangegeven in Paragraaf 6.1 worden de schacht en tunnel ontworpen met een levensduur van 30 jaar. De ontvangstschacht is een tijdelijk bouwwerk en wordt na voltooiing van de installatie van de pijpleiding ontmanteld. Er worden opmerkingen gemaakt over de gevolgen van een mogelijke verlenging van de ontwerplevensduur van de schacht en de tunnel van 30 tot 100 jaar, in overeenstemming met de aanpak die voor de pijpleiding is gekozen.

De blootstellingscategorie en materiaalvereisten voor de tunnel worden uiteengezet in Paragraaf 7.2.5 voor materialen. Verdere details worden opgenomen in het FEED-rapport.

Er wordt een duurzaamheidsbeoordeling uitgevoerd voor de tunnel- en schachtbekleding, inclusief alle bijbehorende afdichtingsmaterialen/pakkingen, verbindingsstukken, stalen ringen of cirkelvormige pennen om aan te tonen dat de ontwerplevensduur van de relevante delen van de constructie met deze methoden kan worden bereikt.

Bij de duurzaamheidsbeoordeling wordt voldoende rekening gehouden met de permanente toestand van de tunnel en de schacht (ondergelopen, opgevuld etc.) en wordt nagegaan of toegang voor inspectie en onderhoud mogelijk is. Er wordt een analyse gedaan van mogelijke opvulconcepten (vullen met zand, grouten etc.) waarbij rekening wordt gehouden met de gevolgen voor het tunnelontwerp.

9 VOORGESTELDE BOUWMETHODEN

9.1 Schachten

Bouwmethoden die moeten worden overwogen als onderdeel van mogelijke uitwerkingen.

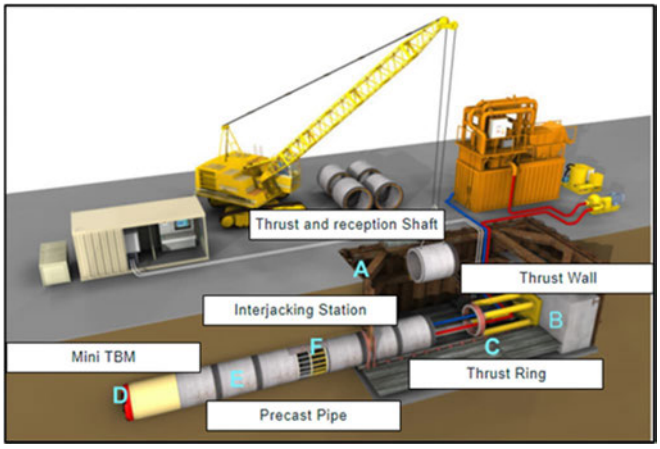
9.2 Tunnel

De bouwduur van de aanlandingstunnel moet worden geoptimaliseerd, terwijl de risico's (VGM en bouw) moeten worden beperkt en de kosten redelijk moeten blijven, aangezien de tunnel zich op het kritieke pad van het tijdschema bevindt. Om deze optimalisatie te bereiken, is een hybride oplossing voorgesteld bestaande uit een gedeeltelijk doorpersde en gedeeltelijk segmentsgewijs beklede tunnel met een slurryschild (Paragraaf 1.5 - Informatiebron [3]).

9.2.1 Doorpersen

Krachtige hydraulische vijzels worden gebruikt om speciaal ontworpen pijpen vanachter een schild door de grond te duwen op het hetzelfde moment dat de uitgraving aan de binnenkant van het schild plaatsvindt. De methode zorgt voor een flexibele, stevige, waterdichte, afgewerkte pijpleiding terwijl de tunnel wordt uitgegraven.

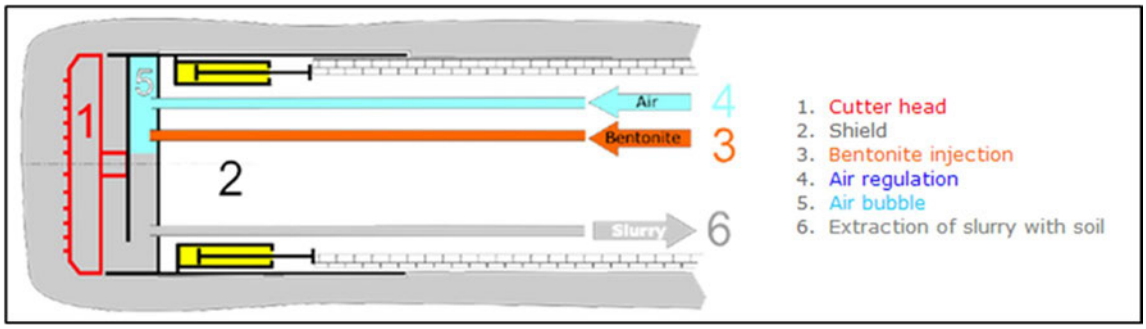
Afbeelding 9-1 – Doorpersmethode



9.2.2 Segmentsgewijze bekleding (TBM)

Vanwege de bodemgesteldheid (zachte grond), hoge waterdruk en een grote hoeveelheid grondwater wordt de TBM met slurryschild gezien als een geschikte optie. In een TBM met een slurryschild wordt de grond gemengd met bentonietslurry en vervolgens uit de tunnel verwijderd via een systeem van slurrybuizen. Aan de oppervlakte zijn grote slurryscheidingsinstallaties nodig om het vuil van de slurry te scheiden en terug te voeren in de tunnel. Bij een TBM met een slurryschild wordt de frontdruk tijdens het uitgraven gehandhaafd door de werkkamer te vullen met slurry.

Afbeelding 9-2 – TBM met slurryschild



9.3 Ontvangstschacht

We stellen de belangrijkste methodieken en werkhypotheses vast voor het ontwerp van de ontvangstschacht, op basis van de input van onze gespecialiseerde aannemer, waarbij we rekening houden met het volgende:

Baggeren:

- Materiaaltesten
- Methodiek (Risico op niet-ontplofte oorlogsmunitie)
- Toleranties (vlakheid)
- Afvoer

Hellingstabiliteit:

- Geotechnisch
- Golfslag en stromingsklimaat
- Herstel van TBM (werkplek en andere vereisten)
- Erosie en aanslibbing
- Tunnelstabiliteit, optimalisatie van tunneldiepte

Er wordt gekeken naar alternatieve opties, waaronder een damwand/kistdam, die tijdens de voorlopige FEED zullen worden gepresenteerd.

10 BOUWMONITORING

Vereisten voor instrumentatie en monitoring worden ontwikkeld na het voorlopige ontwerp. Verdere details van specifieke instrumentatie worden geleverd tijdens de FEED, projectontwerppakketten en bijbehorende instrumentatieplannen.

De aanpak omvat het monitoren van de grondzetting als gevolg van de tunnelbouwwerkzaamheden. Voor de monitoring worden de industriële normen voor microtunnelbouwprojecten gevolgd, waarbij onder de zeebodem wordt getunneld in zachte bodemomstandigheden. Dit dient drie belangrijke doelen:

Verificatie dat het bodemgedrag consistent is met ontwerpaannames.

Verificatie dat bodembewegingen consistent zijn met ontwerpaannames en binnen de toelaatbare limieten voor schadecriteria vallen die zijn opgesteld in de geotechnische I&M-specificatie; dit helpt het Bedrijf en de Aannemer te beschermen tegen onterechte claims van derden.

Zo spoedig mogelijk na de inbedrijfstelling van de TBM wordt de werking van de TBM gekalibreerd aan de hand van de werkelijk aangetroffen bodemomstandigheden. Deze kalibratie biedt de aannemer de mogelijkheid om de mijnbouwactiviteiten en de installatie van de bekleding aan te passen om de grondzetting te minimaliseren en de bescherming van bovenliggende nutsvoorzieningen en constructies te maximaliseren.

10.1 Conditie-onderzoeken

Voor de volgende bedrijfsmiddelen kan een conditiebeoordeling nodig zijn: de zeewering in de Maasvlakte.

In het monitoringprogramma voor de bouw worden aanbevelingen opgenomen met betrekking tot de conditieonderzoeken van de zeewering of vergelijkbare bestaande constructies die tijdens de bouw van de tunnel/schacht beïnvloed kunnen worden. Arup zal onder de zeewering en dwars op de zeewering een zettingsanalyse uitvoeren om te controleren op trekspanningen die kunnen optreden als gevolg van de schachtbouw en de tunnelbouwwerkzaamheden. Deze zullen aan de Aannemer worden doorgegeven voor bespreking met de eigenaar van de bedrijfsmiddelen in overeenstemming met het Interfacebeheerplan dat door de Aannemer wordt beheerd.

Conditieonderzoeken vóór de bouw: er wordt verondersteld dat er vóór de bouw een fotogrammetrisch onderzoek en een LIDAR-onderzoek beschikbaar zijn om de huidige visuele toestand van de buitenkant van het object vast te leggen.

Conditieonderzoeken na de bouw: er wordt verondersteld dat er tijdens en na de bouw doorlopende inspecties zullen plaatsvinden.

11 EISEN VOOR INSTALLATIE EN GEBRUIK VAN DE PIJPLEIDING

De eisen voor installatie en gebruik (zoals vastgesteld door de Aannemer en de Pipeline Designer) worden geacht te zijn zoals beschreven in de rapporten die zijn vermeld in Paragraaf 6.1.

12 INSPECTIE- EN ONDERHOUDSFILOSOFIE

Het bouwconcept is ontoegankelijk en op de lange termijn niet te onderhouden en daarom worden inspectie en onderhoud geacht buiten de scope van de werkzaamheden van Arup te vallen. Eventuele operationele vereisten op de lange termijn, inclusief schacht- en bovengrondse infrastructuur, moeten door de Aannemer worden bevestigd en worden geacht te zijn gedekt door de informatie in Paragraaf 6.1.

12.1 Ontvangstschacht

Zowel voor als na de bouwwerkzaamheden moet de zeebodem worden geïnspecteerd door middel van een bathymetrieonderzoek.

Aangezien de ontvangstschacht een tijdelijke constructie is, is er geen formele onderhoudsvoorziening nodig. Mocht de open gebaggerde put de voorkeursoptie worden, dan is het wellicht nodig om in te grijpen door middel van onderhoudsbaggerwerk om het werkgebied aan de voet van de ontvangstschacht te onderhouden. In dit stadium kan nog niet worden geschat hoeveel onderhoudsbaggerwerk nodig is.

13 BELANGRIJKE RAAKVLAKKEN TIJDENS FEED

Informatie die door anderen moet worden geleverd, wordt overal waar dit relevant is, aangegeven met [AANHOUDEN].

13.1 Input die door anderen moet worden geleverd

Input en redenen voor aanhouden staan overal in dit document aangegeven. De belangrijkste input die van anderen nodig is om het ontwerp te ontwikkelen, omvat onder meer:

- Belastingen en condities (nat/droog) voor het trekken van pijpleidingen/lieren
- Bouwfase en operationele vereisten op korte/lange termijn, inclusief bij de schacht/bovengrondse infrastructuur
- Eventuele verdere restricties met betrekking tot de bouw en installatie van pijpleidingen die nog niet zijn vastgesteld, moeten door de Aannemer/Pipeline Designer worden verstrekt.

Ten tijde van de uitgave van versie 02 van deze Basis of Design wordt ervan uitgaan dat bovenstaande items zijn gebaseerd op het rapport en tekeningen van de Pipeline Designer die staan vermeld in Paragraaf 6.1.

13.2 Output die aan anderen moet worden geleverd

Raakvlakken met derden worden beheerd door de Aannemer en het Bedrijf overeenkomstig de scope van de werkzaamheden van Arup. Verondersteld wordt dat de output van de scope van het tunnelontwerp door Arup wordt gedeeld met de relevante partijen, waaronder:

- Rapport 'Basis of Design'
- Rapport 'Preliminary Design'
- FEED-rapport en tekeningen
- Geotechnische rapporten (GIR, GDR, GBR)
- Instrumentation & Monitoring-plan
- Specificatie van de TBM en specificaties voor het boren van tunnels en het afzinken van schachten
- Bouwspecifieke deliverables inclusief kostenraming en bouwplanning.

14 RISICOBEOORDELING

14.1 Veiligheid, Gezondheid en Milieu

De FEED wordt ontwikkeld met het doel om gezondheids- en veiligheidsrisico's zo laag als redelijkerwijs uitvoerbaar (ALARP) te houden en dit omvat risicobeoordelingen en het volgen van 'best practices' voor het identificeren en verminderen van risico's.

Voor het project worden risicoregisters aangemaakt en de Safe by Design-principes worden toegepast op het ontwerp. De belangrijkste risico's voor kosten en planning worden ter beoordeling voorgelegd aan de Aannemer en het Bedrijf op basis van de analyse van het kritieke pad. Er zullen regelmatig risicoworkshops worden gehouden waar risico's openlijk worden besproken en waar wordt nagedacht over mogelijke risicobeperkende maatregelen.

De volgende workshops maken deel uit van de FEED:

- HazID: Gevarenidentificatie tijdens werkzaamheden en bouw. Moet in een vroeg stadium plaatsvinden om de belangrijkste gevaren vast te leggen. Het bestaande risicoregister voor het project wordt gebruikt als een eerste basis. Dankzij de vroegtijdige workshop kan het ontwerp worden uitgevoerd met de focus op het beheersen van de gevaren. Input van de operationele kant is nodig, aangezien operationele vereisten deel kunnen uitmaken van de ontwerpvereisten.
- HazOP: moet plaatsvinden voordat de FEED wordt opgeleverd, om de door ons geïdentificeerde gevaren tijdens werkzaamheden en tijdens de HazID + ontwerpontwikkeling en vastgestelde risicobeperkende maatregelen te documenteren.
- HazCON: moet plaatsvinden voorafgaand aan het voorlopige plan voor de uitvoering van de bouw om de gevaren tijdens de bouw en de risicobeperkende maatregelen uit de HazID-fase te bespreken en te documenteren. Hierbij moet specifiek aandacht worden besteed aan tunnelbouw, schachten, werken in besloten ruimtes en interventies aan de voorkant van de TBM.

14.2 Kosten en planning

Arup zal de bouwkosten en -planning benchmarken. Bessac en Bachy Soletanche maken een bottom-upprijs/planning op basis van de FEED-tekeningen en -rapporten. De bottom-upinschatting wordt getoetst aan de benchmarkversie. Mogelijkheden voor een snellere levering/uitvoering van de werkzaamheden worden gedocumenteerd en voorgelegd aan de Aannemer.

- Een belangrijk onderdeel van de kosten en planning is de schachtbouwmethodiek;
- Methodiek voor het offshore terughalen van TBM; en tijd om van doorpersen over te gaan op segmentsgewijze tunnelbekleding.

Er wordt een schatting van P50 klasse 2 met een nauwkeurigheidsgrens van -10%/+15% volgens AACE en een deterministische niveau 3-planning opgesteld en geleverd als onderdeel van FEED ter ondersteuning van de daaropvolgende aanbestedingsfase en evaluaties voor de ontwerp-, inkoop- en bouwfase (EPC).

15 INTERFACEBEHEERPLAN

Raakvlakken met derden worden beheerd door de Aannemer en het Bedrijf overeenkomstig de scope van de werkzaamheden van Arup.

Wanneer het Arup-team input of aannames van anderen nodig heeft voor de voortgang van het ontwerp (bijv. met betrekking tot pijpleidingen), zal de projectmanager en/of technisch directeur van Arup deze duidelijk kenbaar maken aan de Aannemer en de input/aannames vastleggen in een besluitvormingsschema dat wordt gedeeld met de Aannemer en de Pipeline Designer.

Arup zal wekelijks deelnemen aan technische vergaderingen met de Aannemer en de Pipeline Designer, en aparte wekelijkse projectbeoordelingsvergaderingen houden met het Bedrijf en andere belanghebbenden, zoals gefaciliteerd door de Aannemer. De doorgaande samenwerking zal worden gefaciliteerd in een live Q&A-tracker die wordt bijgehouden door de Consultant en de Pipeline Designer.

16 REFERENTIES

[1] E. M. M. &. C. G. Almog, „Ground Relaxation in Segmental Lining Design Using the Convergence-Confinement Method," in *Underground Design and Construction Conference 2015*, Hong Kong, 2015.

[2] K. Terzaghi, „An introduction to tunnel geology," in *Rock Tunnelling with Steel Supports*, Ohio, USA, 1946.

[3] H. a. E. J. Duddeck, „On structural design models for tunnels in soft soil.," *Underground Space,* vol. 9, nr. Pergamon Journals Ltd, pp. 246-259, 1985.

[4] A. Muir Wood, „he circular tunnel in elastic ground.," *Geotechnique,* vol. 25, nr. 1, Thomas Telford, pp. 115-127, 1975.

[5] F. Leonhardt, Pre-stressed concrete: design and construction, W. Ernst, 1964.

[6] C. C. R. a. T. L. L. Orr, „Analysis of interface friction effects on micro tunnel jacking forces in coarse," 2012.

[7] R. Peck, „Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground," in *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 225-290*, Mexico, 1969.

[8] M. N. B. O'Reilly, „Settlements above tunnels in the United Kingdom their magnitude and prediction," in *Proc. of Tunnelling 82 Symposium, pp.173-181.*, london, 1982.

[9] ISO, NEN-EN-ISO 19902:2020 Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures, 2020.

[10] G. &. K. K. Anagnostou, „The Face Stability of Slurry-shield-driven Tunnels," *Tunnelling & Underground Space Technology,* vol. 9, nr. No. 2, pp. 165-174, 1994.

Bijlage 8

Archeologisch onderzoek

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Gemeente Rotterdam

Onderwerp:
A2023301 Gemeente Rotterdam, Aramis project, 2 tunnelschachten

Bezoek-/postadres:
Archeologie Rotterdam (BOOR)
Ceintuurbaan 213b
3051 KC Rotterdam
Website: www.rotterdam.nl/archeologie

Retouradres: Ceintuurbaan 213b, 3051 KC Rotterdam

Royal HaskoningDHV
[redacted]
Postbus 1132
3800 BC AMERSFOORT

[redacted]

Ons kenmerk: AS23/11267-23/0022317

Datum: 30 november 2023

Geachte heer [redacted]

De afdeling Archeologie van de gemeente Rotterdam (BOOR) heeft op uw verzoek de noodzaak van het uitvoeren van een archeologisch (voor)onderzoek in het kader van de voorgenomen grondwerkzaamheden ter behoeve van Aramis project, 2 tunnelschachten (nabij Prinses Maximaweg), te Rotterdam beoordeeld.

Beoordeling
De plannen geven geen aanleiding tot archeologisch vooronderzoek (bureauonderzoek en/of inventariserend veldonderzoek) op de planlocatie. De locatie kan voor de voorgenomen ontwikkeling worden vrijgegeven zonder archeologische bemoeienis.
Er dient wel altijd rekening gehouden te worden met zogenaamde toevalsvondsten, bijvoorbeeld scheepswrakken of -resten. Hiervan dient men op basis van de Erfgoedwet 2016, art. 5.10 melding te maken bij Onze Minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap c.q. de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. In de praktijk is het eenvoudiger om dit bij de bevoegde overheid, de gemeente Rotterdam, voor deze Archeologie Rotterdam, te doen.

Onderbouwing
Het plangebied maakt deel uit van een archeologisch kansrijk gebied. In het bestemmingsplan ‘Maasvlakte 1’ is voor de locatie een bouwregeling en een omgevingsvergunning opgenomen voor bouw- en graafwerkzaamheden die dieper reiken dan 3 m - NAP en die tevens een oppervlakte beslaan van meer dan 200 vierkante meter.

De grondroerende werkzaamheden bestaan uit het graven van een tunnel. In het kader van CO_2-opslag zal transport plaatsvinden onder de zeewering en Maasgeul door naar een in de Noordzee gelegen distributieplatform, met een diameter van 32”. Om de kruising met de Maasgeul te realiseren wordt een microtunnel voorzien. Voor de aanleg van deze microtunnel zijn momenteel twee opties: een diepe schacht ten noorden van de Maasvlakteweg weg (314 m^2, tot 19,2 m diep, uiteindelijk 35-40 m - mv, diameter 20 m) of een minder diepe schacht ten zuiden van de Maasvlakteweg (800 m^2, tot 11,7 m - mv, lxb = 80x10 m). Voor beide opties is deze plantoets uitgevoerd.

De werkzaamheden overschrijden de toegestane verstoringsmarges van het bestemmingsplan, echter op basis van Vos 2019[1] blijkt dat de kans op de aanwezigheid van archeologische resten klein is. In verband hiermee wordt een archeologisch vooronderzoek op de planlocatie niet noodzakelijk geacht.

Bij eventuele wijzigingen in het aanlegplan kan een archeologisch vooronderzoek alsnog nodig zijn en dient het opnieuw aan Archeologie Rotterdam te worden voorgelegd.

Met vriendelijke groet,

[redacted]

[1] Vos, P. 2019: Toelichting op de kaart van het oppervlak van de Pleistocene ondergrond en de Vroeg Holocene paleo-landschapskaarten van het Maasvlakte gebied - Port of Rotterdam, Deltares.

Bijlage 9

Geluid studie

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

NOISE STUDY				Document Reference NL-ARM-010-PTC1-111797	
				Revision: 02	**Step**: IFD
				Date: 27/09/2024	
Document Type: STU	**Family Equip:** N/A	**Discipline:** HSE	**Class:** 2	**Page** 1 of 33	



ARAMIS PROJECT



Rev	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
00	14/06/2024	Issued For Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
01	19/09/2024	Re-Issued For Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
02	27/09/2024	Issued For Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]

This document is issued pursuant to an Agreement between TotalEnergies Nederland B.V and Petrofac Facilities Management Limited which agreement sets forth the entire rights, obligations, and liabilities of those parties with respect to the content and use of the report. Reliance by any other party on the contents of the report shall be at its own risk. Petrofac makes no warranty or representation, expressed or implied, to any other party with respect to the accuracy, completeness or usefulness of the information contained in this report and assumes no liabilities with respect to any other party's use of or damages resulting from such use of any information, conclusions or recommendations disclosed in this document.

Contents

DEFINITIONS 4

1 INTRODUCTION 6

1.1 Background 6

1.2 Purpose of Document 6

1.3 Noise Assessment Locations 7

1.4 Noise Study Methodology 9

2 STANDARDS AND GUIDANCE 10

2.1 Building Works and Living Environment Decree 10

2.2 Noise Abatement Act 10

2.3 World Health Organisation Environmental Noise Guidelines for the European Region 11

2.4 World Health Organisation Guidelines for Community Noise 11

2.5 ISO9613 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors 11

3 ASSESSMENT OF IMPACTS – ONSHORE CONSTRUCTION 12

3.1 Introduction 12

3.2 Sources Being Assessed – Onshore Construction 12

3.3 Noise Modelling Protocols 13

3.4 Predicted Sound Levels 13

3.5 Assessment of the Impacts 14

3.6 Commentary – Onshore Noise Sources 14

4 ASSESSMENT OF IMPACTS – OFFSHORE CONSTRUCTION 16

4.1 Introduction 16

4.2 Sources 16

4.3 Noise modelling 17

4.4 Predicted sound levels 17

4.5 Assessment of impacts 17

4.6 Commentary 17

5 ASSESSMENT OF IMPACTS – ONSHORE OPERATIONS 20

5.1 Introduction 20

5.2 Sources Being Assessed – Onshore Equipment 20

5.3 Noise Modelling Protocols 20

5.4 Predicted Sound Levels 20

5.5 Assessment of the Impacts 21

5.6 Commentary – Onshore Noise Sources 21
6 ASSESSMENT OF IMPACTS – OFFSHORE OPERATIONS 22
6.1 Introduction 22
6.2 Sources Being Assessed – Offshore D-HUBN Equipment 22
6.3 Noise Predictions 23
6.4 Commentary 23
7 CONCLUSION 24
8 REFERENCES 25
APPENDIX A GLOSSARY OF TERMINOLOGY 26
APPENDIX B STATEMENT OF UNCERTAINTY 30
APPENDIX C STATEMENT OF COMPETENCY 31
C.1 Darren Lafon-Anthony MSc MIOA FIQ 31
C.2 Mark Harrison BSc (Hons) MIOA 31
APPENDIX D CONTOUR PLOT – ONSHORE OPERATIONAL NOISE 32
APPENDIX E CONTOUR PLOT – ONSHORE CONSTRUCTION NOISE 33

List of Figures

Figure 1-1: Overview of CCS Infrastructure 6
Figure 1-2: Offshore D-HUBN Location 8
Figure 1-3: Onshore Equipment Location 8

List of Tables

Table 1-1: Noise Sensitive Receptor Locations 7
Table 2-1: Daily Values and the Corresponding Maximum Exposure Period [2] 10
Table 2-2: Guideline Values for Community Noise in Specific Environments 11
Table 3-1: Construction Noise Source Information 13
Table 3-2: Predicted Noise Levels at Receptor Locations 14
Table 3-3: Assessment of Impacts 14
Table 4-1: Underwater noise sources during construction 16
Table 5-1: Operational Noise Source Information 20
Table 5-2: Predicted Noise Levels at the Receptors 21
Table 5-3: Assessment of Impacts 21
Table 6-1: Noise Source Information – Offshore D-HUBN Platform 22

DEFINITIONS

Terminology	Definition
Company	Aramis, a joint development by TotalEnergies, Shell Netherlands, Energie Beheer Nederland (EBN) and NV Nederlandse Gasunie.
Aramis	Refers to assets owned and operated by Aramis
Project	Aramis Project consisting large-scale infrastructure to transport CO_2 captured by other industrial enterprises and to deliver this offshore to depleted gas fields in which the CO2 will be stored permanently.
Shall	Is used to indicate a mandatory requirement.
Should	Is used to indicate that the provision is preferred.
May	Is used to indicate alternatives, which are equally acceptable, at Contractor discretion.
Must	Is used to indicate compulsory, legally binding requirement.

ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
ADD	Acoustic Deterrent Device
CCS	Carbon Capture and Storage
CO_2	Carbon dioxide
dB	Decibel
dB(A)	Decibel (A-weighted)
D-HUBN	Distribution HUB North
EBN	Energie Beheer Nederland
EIA	Environmental Impact Assessment
EPC	Engineering, Procurement and Construction
FEED	Front-End Engineering Design
GDG	Guideline Development Group
ISO	International Standards Organisation
LAeq	Equivalent Continuous Sound Level
LAFmax	"The maximum Sound Level with 'A' Frequency weighting and Fast Time weighting during the measurement period."
m	metre
MMO	Marine Mammal Observer
PAM	Passive Acoustic Monitoring
ROV	Remotely Operated Vehicle

1 INTRODUCTION

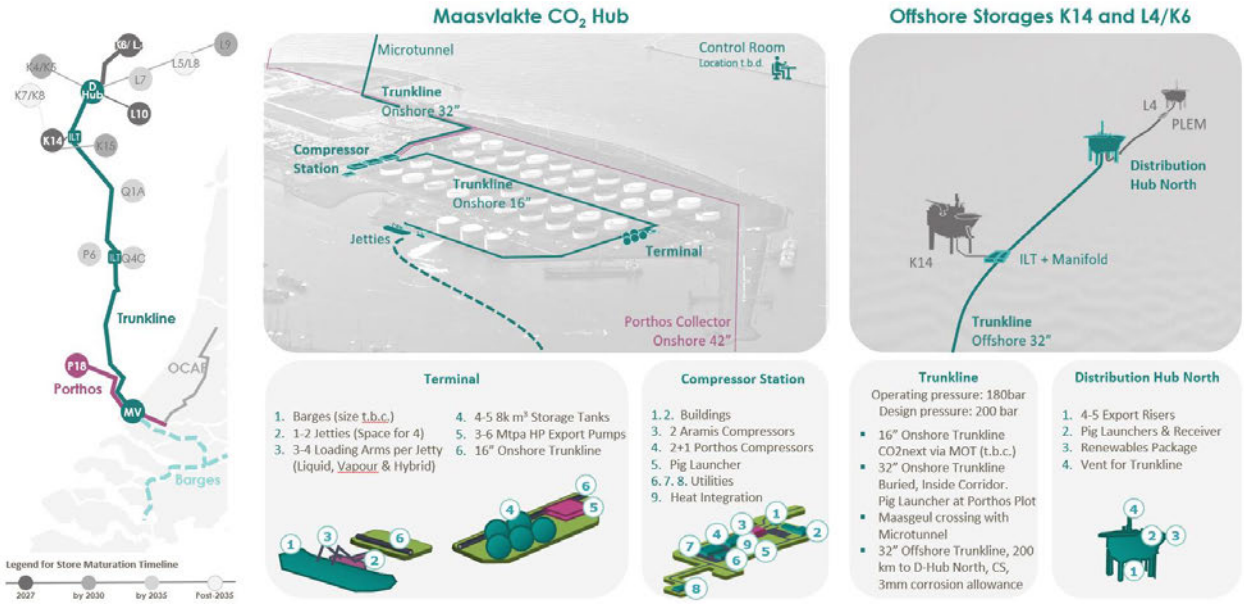
1.1 Background

The Aramis project is a cooperation between Shell, TotalEnergies, Gasunie and EBN to utilise depleted gas fields and potentially aquifers in the Dutch North Sea to establish an open-access CCS infrastructure for transport and storage, targeting hard-to abate industrial emissions in the Netherlands and Europe.

This part of the project provides the transport of CO_2 from the onshore terminal to an offshore platform, which is used as distribution hub (D-HUBN). Other parts of the project are provided by CO2next and Porthos, while the actual storage in the depleted offshore gas fields under the North Sea is performed by Shell and TotalEnergies as part of their offshore operations.

In Figure 1-1 below an overview of the envisaged CCS infrastructure is given. The left panel illustrates the trunkline that transports the CO_2 from the Maasvlakte to the offshore storage. The middle panels illustrate the Maasvlakte Hub with the Porthos compressor station and the CO2next Terminal. The right panel shows the platforms of TTE and Shell.

Figure 1-1: Overview of CCS Infrastructure



1.2 Purpose of Document

The Noise Study has been undertaken to evaluate the potential effects of the Aramis project on nearby residential areas in accordance with the relevant standards and guidance and to provide outline mitigation advice if considered necessary.

Existing documents related to the assessment of noise generation from project activities including the MER and supporting studies [2] have been reviewed and elements included here where relevant.

The study includes the assessment of potential noise impacts from construction and operation of the onshore beach valve, compressor station and terminal at Maasvlakte, Rotterdam and the offshore D-HUBN.

Details of the assessment methodology employed, together with the results of the noise predictions, assessment and conclusions are presented within this report.

1.3 Noise Assessment Locations

The various aspects of the development site are well removed from the nearest noise sensitive receptor locations. Following a review of aerial imagery, receptors AL01, AL02 and AL03 were identified as the nearest residential properties to the operational areas which may be exposed to noise from the onshore elements of the project and were selected for inclusion within this report.

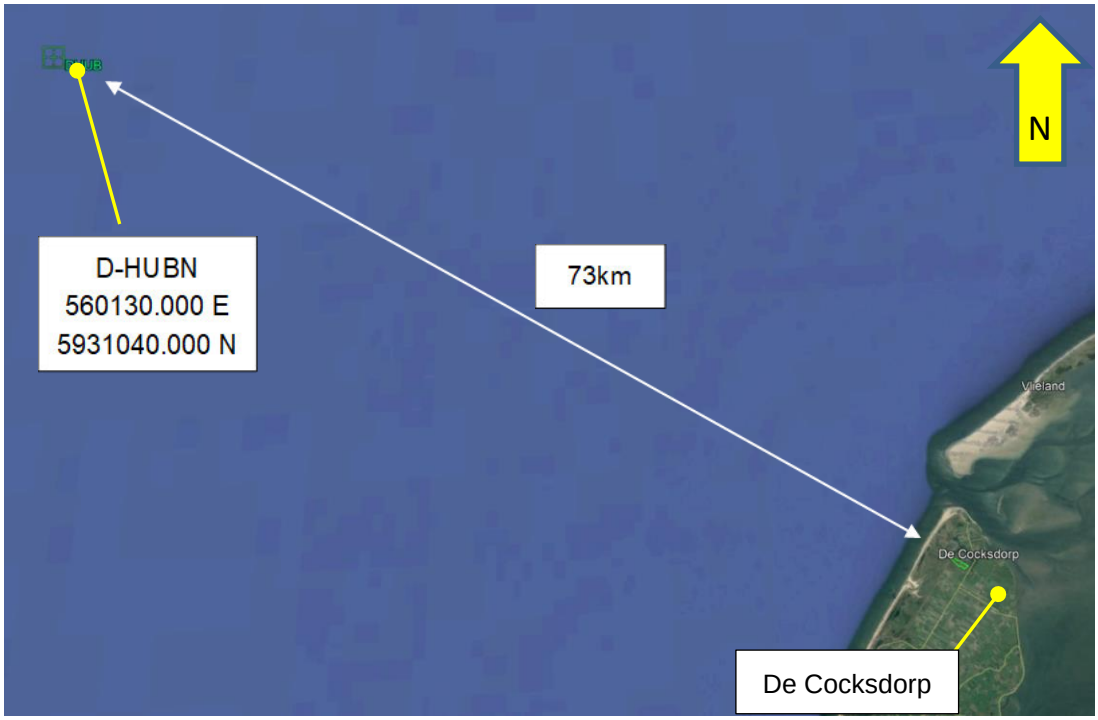
AL04 was identified at the nearest onshore area to the offshore element of the project.

The receptors are identified in Table 1 1 below and shown on Figures 1-2 and 1-3.

Table 1-1: Noise Sensitive Receptor Locations

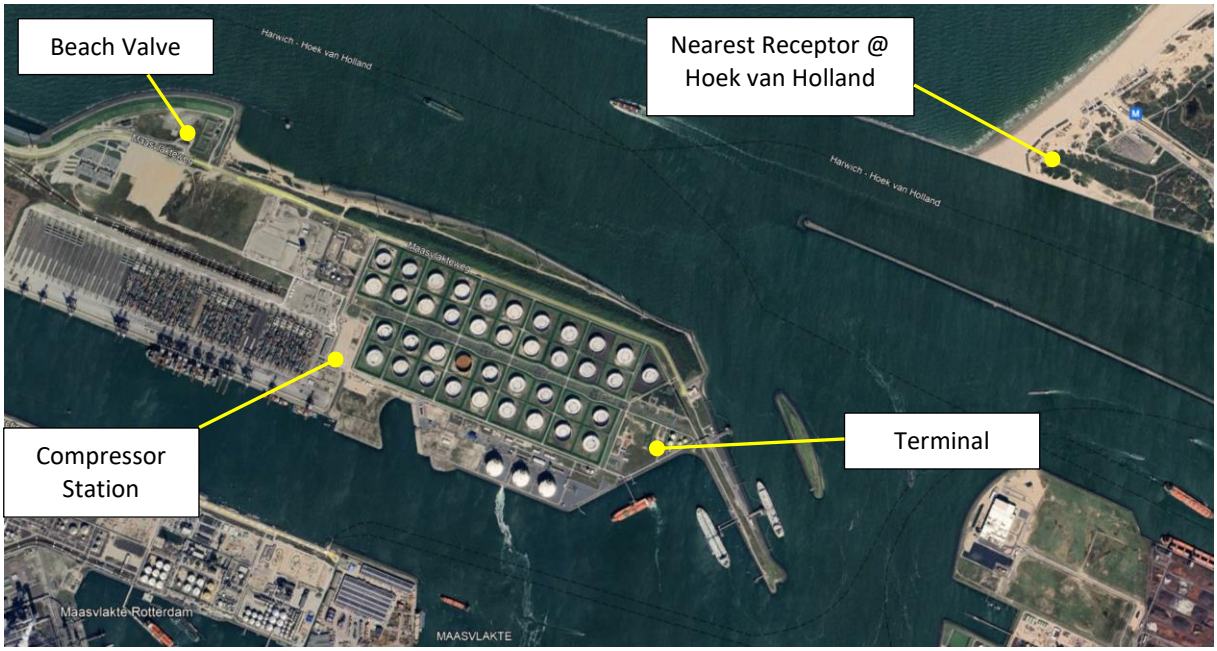
Receptor Location	Approximate Grid Co-ordinates		Description
	Latitude	Longitude	
AL01 – Zeekant Beach Houses	51.983977	4.098266	Residential Dwellings
AL02 – Seinpad Houses	51.980979	4.114672	Residential Dwellings
AL03 – Pr.Paulineweg Top Floor	51.982617	4.114553	Residential Dwellings
AL04 – De Cocksdorp	53.174271	4.862120	Residential Area

Figure 1-2: Offshore D-HUBN Location



Google ©

Figure 1-3: Onshore Equipment Location



1.4 Noise Study Methodology

A noise assessment for the current proposals has been undertaken in accordance with the guidance contained in the Building Works and Living Environment Decree, the Noise Abatement Act and the World Health Organisations' Guidelines for Community Noise.

Noise levels generated by the operation of the facility have been predicted to the nearby noise-sensitive receptors, using the calculation methodology outlined in ISO9613:2024 *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors* – Part 2: *Engineering methods of the prediction of sound pressure levels outdoors* (ISO9613) implemented by the proprietary noise modelling software CadnaA.

2 STANDARDS AND GUIDANCE

2.1 Building Works and Living Environment Decree

The Building Works and Living Environment Decree outlines daily values for commercial construction works. Table 2-1 details the daily values and maximum exposure periods from Article 7.17 of the decree.

The decree states that construction works is only carried out on working days and Saturdays between 07:00 and 19:00 hours. Where activities take place during nighttime hours this will need to be agreement with the relevant regulator.

Table 2-1: Daily Values and the Corresponding Maximum Exposure Period [2]

	Daily Value					
	<60dB(A)	>60dB(A)	>65dB(A)	>70dB(A)	>75dB(A)	>80dB(A)
Maximum duration of exposure on the façade of a residential property, childcare establishment, healthcare establishment, education facility or border of noise-sensitive area	Unlimited	50 days	30 days	15 days	5 days	0 days

2.2 Noise Abatement Act

The Noise Abatement Act expired on 1st January 2024 however, it is considered that its contents remain relevant to this study.

Chapter V of the Noise Abatement Act refers to zones around industrial estates.

Article 40 and 44 of the Noise Abatement Act advise that the maximum permissible noise level due to an industrial site, at the façade of dwellings outside the industrial zone, shall be 50dB(A).

Article 45 of the Noise Abatement Act advises that the maximum permissible noise level may be raised to 55dB(A) for existing dwellings.

Article 53 of the Noise Abatement Act states that “Outside an existing zone, the noise exposure due to the industrial estate may not exceed the value of 50dB(A)”.

2.3 World Health Organisation Environmental Noise Guidelines for the European Region

The World Health Organisations Environmental Noise Guidelines for the European Region provides recommendations for protecting human health from exposure to environmental noise originating from various sources. However, the guidelines do not consider industrial noise as an environmental noise source affecting people living in the vicinity of industrial sites due to the specific features of industrial noise and the fact that exposure to industrial noise has a very localised character in the urban population.

The Guideline Development Group (GDG) recommends that all Guideline for Community Noise indoor guideline values and any values not covered by the current version of the GDG, such as industrial noise, should remain valid.

2.4 World Health Organisation Guidelines for Community Noise

The World Health Organisations' Guidelines for Community Noise sets out guideline values for specific health effects of noise in specific environments. In dwellings, the effects of noise are sleep disturbance, annoyance, and speech interference. For the purposes of this study, the following guideline values for outdoor living areas and outside bedrooms have been adopted:

Table 2-2: Guideline Values for Community Noise in Specific Environments

Specific Environment	Critical Health Effect	L_{Aeq}, dB(A)	Time Base, hrs	L_{AFmax}, dB
Outdoor Living Area	Moderate Annoyance, daytime and evening	50	16	-
Outside Bedrooms	Sleep disturbance, window open (outdoor values)	45	8	60

2.5 ISO9613 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors

The noise levels generated by the operation of the proposed development have been predicted using the calculation methodology set out in ISO9613-2. The methodology considers the distance between the sources and the receptors and applies the amount of attenuation due to atmospheric absorption and other site-specific characteristics.

The methodology assumes downwind propagation, i.e., a wind direction that assists the propagation of noise from the source to all receptors.

3 ASSESSMENT OF IMPACTS – ONSHORE CONSTRUCTION

3.1 Introduction

Worst-case noise levels generated by construction operations within the onshore equipment areas have been predicted to the site facing façade or site facing outdoor amenity space of the nearest noise-sensitive receptors identified using the calculation methodology outlined in ISO9613.

The resulting predicted noise levels have then been assessed in accordance with the guidance contained in the Noise Abatement Act and the World Health Organisations' Guideline for Community Noise.

3.2 Sources Being Assessed – Onshore Construction

Onshore construction operations would include the following activities:

- Site clearance & preparation works.
- Excavations, tunnelling & trenching.
- Shaft construction.
- Onshore pipeline construction
- Sheet piling.
- Backfilling & compacting.
- Lifting equipment into place.
- Stringing, bending, cutting, welding, shot-blasting/painting & heat-shrinking.
- General on-site movement of trucks/trailers/forklifts, etc.
- Commissioning activities.

Noise levels for these activities have been taken from British Standard 5228-1:2009+A1:2014 *Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites.*

Details of the noise source data used for the predictions are provided in Table 3-1. An initial assessment of potential construction equipment was made during FEED. However, it should be noted that doubling the number of units of construction plant in Table 3-1 would result in an overall increase in predicted noise levels of 3dB at the receptor. These levels still fall far below levels of concern according to the limits described above.

Table 3-1: Construction Noise Source Information

Operation	Noise Source	Sound Pressure Level dB(A) @ 10m	Qty
Excavation/Trenching	Excavator	74.7	2
Sheet Piling	Piling Rig	87.9	1
Backfilling/Compacting	Compactor	77.7	2
Lifting Equipment into place	Crane	66.5	4
Movement of equipment	Forklift	78.5	4
Delivery	Trucks/Trailers	80.5	3
Delivery	Sideboom	76.9	2
Cutting, welding, etc.	Hand-held tools	72.8	10
Compressor	Compressor	65.5	1
Hydrotesting	Pumps	78.0	1

3.3 Noise Modelling Protocols

The model was constructed using the proprietary noise modelling software package CadnaA utilising Google Earth geo-referenced 1:1 scaled aerial photography and openstreetmap.org mapping data.

The site has been modelled as flat with a reflecting surface, i.e., the ground between the site and the receptors would be 100% hard ground/water. Wind and temperature gradient assisted sound propagation has been assumed to all receptors.

The predictions are based on all construction equipment operating simultaneously at the closest approach, or most exposed, position to the noise-sensitive residential receptor locations providing a worst-case situation.

3.4 Predicted Sound Levels

For the purposes of this assessment the predicted sound levels assume that all equipment would be operating simultaneously and at 100% capacity.

Specific sound levels have been predicted to heights of 1.5m for a ground floor amenity space at Zeecant beach house and properties on Seinpad and 20m for top floor apartments on Pr. Paulineweg. The results are shown in Table 3-2. A noise contour plot is shown in Figure A1-2 of Appendix A.

Table 3-2: Predicted Noise Levels at Receptor Locations

Receptor Location	Construction Location	Predicted Specific Sound Level, dB $L_{Aeq,T}$
Zeecant Beach Houses	Beach Head	30.6
Seinpad Houses	Compressor Station	17.4
Pr.Paulineweg Top Floor Apartments	Beach Head	26.9

3.5 Assessment of the Impacts

As a worst-case, it is assumed that construction operations associated with the project would be undertaken during daytime hours only and therefore the predicted noise levels have been assessed against the daily values set out in Article 7.17 of the Building Works and Living Environment Decree and MER study [2].

The predicted noise levels have been rounded to the nearest whole number. Table 3-3 summarises the results of the assessment.

Table 3-3: Assessment of Impacts

Location	Period	Location	Predicted Noise Level dB LAeq,T	Guideline Value, dB	Difference, dB
Zeecant Beach Houses	Daytime	Outside	31	60	-29
Seinpad Houses			17		-43
Pr.Paulineweg Top Floor			27		-33

Table 3-3 shows that predicted construction works noise levels would be well below the guideline value for construction works over an unlimited period as detailed in Article 7.17 of the Building Works and Living Environment Decree.

Should construction activities take place during night-time hours, predicted noise levels would remain significantly below WHO guidance levels for sleep disturbance in bedrooms.

3.6 Commentary – Onshore Noise Sources

It should be noted that the identified receptor locations are close to other sources of noise, including shipping, port, and transport infrastructure development nearby. It is considered that the noise levels associated with construction operations of the Aramis Project would not be noticeable over other, existing, sources in the area.

Although baseline noise surveys have not been undertaken, it is considered that due to the worst-case predicted noise levels being very low there would be no increase in ambient noise levels and therefore, no cumulative impact from noise generated by the Aramis Project.

4 ASSESSMENT OF IMPACTS – OFFSHORE CONSTRUCTION

4.1 Introduction

Several activities which will result in the generation of underwater noise will be undertaken during the construction phase of the project. High levels of underwater noise, or noise generated above background levels for a significant period of time have the potential to cause injury or disturbance to marine species.

4.2 Sources

Several sources of underwater noise are expected to occur during offshore construction activities (Table 4-1). These include:

- Pile driving foundations for the D-HUBN platform jacket.
- Use of heavy lift vessels.
- Use of pipelay vessels.
- Use of barges.
- Dredging activity.
- Rock placement.

Table 4-1: Underwater noise sources during construction

Operation	Noise source	Assumed noise levels [0]	Limiting value
Platform foundation pile driving	Pile driving hammer	TBD	164 dB re 1μPa2s at 750m [3]
Monopile and jacket installation	Heavy lift vessel	130 dB re 1 μPa	
Pipeline installation	Pipelay vessel	130 dB re 1 μPa	187 dB re 1μPa2s*
Marine transport	Barge vessels	171 dB re 1 μPa	187 dB re 1μPa2s*
Dredging	Dredging equipment and vessel	130 dB re 1 μPa	187 dB re 1μPa2s*
Rock placement	Fall pipe Remotely Operated Vehicle (ROV) and rock vessel	TBD	187 dB re 1μPa2s*

* Note – Not a statutory limit but limit considered within MER study [4].

4.3 Noise modelling

In respect to underwater noise generation during pile driving activities, noise modelling will be carried out (by others) once the pile driving assessment has been determined. This will allow for specific noise levels to be determined based on the selected pile driving hammer, local geology and resulting power profile for the installation of each pile.

4.4 Predicted sound levels

The standard for activities related to the North Sea Agreement currently concerns an underwater noise standard of 160 dB re 1 µPa2s at 750m from a piling location. MER documentation however states a maximum value of 160 dB re 1 µPa2s at 750m. This value shall not be exceeded.

Noise modelling of piling activities will be completed (by others) and used to determine site specific sound levels. Where modelling indicates levels to be greater than that above, opportunities for noise reduction through mitigation will be explored. This may include the use of bubble curtains.

4.5 Assessment of impacts

A preliminary assessment completed by Aramis during development of the MER calculated unweighted broadband single strike exposure level (SELSS) for similar anchoring posts from ONE-Dyas as 171dB re 1 µPa2s. This is slightly higher (7 dB) than the applicable standard of 164 dB re 1 µPa2s for piling turbine foundations for offshore wind farms [4].

It should be considered that the calculated SELSS is based on worst-case assumptions and the calculation method contains uncertainties. Starting points such as the pile-driving energy are chosen to the maximum extent possible to prevent underestimation of the calculation result. It is also uncertain whether the validations carried out are sufficiently representative of the environment in question. The uncertainties mean that the calculated noise levels are often higher than the noise levels occurring in practice. At the time of assessment (prior to the FEED), the specific geotechnical values of the shallow subsurface were not yet known. The assumptions and findings are therefore subject to change and must be checked and possibly adjusted in due course, after completion of the further geotechnical investigation [4].

Noise modelling will be carried out (by others) once the pile driving assessment has been determined. This will allow for specific noise levels to be determined based on the selected pile driving hammer, local geology and resulting power profile for the installation of each pile.

Further details of the potential impacts from underwater noise generation on marine fauna are presented in the Aramis Environmental Impact Assessment (EIA (MER)) [4, 5].

4.6 Commentary

The current permit application for the Aramis project includes details of several mitigations which should be used to reduce impacts on wildlife during construction activities [4, 5], these include:

- Noise-reducing measures should be taken during the piling works (e.g. by using an HSD System/bubble screen) or a working method in which relatively little underwater noise will occur to avoid effects on the population of porpoises (the noise level should be below 160 dB at 750 m distance).
- To mitigate effects of noise due to works, a Marine Mammal Observer (MMO) and Passive Acoustic Monitoring (PAM) will be used.
- When piling the platform jacket foundations and jetties, an Acoustic Deterrent Device (ADD) combined with a soft start will be applied. One or more ADDs with a range of at least 500 m will be used for half an hour before as well as during pile-driving.
- The soft start should be at least 30 minutes long, starting with five minutes at about 20% of the stroke energy, then gradually increasing the stroke energy to 90%. After 30 minutes, any marine mammals present will have swum far enough away to avoid hearing damage.
- Silent vessels should be used as much as possible to minimise continuous underwater noise. Use silent vessels as much as possible for construction.
- Ships should stay 1,500m from resting and nursing seals.
- In the North Sea coastal zone, ships must keep a minimum distance of 500m from bird concentrations of scaup, eider and black scoter, as well as 1,500m from the part of the sandbar(s) on which Gray or Common seals are found.
- For transport movements to and from the platform, existing shipping routes will be used as much as possible, avoiding crossing with Natura 2000 areas as much as possible.

An additional restriction originally stated by Aramis for activities taking place during low wind conditions includes:

When there is no wind, the disturbed surface is approximately twice as large as with an average wind of 6.5 m/s. For this reason, Aramis does not carry out piling work as standard when there is no wind (wind force 0 Beaufort or 0-0.2 m/s) [4, 5].

The above restriction is not considered feasible or practical for the following reasons:

- Periods of low wind conditions are considered optimal from a safety and operational perspective for heavy lifting activities.
- Delays in operational activity are likely to significantly extend the overall construction period adding to potential disturbance of wildlife from extended vessel presence.
- As stated within MER documentation, the primary concern regarding noise from pile driving activity relates to impacts on marine species, particularly marine mammals. Underwater noise is not directly related to above sea level conditions and therefore changes in wind conditions which may extend above sea level will not significantly alter underwater sound profiles.

It is therefore proposed that this restriction be removed from operating plans. Underwater noise will be managed in line with the mitigations detailed above and any subsequent mitigations which are determined once site specific underwater noise modelling has been carried out.

5 ASSESSMENT OF IMPACTS – ONSHORE OPERATIONS

5.1 Introduction

Specific sound levels generated by the development proposals have been predicted to the site facing façade or site facing outdoor amenity space of the nearest noise-sensitive receptors identified using the calculation methodology outlined in ISO9613.

The resulting predicted specific sound levels have then been assessed in accordance with the guidance contained in the Noise Abatement Act and the World Health Organisations' Guideline for Community Noise.

5.2 Sources Being Assessed – Onshore Equipment

Equipment specifications state a noise emission level of no greater than 85dB(A)@1m.

Details of the noise generating equipment are provided in Table 5-1.

Table 5-1: Operational Noise Source Information

Area	Noise Source	Qty
Beach Head	32" Beach Valve	1
	Analyser Vent	1
	Thermal Relief Valve	1
Compressor Station	32" Pig Launcher	1

5.3 Noise Modelling Protocols

The model was constructed using the proprietary noise modelling software package CadnaA utilising Google Earth geo-referenced 1:1 scaled aerial photography and openstreetmap.org mapping data.

The site has been modelled as flat with a reflecting surface, i.e., the ground between the site and the receptors would be 100% hard ground/water. Wind and temperature gradient assisted sound propagation has been assumed to all receptors.

5.4 Predicted Sound Levels

For the purposes of this assessment the predicted sound levels assume that all equipment would be operating simultaneously and at 100% capacity.

Specific sound levels have been predicted to heights of 4.0m for a first-floor bedroom window at Zeecant beach house and properties on Seinpad and 20m for top floor apartments on Pr. Paulineweg. The results are shown in Table 5-2. A noise contour plot is shown in Figure A1-2 of Appendix A.

Table 5-2: Predicted Noise Levels at the Receptors

Receptor Location	Predicted Specific Sound Level, dB $L_{Aeq,T}$
Zeecant Beach Houses	**11.3**
Seinpad Houses	**-**
Pr.Paulineweg Top Floor Apartments	**7.0**

5.5 Assessment of the Impacts

As a worst-case, it is assumed that operations associated with the project would be undertaken on a 24/7 basis therefore the predicted noise levels have been assessed against the outdoor WHO guidance value for sleep disturbance. This is considered the most stringent criterion and would also indicate that the levels set out in the Noise Abatement Act are also met.

The predicted noise levels have been rounded to the nearest whole number. Table 5-3 summarises the results of the assessment.

Table 5-3: Assessment of Impacts

Location	Period	Location	Predicted Noise Level dB LAeq,T	Guideline Value, dB	Difference, dB
Zeecant Beach Houses	Night-time 23:00 – 07:00 hrs	Outside	11	45	-34
Seinpad Houses			-		-45
Pr.Paulineweg Top Floor			7		-38

Table 5-3 shows that predicted noise levels would be well within the external guideline values for sleep disturbance at the nearest residential receptors identified and would therefore also easily meet the levels for dwelling outside and industrial zone set out in the Noise Abatement Act.

5.6 Commentary – Onshore Noise Sources

It should be noted that the identified receptor locations are close to other sources of noise, including shipping, port, and transport infrastructure development nearby. It is considered that the noise levels associated with the Aramis Project would not be noticeable over other, existing, sources in the area.

Although baseline noise surveys have not been undertaken, it is considered that due to the worst-case predicted noise levels being very low there would be no increase in ambient noise levels and therefore, no cumulative impact from noise generated by the Aramis Project.

6 ASSESSMENT OF IMPACTS – OFFSHORE OPERATIONS

6.1 Introduction

Specific sound levels generated by the development proposals have been predicted to the nearest onshore residential area identified using the calculation methodology outlined in ISO9613.

The resulting predicted specific sound levels have then been assessed in accordance with the guidance contained in the Noise Abatement Act and the World Health Organisations' Guideline for Community Noise.

6.2 Sources Being Assessed – Offshore D-HUBN Equipment

The D-HUBN platform is located approximately 75km from the nearest onshore dwellings at De Cocksdorp and therefore noise from operational equipment at the platform would not be audible above existing ambient noise levels.

As per the onshore equipment, equipment specifications state a noise emission level of no greater than 85dB(A)@1m.

Details of the noise generating equipment on the D-HUBN platform are provided in Table 6-1.

Table 6-1: Noise Source Information – Offshore D-HUBN Platform

Noise Source	No. of Plant Items
32" Pig Receiver	1
24" Pig Launcher	1
20" Pig Launcher	1
32" Pig Receiver Valve	4
Distribution Head Throttle Valve	1
18" Distribution Head Isolation Valve	6
16" Distribution Head Isolation Valve	4
24" Pig Launcher Isolation Valve	12
20" Pig Launcher Isolation Valve	8
Emergency Diesel Generator (enclosed)	1
Wind Turbine	3
Emergency Depressurisation Valve	1
Thermal Relief Valve	1

Walk To Work Vessel	1
Maintenance vessel	1

6.3 Noise Predictions

A noise model was constructed using the proprietary modelling software package CadnaA and layout drawings of the main deck, mezzanine and upper deck areas supplied by the client. A receptor location was placed at 100m from the platform at a height of 1.5m above the main deck level, i.e., 22.5m above sea level. The resulting predicted noise level was then corrected for distance to a notional onshore receptor 75km from the platform to represent dwellings at De Cocksdorp using the following formula:

$R_{onshore} = R_{offshore} - 20log\left(\frac{d1}{d2}\right)$, dB where d1 = offshore distance

d2 = distance from D-HUBN to onshore receptor

The calculation does not account for any height change due to the difference in receptor locations or the curvature of the Earth.

For the purposes of this assessment the predicted sound levels assume that all equipment would be operating simultaneously and at 100% capacity. The predicted noise level 100m from the platform would be approximately 58dB and the noise level at the onshore receptor, at worst, would be:

$R_{onshore} = R_{offshore} - 20log\left(\frac{100}{75000}\right)$

$= 58 – 57.5$

$= 0.5dB$

Based on this, noise from offshore operations would not be audible onshore.

6.4 Commentary

It should be noted that the identified receptor locations at De Cocksdorp are close to other sources of noise, including recreational development and the North Sea. The D-HUBN platform is located approximately 75km from the nearest onshore dwellings at De Cocksdorp and therefore noise from operational equipment at the platform would not be audible.

7 CONCLUSION

The Noise Study has been undertaken to evaluate the potential effects of the Aramis project on nearby residential areas in accordance with the relevant standards and guidance and to provide outline mitigation advice if considered necessary.

Sound levels generated by the proposed development have been predicted to the nearest noise sensitive receptors using CadnaA implementing the calculation methodologies detailed in ISO9613-2.

The assessment of potential noise impacts has been informed by guidance detailed in the Building Works and Living Environment Decree, Noise Abatement Act and the World Health Organization Guidelines for Community Noise.

The assessment of noise from construction works would easily meet the <60dB guidance levels contained in the Building Works and Living Environment Decree for unlimited duration construction works during the daytime at the nearest receptors identified. Should construction operations be undertaken during the night, predicted noise levels would remain significantly below the WHO guidance levels for sleep disturbance in bedrooms.

The assessment of noise from onshore operational activities would fall well below the criteria from the WHO guideline at all times and would easily comply with the criterion from the Noise Abatement Act.

The offshore activities are well removed from the nearest receptors and, based on distance attenuation alone, would be inaudible at the nearest receptor locations.

Preliminary assessment of underwater noise generated by pile driving indicates that a worst case scenario may produce noise levels above limits stated in the North Sea Agreement. Specific noise levels however will be assessed further once further detail such as geological assessments and pile driving assessments have been completed. Should predicted receiver levels still exceed North Sea agreement limits further mitigations shall be deployed.

Given the above, it is considered that the development proposals, both on and offshore, would operate without adversely affecting nearby sensitive receptors in terms of acoustic impact, reflecting the conclusions outlined in the MER.

8 REFERENCES

1. ISO, NEN-EN-ISO 19902:2020 Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures, 2020.
2. MER CO2 transportinfrastructuur Aramis. ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2030. (MER-Bijlage 17. Laagfrequent geluid) 2024.
3. Aramis Transport – Permitting & Stakeholder design requirements NL-ARM-100-ARM1-900006.
4. MER Aramis CO2 transportinfrastructuur. ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2008. (MER-Bijlage 18. Onderwatergeluid) 2024.
5. MER Aramis CO2-transportinfrastructuur. ARM-PFE-B10-ENV-EIA-2004 (MER-Bijlage 5. Passend beoordeling zeegebieden - F1).

APPENDIX A GLOSSARY OF TERMINOLOGY

Noise is defined as unwanted sound. The range of audible sound is known to be from 0dB (threshold of hearing) to 140dB (threshold of pain). Examples of typical noise levels relating to 'everyday' occurrences are given in Table A-1 below.

Table A-1: Typical Noise Levels

Source	Sound Pressure Level in dB(A)	Subjective Level
Gun shot	160	Perforation of eardrum
Military Jet take-off	140	Threshold of pain
Jet Aircraft at 100m	120	Very Loud
Rock Concert, front seats	110	Threshold of Sensation
Pneumatic Drill at 5m	100	Very Loud
Heavy goods vehicle from pavement	90	
Traffic at kerb edge	70 – 85	Loud
Vacuum Cleaner, Hair Dryer	70	
Normal conversation at 1m	60	Moderate
Typical Office	50 – 60	
Residential area at night	40	Quiet
Rural area at night, still air	30	
Leaves Rustling	20	
Rubbing together of fingertips	10	
	0	Threshold of hearing

The frequency response of the human ear to noise is usually taken to be around 18Hz (number of oscillations per second) to 18,000Hz. However, the human ear does not respond equally to different frequencies at the same level; it is more sensitive in the mid-frequency range than lower and higher frequencies and, because of this when undertaking the measurement of noise, the low and high frequency components of any given sound are reduced in importance by applying a filtering (weighting) circuit to the noise measuring instrument. The weighting which is widely accepted to correlate best with the subjective nature of human response to noise and is most widely used to quantify this is the A-weighted filter set. This is an internationally accepted standard for noise measurement.

For variable noise sources within an area an increase of 3dB(A) would be the minimum perceptible to the human ear under normal conditions. It is generally accepted that an increase/decrease of 10dB(A) corresponds to a doubling or halving in perceived loudness. The 'loudness' of a noise is a purely subjective parameter, dependent not only upon the sound pressure of the event but also on the dynamics of the listener's ear, the time of the day and the general mood of the person.

With regards to environmental noise levels (in the open air), these are rarely steady but rise and fall according to the activities being undertaken within the surrounding area at any given time. Attempting produce a figure that relates this variable nature of noise to human subjective response, various statistical noise metrics have been developed. These and other useful terminology and descriptors are presented in Table A-2 below.

Table A-2: Terminology

Term	Definition
Sound	Pressure fluctuations in a fluid medium within the audible range of amplitudes and frequencies which stimulate the organs of hearing.
Noise	Unwanted sound emitted from a source and received by the sensitive receptor.
Decibel (dB)	Unit most often used to describe the sound pressure level. A logarithmic number, it correlates closely to the way in which humans perceive sound. Its wide range of values helps quantify sound pressures from a large variety of magnitudes.
A-Weighting (dB(A))	Human perception of sound is frequency dependant. A-weighting applies a range of corrections at each frequency to provide a 'human-averaged'. Can be frequency band or broadband values.
Frequency (Hz)	The number of cycles per second, for sound this is closely related (and often mistaken for) pitch.
Frequency Spectrum	A more detailed analysis of the frequency components that comprise a sound source.
$L_{A10,T}$	The 10th statistical percentile of a measurement period, i.e., the level that is exceeded for 10% of the measurement duration. Closely correlates with traffic sources, A-weighted.
$L_{A90,T}$	The 90th statistical percentile of a measurement period, i.e., the level that is exceeded for 90% of the measurement duration. Used to describe background sound levels, as this value is affected less by short, transient sound sources, A-weighted.
L_{Amax}	The root mean square (RMS) maximum sound pressure level within a measurement period, A-weighted.

Term	Definition
Ambient Sound	The total sound climate of all noise sources incident at one location, both in the near- and far-field (The ambient sound comprises the residual sound and the specific sound when present).
Ambient Sound Level La = $L_{Aeq,T}$	Equivalent continuous A-weighted sound pressure level of the totally encompassing sound in a given situation at a given time, usually from many sources near and far, at the assessment location over a given time interval, T.
Background Sound Level $L_{A90,T}$	A-weighted sound pressure level that is exceeded by the residual sound at the assessment location for 90% of a given time interval, T, measured using time weighting F and quoted to the nearest whole number of decibels.
Equivalent Continuous A-weighted Sound Pressure Level $L_{Aeq,T}$	Value of the A-weighted sound pressure level in decibels of continuous steady sound that, within a specified time interval, T = t2 – t1, has the same mean-squared sound pressure as a sound that varies with time, and is given by the following equation: $$L_{Aeq,T} = 10lg_{10}\left\{\left(\frac{1}{T}\right)\int_{t1}^{t2}\left[p_A\frac{(t)^2}{p_0{}^2}\right]dt\right\}$$ Where p0 is the reference sound pressure (20μPA); and PA(t) is the instantaneous A-weighted sound pressure level at time t.
Measurement Time Interval T_m	Total time over which measurements are taken (This may consist of the sum of several non-contiguous, short-term measurement time intervals)
Rating level $L_{Ar,Tr}$	Specific sound level plus any adjustment for the characteristic features of the sound, over time, T.
Reference Time Interval, T_r	Specified interval over which the specific sound level is determined (This is 1hr during the day from 07:00 to 23:00 hours and a shorter period of 15-min at night from 23:00 to 07:00 hours).
Residual Sound	Ambient sound remaining at the assessment location when the specific sound source is suppressed to such a degree that it does not contribute to the ambient sound.
Residual sound level $L_r = L_{Aeq,T}$	Equivalent continuous A-weighted sound pressure level of the residual sound in a given situation at the assessment location over a given time interval, T.
Sound Pressure Level	The level of fluctuation in air pressure, caused by airborne sound sources. Measured in Pascals (Pa).
Sound Power Level	The rate at which sound is radiated by a source. This parameter is useful as it describes sound energy before environmental or decay factors. Quantified in dB and notated usually as L_W or SWL.

Term	Definition
Specific sound level $L_S = L_{Aeq,Tr}$	Equivalent continuous A-weighted sound pressure level produced by the specific sound source at the assessment location over a given time interval, T.
Specific Sound Source	Sound source being assessed.

APPENDIX B STATEMENT OF UNCERTAINTY

This report is based upon a range of measurements, a system of calculations and noise predictions. As such, this report attempts to quantify fluctuations in air pressure and is subject to the effects of meteorology, physical and perceived anomalies, tolerances within the measuring and monitoring equipment and accuracy margins within the noise modelling software. In the interests of repeatability, this report must be considered as being affected by common factors involved in the measurement and calculation of noise propagation.

All measurement values, outcomes and assumptions are subject to a margin of uncertainty. This has been quantified and assessed as follows:

Rounding errors – systemic tolerance of ±1dB;

Meteorology – allowance of ±1.9dB; and

CadnaA noise propagation modelling software – operational accuracy of ±2.1dB

The most influential uncertainty factors for the assessment of noise are deemed to be equipment tolerances, meteorology, and software accuracy. A root-sum-square statistical average has been used to provide an overall margin of uncertainty of ±3dB.

APPENDIX C STATEMENT OF COMPETENCY

C.1 Darren Lafon-Anthony MSc MIOA FIQ

The assessment has been undertaken by, or under the supervision of, Mr. Darren Lafon-Anthony who is the Director of Acoustics at Enzygo Limited. Mr. Lafon-Anthony holds a Master of Science Degree in Applied Acoustics and has been a Corporate Member of the Institute of Acoustics since July 2004 having previously been an Associate Member of the institute since October 2001. Mr. Lafon-Anthony is also a Fellow of the Institute of Quarrying based on his contribution to minerals and mining noise assessment and mitigation, a qualification he has held since September 2014.

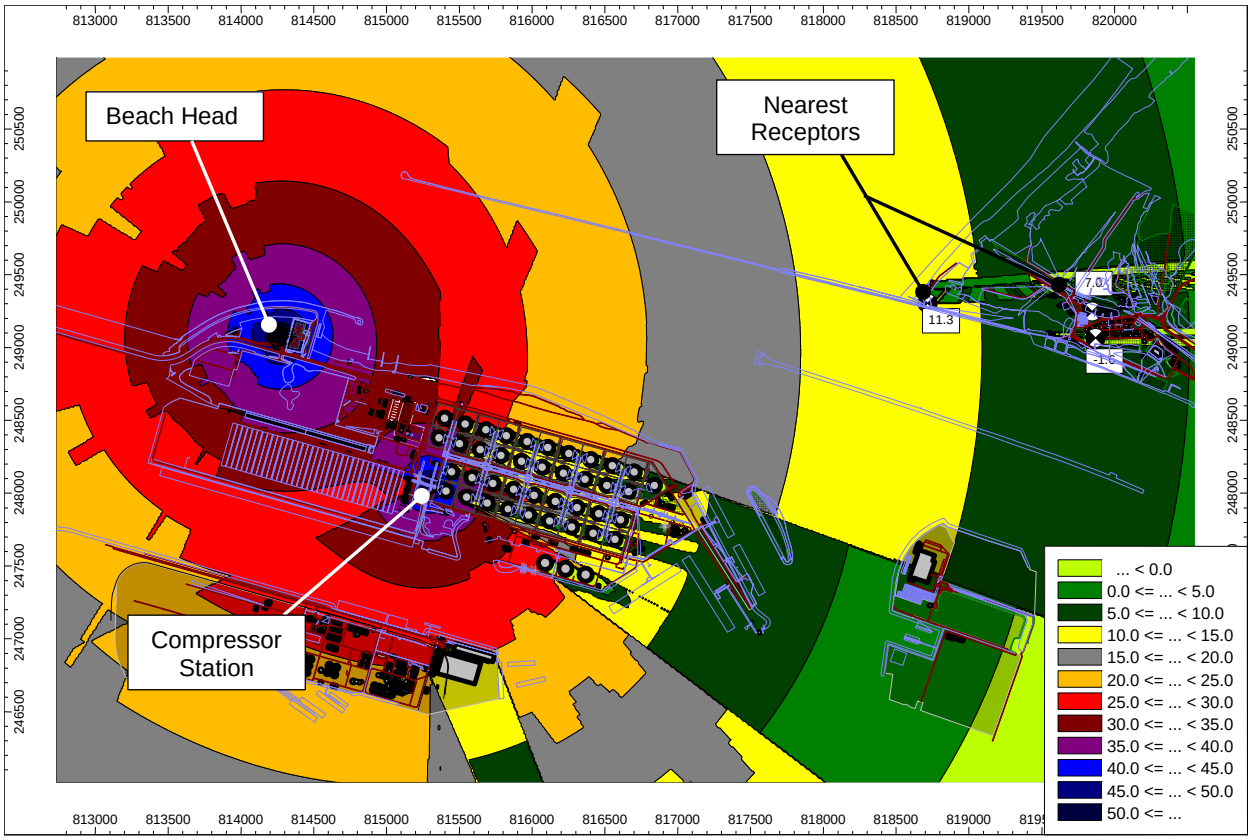
Mr. Lafon-Anthony has worked in acoustics since January 1981. Initially as an engineer designing and overseeing manufacture of noise control equipment for the water industry, standby power diesel generator and power generation markets for several noise control equipment manufacturers and, since February 2004, as an environmental noise consultant in various sectors, including mineral and mining sites, waste disposal and recycling sites, large industrial developments, energy supply projects (EfW, STOR and Battery Energy sites) and residential developments in the UK, Europe and sub-Saharan Africa.

C.2 Mark Harrison BSc (Hons) MIOA

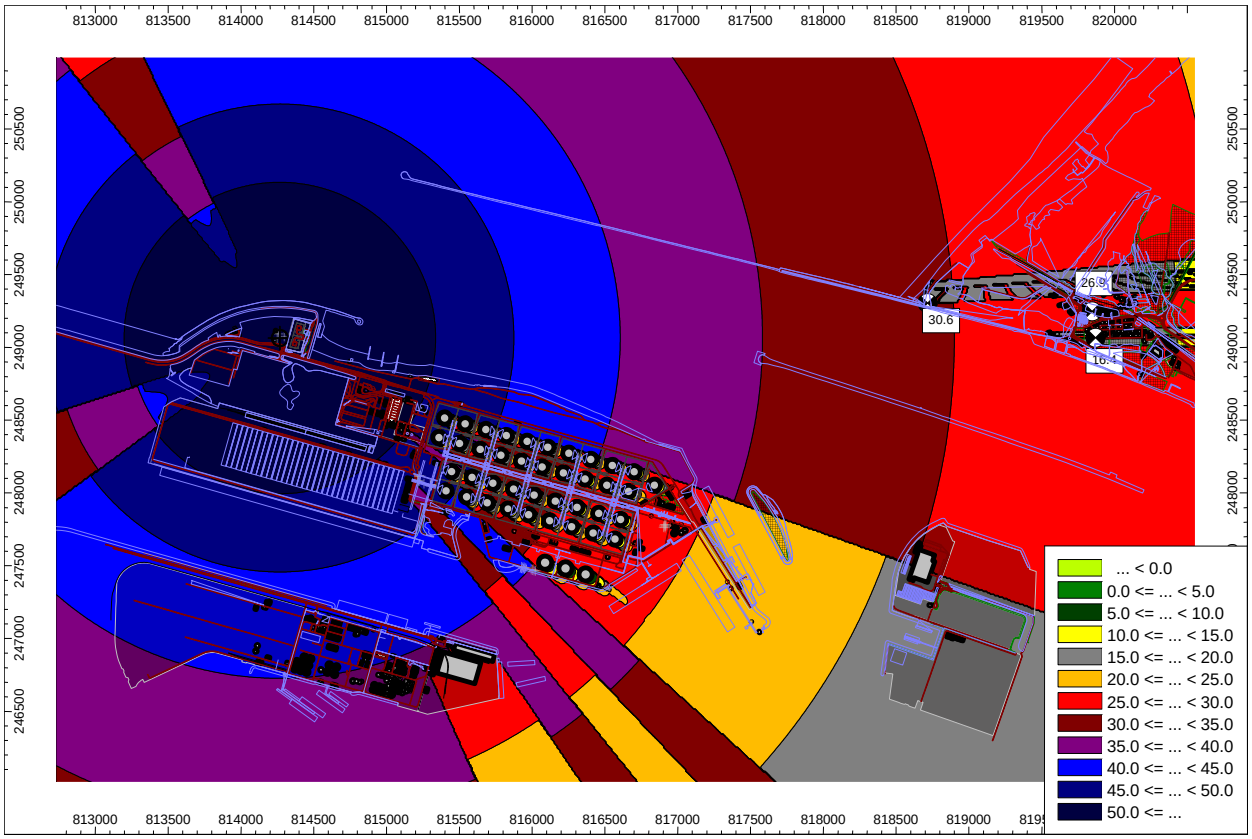
The assessment has been reviewed by Mr Mark Harrison, Principal Acoustic Consultant at Enzygo Limited. Mr Harrison holds a Batchelor of Science degree in Music Technology and a post graduate Diploma in Acoustics and Noise Control.

Mr Harrison has worked in acoustic consultancy since 2007 and has worked on noise and vibration assessments in several sectors including industrial / commercial developments; power generation and distribution; residential developments; transport schemes; and mineral extraction and processing.

APPENDIX D CONTOUR PLOT – ONSHORE OPERATIONAL NOISE



APPENDIX E CONTOUR PLOT – ONSHORE CONSTRUCTION NOISE



Bijlage 10

Risk assessment

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Tunnel FEED - Risk Assessment - Environmental, Health and Safety				Document Reference NL-ARM-040-ARU1-110311	
				Revision: 00	**Step**: IFR
				Date: 25/07/2024	
Document Type: REP	**Family Equip:** n/a	**Discipline:** CIV	**Class:** 2	**Page** 1 of 54	

ARAMIS

ARAMIS PROJECT

Petrofac

Rev	Step	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
00	IFR	25/07/2024	Issued for review	[redacted]	[redacted]	[redacted]

This document is issued pursuant to an Agreement between TotalEnergies Nederland B.V and Petrofac Facilities Management Limited which agreement sets forth the entire rights, obligations, and liabilities of those parties with respect to the content and use of the report. Reliance by any other party on the contents of the report shall be at its own risk. Petrofac makes no warranty or representation, expressed or implied, to any other party with respect to the accuracy, completeness or usefulness of the information contained in this report and assumes no liabilities with respect to any other party's use of or damages resulting from such use of any information, conclusions or recommendations disclosed in this document.

CONTENTS

ABBREVIATIONS 4

DEFINITIONS 5

HOLDS 6

1 INTRODUCTION 7

1.1 Background 7

1.2 Scope & Purpose 8

2 SYSTEM DEFINITION 10

2.1 Shaft 10

2.2 Tunnel 11

2.3 Reception Pit 14

2.3.1 Internal Strengthening Option 14

2.3.2 Monopile Option 15

2.3.3 Excavation Methodology 15

2.4 TBM Retrieval 22

3 RISK ASSESSMENT APPROACH 26

3.1 Risk Identification 27

3.1.1 HAZID 27

3.1.2 HAZOP 29

3.1.3 HAZCON 31

3.2 Risk Analysis 32

3.3 Risk Evaluation 33

3.4 Risk Treatment (ALARP) & Risk Control 34

3.4.1 Hierarchy of Controls 34

3.4.2 ALARP Demonstration 35

4 OVERALL DESIGN SAFETY ARGUMENT 37

4.1 Increased Loading or Impact to Tunnel 37

4.2 Flotation of Tunnel 38

4.3 Water / Soil Ingress 39

4.4 Face Instability 39

4.5 Diving Activity 40

4.6 Working at Height 41

5 CONCLUSION 42

6 REFERENCES 43

APPENDIX A TUNNEL FEED HAZARD REGISTER EXTRACT 44

A.1 Design Risk Controls 44

List of Figures

Figure 1-1 – Overview of CCS Infrastructure 7
Figure 1-2 – Aramis Shore Crossing Layout 8
Figure 2-1 – Horizontal Tunnel Alignment 13
Figure 2-2 – Vertical Tunnel Alignment 13
Figure 2-3 – Plan View of Reception Pit – Monopile Option 17
Figure 2-4 – Section View of Reception Pit – Monopile Option 18
Figure 2-5 – Plan View of Reception Pit – Internal Strengthening Option 19
Figure 2-6 – Section View of Reception Pit – Internal Strengthening Option 20
Figure 2-7 – Disposal Area (Loswal NW, green outline, left image) and Van Oord Extraction Area (S3-2, green outline, right image) 21
Figure 2-8 – Secondary Lining TBM Retrieval Method 22
Figure 2-9 – Steel Tube Monopile Reception Pit Construction Sequence and TBM Retrieval Method 23
Figure 3-1 – General Risk Assessment Framework 26
Figure 3-2 – Hierarchy of Controls *(From Aramis)* 35

List of Tables

Table 3-1 – HAZID Attendees 27
Table 3-2 – HAZOP Attendees 29
Table 3-3 – HAZCON Workshop Attendees 31
Table 3-4 – Severity Criteria 32
Table 3-5 – Likelihood Criteria 33
Table 3-6 – Risk Matrix 33
Table 3-7 – Risk Level Definitions 33
Table 5-1 – Hazard Status 42

ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
ALARP	As low as reasonably practicable
CCS	Carbon capture storage
FEED	Front end engineering design
HAZCON	Construction hazard study
HAZID	Hazard identification study
HAZOP	Hazard operability study
PLANC	Permits, Licences, Authorisations, Notifications & Consent
ROV	Remote operated vehicle
SHEAMS	Safety, Health & Environment Action Management System
TBM	Tunnel boring machine
UXO	Unexploded ordnance

DEFINITIONS

Terminology	Definition
Company	Aramis, a joint development by TotalEnergies, Shell Netherlands, Energie Beheer Nederland (EBN) and NV Nederlandse Gasunie.
Aramis	Refers to assets owned and operated by Aramis
Project	Aramis Project consisting large-scale infrastructure to transport CO2 captured by other industrial enterprises and to deliver this offshore to depleted gas fields in which the CO2 will be stored permanently.
FEED Contractor	Petrofac Facilities Management Ltd.
EPC Contractor Sometimes EP(S)C or EP(S)CC	Party or organisation selected by the Company to execute the detailed engineering, procurement (supply) and construction (and commissioning) phase of the project.
Supplier	Party or organisation that manufactures, supplies equipment packages and/or services to perform duties specified by the Company, FEED Contractor or EPC Contractor.
Shall	Is used to indicate a mandatory requirement.
Should	Is used to indicate that the provision is preferred.
May	Is used to indicate alternatives, which are equally acceptable, at Contractor discretion.
Must	Is used to indicate compulsory, legally binding requirement.

HOLDS

No.	Section	Hold
-	-	No holds identified

1 INTRODUCTION

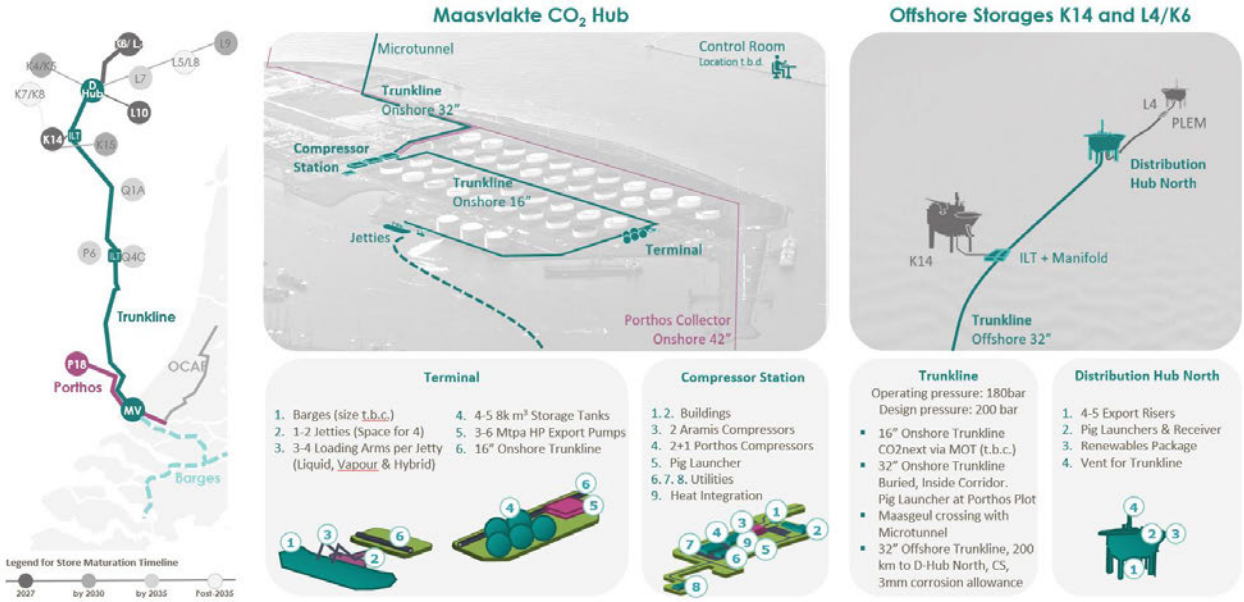
1.1 Background

The Aramis project is a cooperation between Shell, TotalEnergies, Gasunie and Energie Beheer Nederland to utilise depleted gas fields and potentially aquifers in the Dutch North Sea to establish an open-access carbon capture storage (CCS) infrastructure for transport and storage, targeting hard-to abate industrial emissions in the Netherlands and Europe.

This part of the project provides the transport of CO2 from the onshore terminal to an offshore platform, which is used as distribution hub (D-Hub). Other parts of the project are provided by CO2next and Porthos, while the actual storage in the depleted offshore gas fields under the North Sea is performed by Shell and TotalEnergies as part of their offshore operations.

In Figure 1-1 below, an overview of the envisaged CCS infrastructure is given. The left panel illustrates the trunkline that transports the CO2 from the Maasvlakte to the offshore storage. The middle panels illustrate the Maasvlakte Hub with the Porthos compressor station and the CO2next Terminal. The right panel shows the platforms of TTE and Shell.

Figure 1-1 – Overview of CCS Infrastructure



1.2 Scope & Purpose

Petrofac Facilities Management Ltd have commissioned Ove Arup & Partners Ltd. to undertake the engineering design of the shore crossing. Arup's scope includes the development of the front end engineering design (FEED) to sufficient detail to enable tendering for a design and build (EPC) contractor of the following elements:

- The design of the Shaft on the "Sharkfin Site" (See Figure 1-2) for tunnel construction, logistics and pipeline installation;
- Tunnel (including vertical alignment) considering ground conditions, geometry, construction and other requirements such as long-term stability, settlements and durability; and
- Reception pit and establishment of other design considerations such as marine works, geotechnical, structural (tunnel lining), tunnel boring machine (TBM) retrieval, geo-environmental and third-party impacts including installation of pipeline including potential need for backfilling.

Figure 1-2 – Aramis Shore Crossing Layout



The following aspects are identified as being outside of Arup's design scope and to be managed by the Contractor:

- Design of the pipeline;
- Permits, Licences, Authorisations, Notifications & Consent (PLANC);
- Management strategy for executing PLANC plan;
- Interface management plan;
- Technical specification of works for any additional investigations or surveys; and
- Phase 2 Contaminated land risk assessment.

The FEED will be developed with the aim of controlling health, safety and environmental hazards to as low as reasonably practicable (ALARP) levels and this will involve risk assessments following best practice for risk identification and reduction. Arup's risk assessment scope of work includes the provision of a risk register and risk identification workshops including:

- A hazard identification (HAZID) workshop;
- A hazard operability study (HAZOP); and
- A construction hazard study (HAZCON).

This report gives an overview of the risk assessment approach taken for Arup's scope of the shore crossing at FEED level detailed in the Tunnel Feed Basis of Design (NL-ARM-040-ARU1-110301) and the outcomes of it [1]. This report will be used to support the safety argument that all foreseeable risks within the scope of this assessment have been identified and all reasonable steps have been taken at design to reduce the risk to ALARP by using Safe by Design principles. Where risks cannot be controlled to ALARP within design, recommendations have been made for the future Contractor to control the residual risk to ALARP.

2 SYSTEM DEFINITION

The system definition forms the foundation for understanding the system's context, boundaries, components, functions, and interactions. It is a crucial step in the risk assessment process as it ensures that all relevant aspects of the system are considered when identifying, analysing, and evaluating risks. For an in-depth overview of the design of the shore crossing refer to the Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306) [2].

2.1 Shaft

The shaft will be located in the Sharkfin, with an approximate clearance of 20m between site boundary and shaft wall, interfacing with the tunnel at a 5% gradient. The shaft is constructed within the made ground (dredged material from the reclaim of Maasvlacte 2) and Naaldwijk Formation, which are primarily sandy, high permeability soils with low-strength strata/pockets of clays and peat.

The shaft will serve a dual purpose of:

- Launching the pipe jacking and TBM for tunnel construction; and
- Facilitating pipeline installation.

The shaft structure for the diaphragm wall option will comprise of:

- A 1.2m thick diaphragm wall (which is assumed to be constructed using three-bite panels in accordance with Dutch construction practice), which will extend 1m above the existing ground level and with a total depth of 27.6m. Depending on the D-Wall panel size chosen by the EPC contractor to suit their equipment, the resulting shaft may have a more polygonal appearance than the idealised circular concept;
- A 3m thick structural slab, consisting of an initial unreinforced layer 2m thick and a second fully reinforced layer 1m thick;
- 91No. 150mm diameter tension piles, anchored into the 1st unreinforced layer of the structural base slab. The tension piles will be designed to resist the buoyancy forces at the bottom of the shaft structure and will be reinforced with Dywidag or Macalloy reinforcing systems;
- A capping beam 1.4m wide and 1m high. The capping beam is raised 1m above the temporary piling platform to act as a protection against falls during the construction phase;
- A thrust wall with an average thickness of 2m;
- A tunnel eye with an average thickness of 1m.

The shaft spaceproofing can accommodate the tunnel construction and the winching operation during the installation of the pipeline. The aforementioned internal diameter of 16.7m is deemed to be adequate for the tunnel construction equipment for both construction options of pipe-jacking and TBM methods.

The pipeline design consultant Offshore Independents (OI) have also confirmed that the shaft spaceproofing is adequate for the proposed winching equipment, and that the shaft is a safe distance from the sea defence [3]. Consequence Class is discussed in the Tunnel FEED Design Report [2].

2.2 Tunnel

The tunnel is designed to accommodate the CO_2 pipeline and has a total length of 1751m with a maximum 2000m vertical radius. The horizontal alignment is straight for the full length of the tunnel from the shaft to reception pit.

The concrete mix used for construction of the shall comply with the relevant standards and codes (including Dutch Eurocodes 2: NEN EN-1992 and NEN-EN 206 Standards). The precast concrete used for the segmental lining and jacking pipes is at a strength grade of C50/60 with the steel reinforcement at steel grade B500. Polypropylene fibres are added to concrete segments for passive fire protection. Steel fibres are added to concrete for increased tensile capacity and resistance to shrinkage.

The horizontal alignment of the tunnel, shown in Figure 2-1, has been designed to accommodate the locations of the shaft and reception pit, respecting local site constraints. The vertical alignment of the tunnel considers the gradient, overburden and clearances required for operation. The alignment is divided into 3 zones, shown in Figure 2-2, each with specific gradient requirements:

- Zone 1: The vertical gradient in this zone (-5%), is a function of the operational gradient of the locomotive and the depth of shaft. The minimum cover is governed by the settlement analysis under the sea defence;
- Zone 2: The vertical gradient in this zone (+0.1%) is a function of the water management inside the tunnel during the construction. There is a low point in the tunnel between Zone 1 and Zone 2, where a sump pump could be required. The minimum cover is governed by the face stability under the shipping channel and settlement analysis under the TenneT cables; and
- Zone 3: The vertical gradient in this zone (+5%) is a function of the operational gradient of the locomotive. The minimum cover is governed by face stability analysis at the reception pit.

The tunnel construction is based on a hybrid approach using both pipejacking and segmental lining methods facilitated by a slurry shield TBM machine. For the hybrid solution, 3 variants have been studied:

1) Hybrid ‘Flying start’: a start-up of tunnelling in pipe jack mode and switch to segmental tunnelling after approx. 100-150m. This option combines the advantage of pipe jacking (fast start up and a smaller shaft) and segmental tunnelling (assumed higher drive speed and a low risk of getting stuck).

2) Hybrid solution for maximized speed of construction with a planned switch from pipe jacking to segmental tunnelling in the vicinity of 1.000m - 1.500m drive length: This option results in a small shaft and maximum drive speed assuming the friction losses remain low in the anticipated ground conditions and the need for intermediate jacking is very limited.
3) Switch from pipe jacking to segmental tunnelling based on actual production speed and actual friction forces, without prior information on the exact location: This option aims to maximise the drive speed by switching only when necessary, depending on actual production speed and actual friction forces.

Figure 2-1 – Horizontal Tunnel Alignment

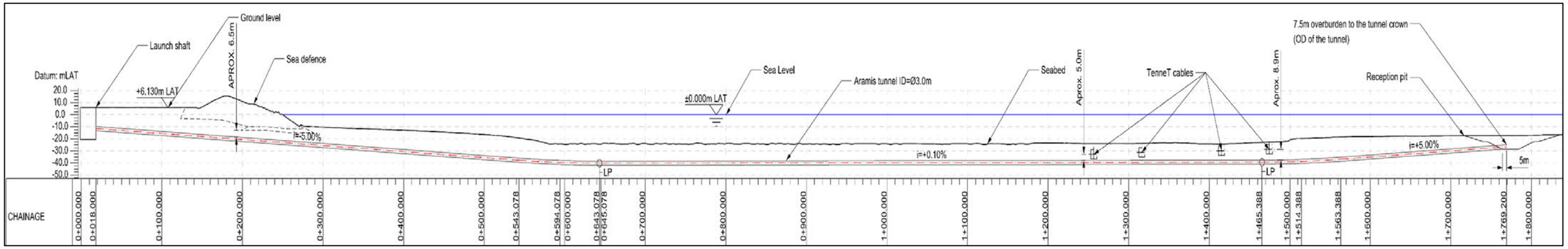
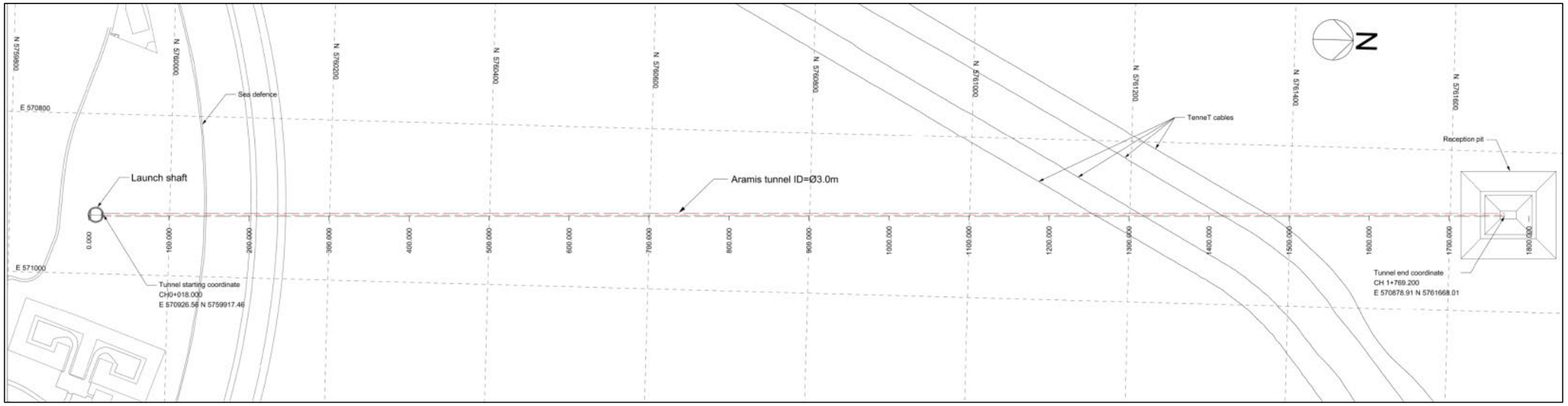


Figure 2-2 – Vertical Tunnel Alignment



2.3 Reception Pit

The reception pit design has primarily been developed for two scenarios, considering an "internal strengthening" scenario and a "monopile sleeve" scenario. The reception pit methodology has been developed through discussion with 2 dredging Contractors. The base case developed for FEED is the internal strengthening scenario.

The reception pit takes the form of an open excavation in the seabed with the geometry and setting out of the pit based on several factors. The tunnel alignment primarily determines the setting out of the pit and proximity to existing assets (such as the TenneT cables) and hazards such as unexploded ordnance (UXO), as well as having a primary influence on the depth of the pit.

The TBM recovery methodology has a secondary influence on the required dredge depth, as this needs to accommodate the various TBM recovery activities, such as placement of levelling gravel, concrete slabs etc in the case where the monopile sleeve is adopted.

The geometry of the pit is also influenced by:

- the dredged slope gradients that can remain stable for the required timings of the works;
- any additional slope gradient requirements not related to stability (TBC through Contractor discussions); and
- the footprint at the base of the excavation (TBM geometry plus allowances for access etc.).
- tidal / local sea conditions (which influence infilling)

For construction schedule purposes, it is noted that marine works are constrained to take place outside the storm season (assumed to be October – March inclusive).

2.3.1 Internal Strengthening Option

The internal strengthening option would not likely require additional structures within the reception pit and therefore a shallower dredge depth (and reduced dredge volume) is possible.

Figure 2-5 shows the envisaged pit geometry on plan for the internal strengthening option, which results in a dredge volume of approximately 73,500m^3. Figure 2-6 shows the envisaged pit geometry in section for the internal strengthening option. In this option, the top of the TBM (only) is exposed to allow recovery and it seems feasible for no operatives to be in the tunnel at this time, which reduces the risk from vessel related hazards such as dropped anchors.

There are additional slope gradient requirements not related to stability, which are dependent on the Contractor methodologies for pipe laying operations. Localised areas of shallower slopes may be required since these are not required for the TBM recovery, these are not yet shown in the reception pit geometry.

Dredging extends down 3.07m from the crown of the tunnel, leaving material to support the TBM and prevent rotation prior to recovery operations. Once the TBM is removed, surrounding material will settle into the void left. Reprofiling of this area will be required locally to achieve the levels required to support pipe pulling operations.

Whilst the general principle is to have a 1 in 5.5 slope within the sand layer and 1 in 10 within the soft silt layer, the bed levels vary over the footprint and change over time (due to sediment transfer into / away from the reception pit area through tidal effects or storms), the stratigraphy levels will also not be horizontal, meaning the extent of the actual dredged slopes may vary in the final dredged profile.

There is likely economy in considering procurement options for all dredging activities on the project including any UXO clearance, preparatory dredging (removing peaks of sand waves), any sea bed trench (if required) etc., with a view to reducing the number of mobilizations, maximizing favourable weather windows, whilst also having sufficient redundancy in equipment.

2.3.2 Monopile Option

Within the pit, the monopile option requires deeper excavation to install the monopile sleeve, levelling gravel, concrete slabs etc. Temporary fill may be required within the pit for protection of the tunnel (and any operatives within) from vessel related hazards such as dropped anchors.

Figure 2-3 shows the envisaged pit geometry on plan for the monopile option, which results in a dredge volume of approximately 166,000m^3. Figure 2-4 shows the envisaged pit geometry in section for the monopile option.

2.3.3 Excavation Methodology

Arup, Petrofac, Aramis, and Offshore Independence met dredging contractors Van Oord and Boskalis separately to seek advice around the feasibility of the dredging profile, potential dredging equipment, risk controls, expected tolerances, spoil and borrow pit locations, and working patterns.

- Both contractors reported a side slope of 1:10 in the upper 2m soft clay would be feasible. Boskalis suggested that a slope of 1:5 could be maintained when excavating the Sand, which is steeper than the 1 in 5.5 Arup propose. Van Oord did not comment adversely on Arup's proposed slopes, though indicated more optimal slopes may be justifiable and this should be reviewed at detailed design.
- Both contractors selected a Trail Hopper Suction Dredger as their preferred choice of dredging equipment and the method of excavation would require changing when operating close to the tunnel and TBM to avoid accidental impact and damage to either the structure, machine, or dredging equipment.
- Van Oord suggested a submersible dredge pump (a multifunctional dredging tool) for work close to the tunnel and any other maintenance dredging works (to remove sediment transported into the pit whilst it remains open).

- When asked for local experiences regarding rates of siltation into similar excavations, Van Oord suggested the South side of the channel see siltation of up to 1m/year (~2cm/week) though could not advise with confidence for the North side, Boskalis suggested a siltation rate of 5-10cm/week based on experience, and suggested they could do a quantitative assessment at detailed design stage to better estimate this.
- For the trailing suction dredger, Van Oord suggest a vertical dredging accuracy of +/-0.5m however Boskalis suggest +/-1m for the main slopes. Other tolerances associated with alignment of monopile sleeve, concrete slab construction etc. were also provided.
- For borrow & disposal sites, Boskalis reference a current project of theirs for which they will provide follow up information. Van Oord have specified both a spoil and borrow site as shown in Figure 2-7 below.
- Both contractors suggested that the reception pit be backfilled with gravel to take advantage of closer tolerances in level (Boskalis quote +/-30cm).
- Both contractors expected that the site would be clear of UXO & archaeological heritage (note: further UXO risk assessment expected to be undertaken by Aramis).
- Both contractors confirmed that 24/7 working would be possible for the dredge works.
- On production rates, both Contractors suggested figures assuming no clay within the reception pit footprint (clean sand only). Boskalis suggested a dredging rate of 10,000m3 per day meaning that the 150,000 to 200,000m3 volume could be achieved between 4 and 5 weeks including 2 weeks of more careful (and slower) dredging close to the TBM. Van Oord suggested the following schedule “Indicative timing for Dredging 3-6 weeks and backfill 1-2 weeks. For re-dredge after the TBM completed the works and needs to be retrieved, the bulk with a TSHD and the areas around the TBM with pump; 3-5 weeks. Backfill after the pipe is installed is probably another 1-2 weeks.”

Figure 2-3 – Plan View of Reception Pit – Monopile Option

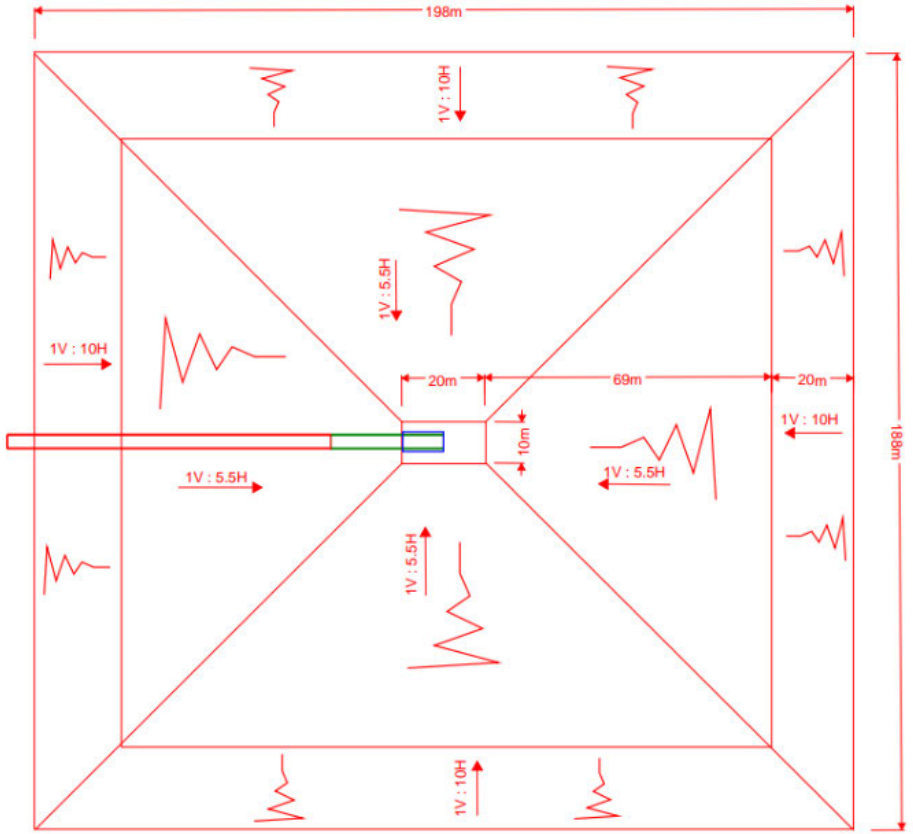


Figure 2-4 – Section View of Reception Pit – Monopile Option

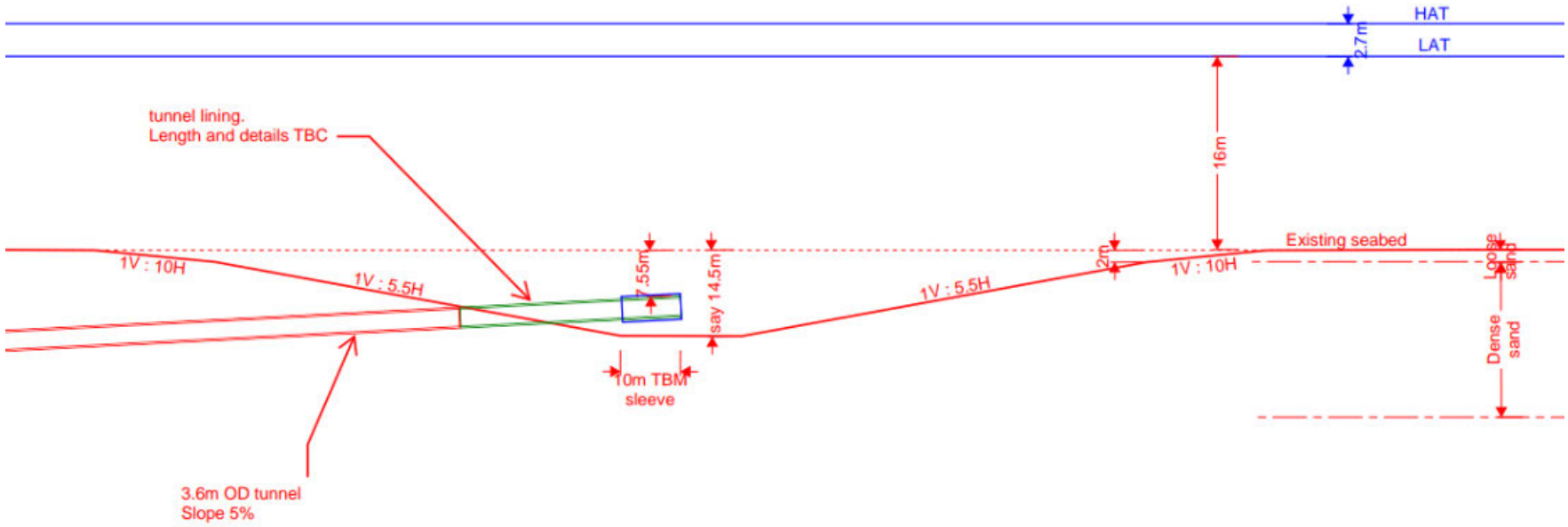


Figure 2-5 – Plan View of Reception Pit – Internal Strengthening Option

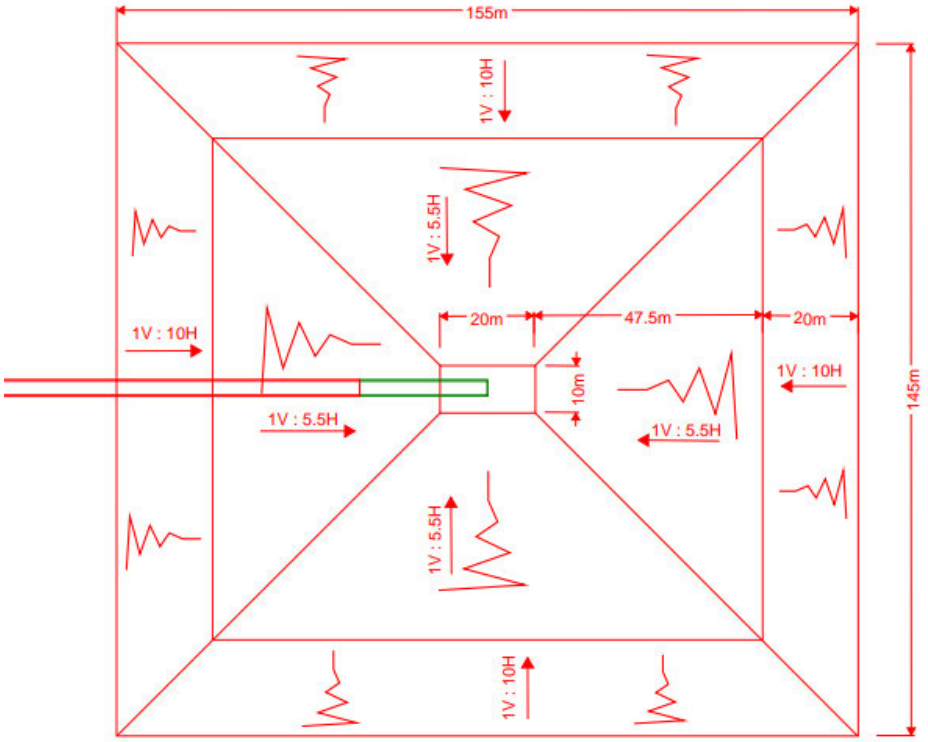


Figure 2-6 – Section View of Reception Pit – Internal Strengthening Option

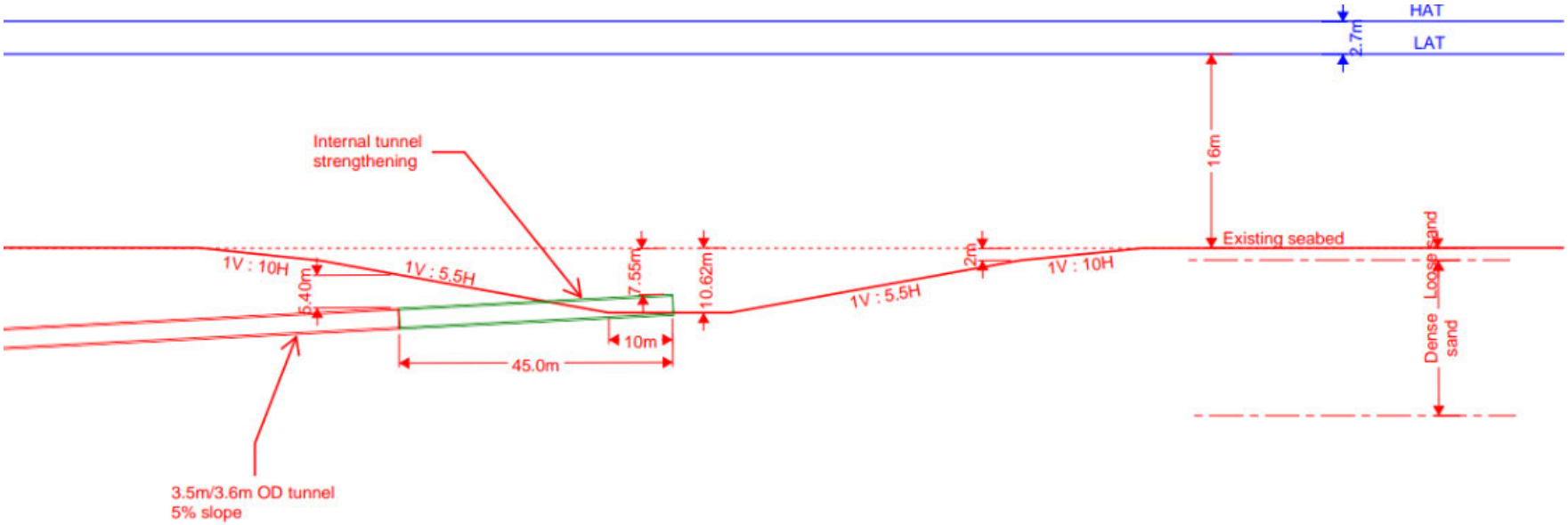
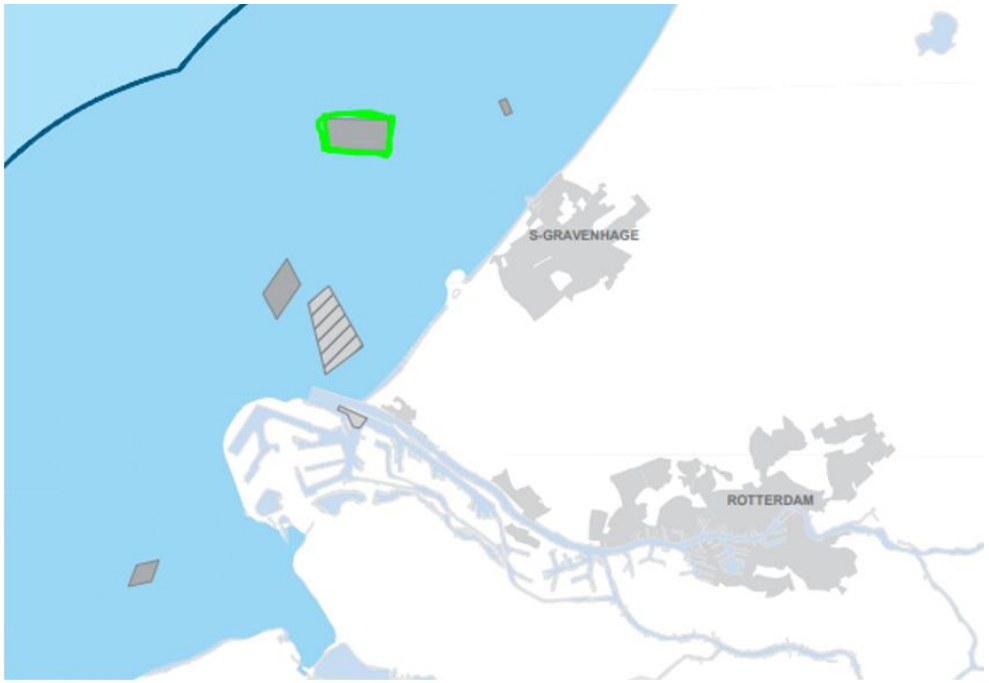


Figure 2-7 – Disposal Area (Loswal NW, green outline, left image) and Van Oord Extraction Area (S3-2, green outline, right image)





2.4 TBM Retrieval

The aim of the TBM retrieval activity is to retrieve the TBM main body from the seabed once it has reached its reception point. The TBM retrieval method and sequence have both direct and indirect interface with the next activities such as the pipe pulling and the tunnel grouting works.

While developing the TBM retrieval methods details, the below two technical risks are identified as key risks:

- Flotation of the tunnel during the dredging above/around the tunnel.
- Structural damage/instability of segment lining by the loss of support medium around the tunnel because of dredging and accidental impact load from pipe pulling activity.

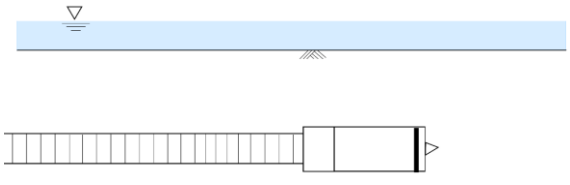
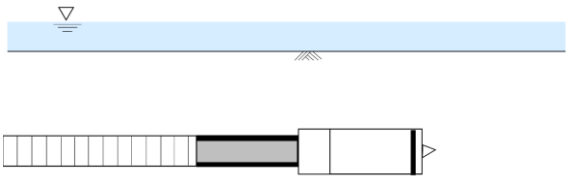
Considering the above key risks, together with the level of robustness desired by the project, two TBM retrieval methods are selected for further study, namely the internal lining option and the monopile option.

The secondary lining option considers the construction of cast in place lining inside of the already constructed segment lining so as to mitigate the risk of tunnel flotation and the damage from accidental impact load during the pipe pulling. This option is relatively straightforward when compared to the monopile option in terms of the construction activities involved. However, the dredging of the reception pit only could be started after the TBM's finish of its drive.

The monopile option considers the installation of grout-filled large diameter monopile prior to the TBM's arrival to the retrieval position, so as to mitigate the flotation and the tunnel damage risks near the end section of the tunnel during the pipe pulling. This option involves various marine activities, but most of the activities could be started and completed concurrently with the TBM's tunnel construction. Thus, the two studied options each have distinctive benefits and disbenefits to the project.

The secondary lining option (preferred option) and the monopile option methods are detailed in Figure 2-8 and Figure 2-9 below respectively.

Figure 2-8 – Secondary Lining TBM Retrieval Method

Step 1	Step 2
	
TBM reaches its termination point. Seal joints between segments and TBM. Internal TBM parts removed.	Secondary lining (cast-in-place) construction in approx. 20m long section of the tunnel.
Step 3	**Step 4**

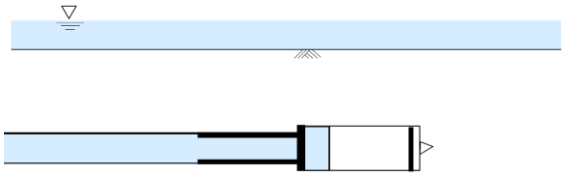
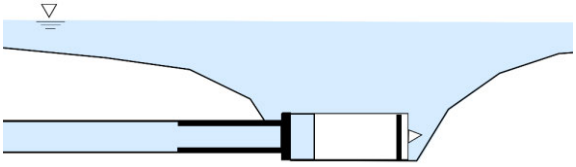
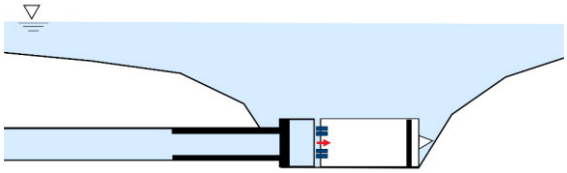
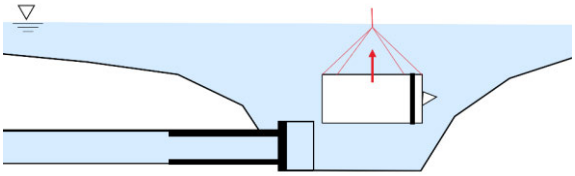
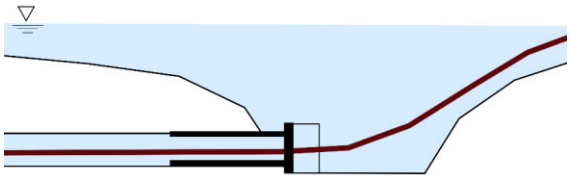
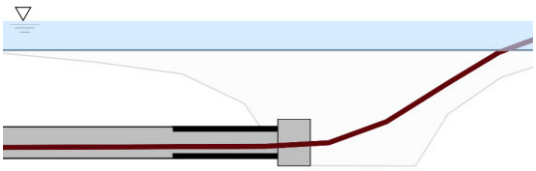
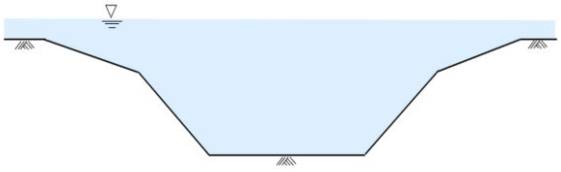
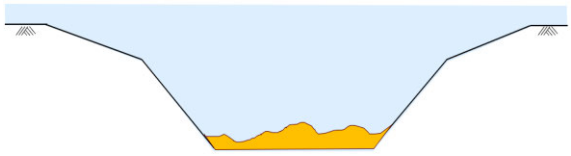
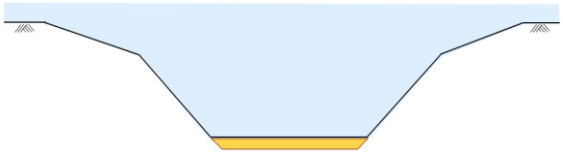
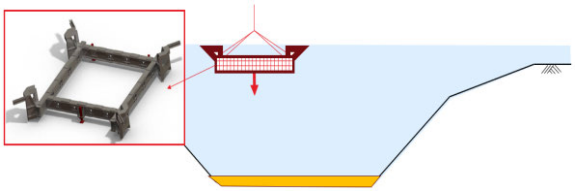
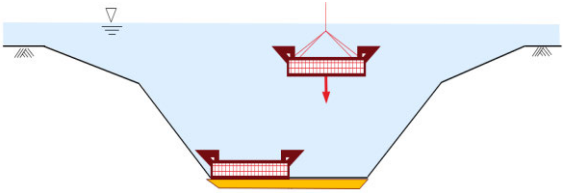
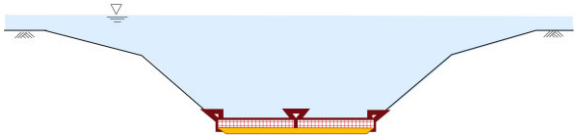
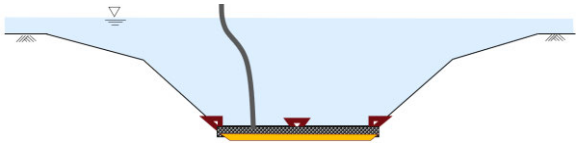
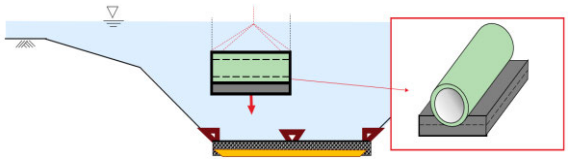
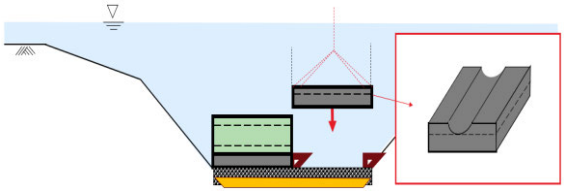
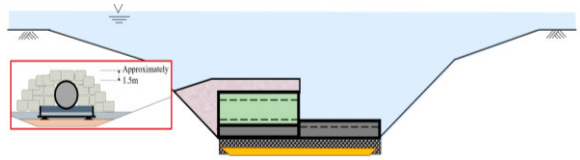
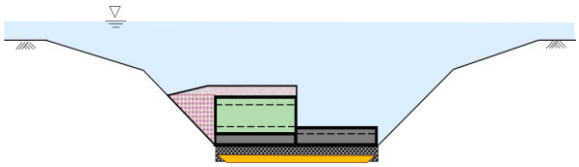
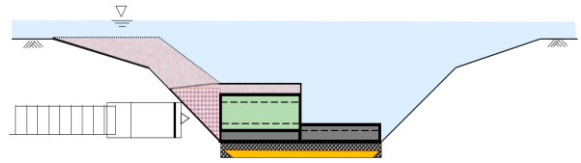
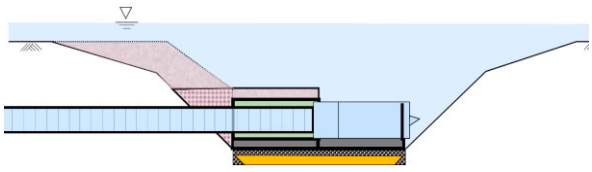
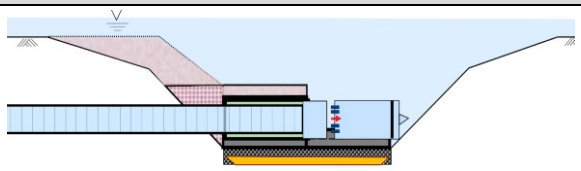
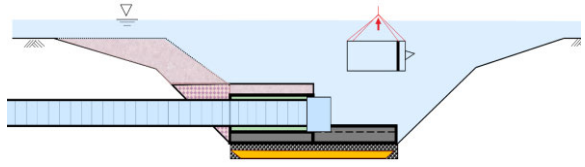
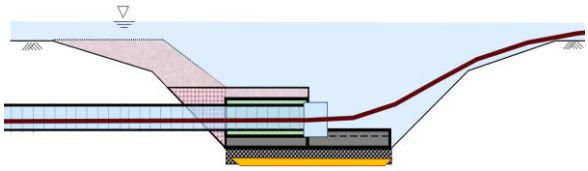
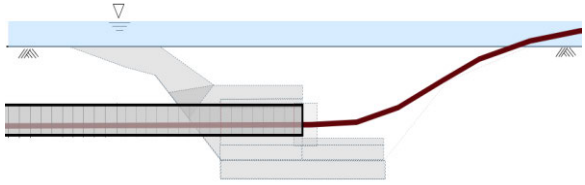
	
Install tearable sand screen. Note: Tunnel could be flooded at this step if water pumped into the shaft.	Seabed dredged to expose TBM. Note: Tunnel could be flooded at this step if the flooding is carried out by open valve on TBM skin.
Step 5	**Step 6**
	
Jack push detaching main TBM body from the sacrificial TBM skin left in place.	TBM barge lifted and removed from reception pit.
Step 7	**Step 8**
	
CO_2 pipe laid within tunnel.	Dredge pit backfilled with sand and tunnel infilled with grout (or sand).

Figure 2-9 – Steel Tube Monopile Reception Pit Construction Sequence and TBM Retrieval Method

Step 1	Step 2
	
Existing undisturbed seabed.	Dredged seabed.

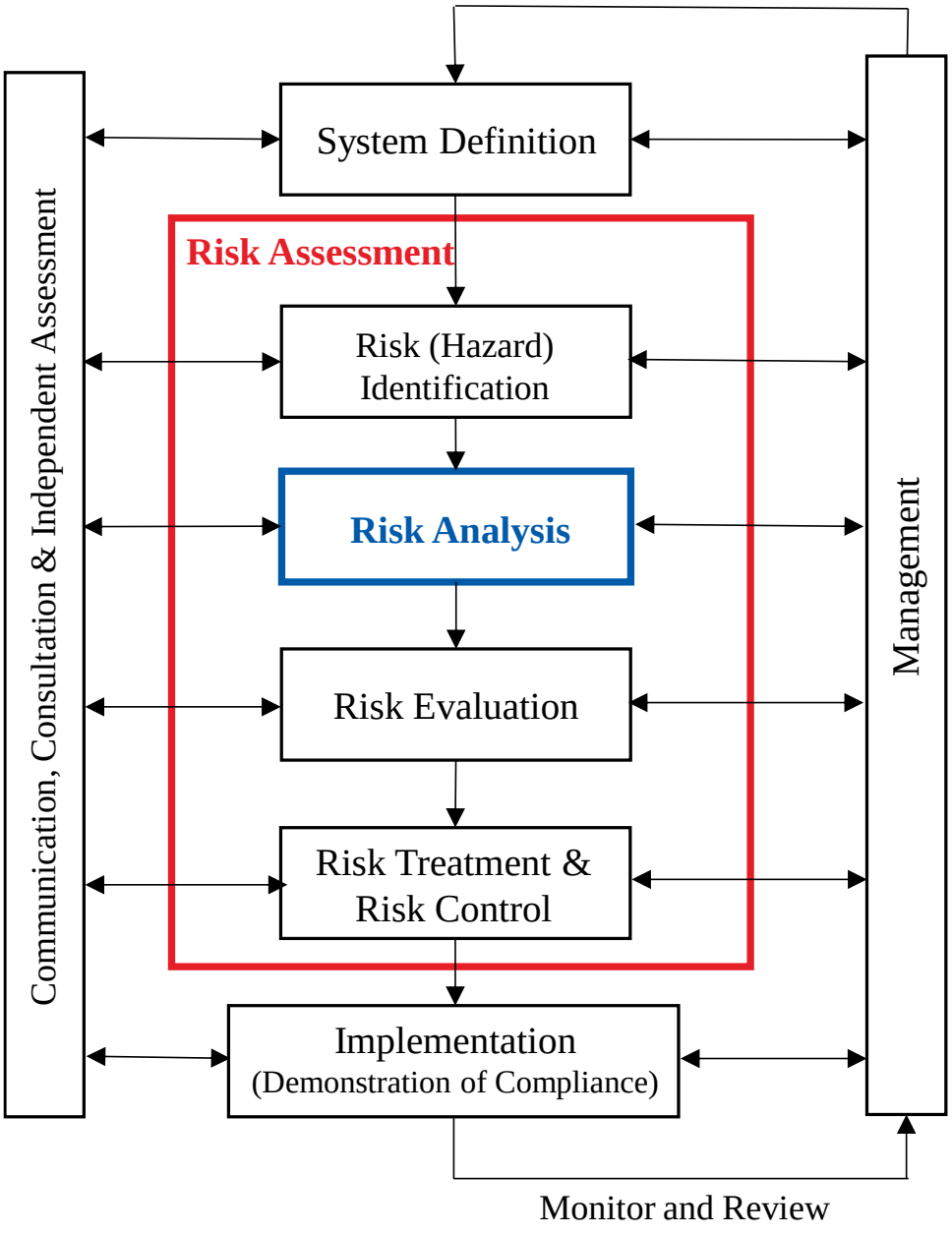
Step 3	Step 4
	
Gravel placed at bottom of excavation (telescopic pipe from the barge).	Gravel bed layer flattened and prepared as a foundation for the steel framing structures (grader or jack up platform).
Step 5	**Step 6**
	
Levelled guiding frame with hydraulic jacks, for the 'monopile + concrete pad' section, lowered to bottom of excavation.	Second guiding frame lowered into the 'concrete pad only' position at the bottom of excavation. (Note: Step 5 and Step 6 could be merged if two steel frames could be combined into one structure).
Step 7	**Step 8**
	
Self-levelling frame with hydraulic jacks equipped in the steel frame.	Steel frame filled with tremie concrete to permanently secure foundation. Columns remain extruding ready for concrete pads.
Step 9	**Step 10**
	
Monopile + concrete pad lowered onto the steel frame.	Second concrete pad only structure lowered onto steel frame.

Step 11	Step 12
	
Rock boulders/stone bags placed above/around monopile + concrete pad TBM reception structure. Gravel bags placement area excludes future TBM entrance corridor.	Underwater grouting installed at TBM entrance corridor. Backfill with sand above the grout if required. Reception pit ready for TBM.
Step 13	**Step 14**
	
As drive enters the underwater grout block, TBM stops, and the supporting fluid changes from slurry to water.	TBM completes drive and stops.
Step 15	**Step 16**
	
Seal joints between segment and the shield. Isolated section of tunnel. Flood tunnel.	Jack push detaching TBM from the sacrificial TBM skin left in place.
Step 17	**Step 18**
	
TBM barge lifted and removed from reception pit.	CO_2 pipe laid within tunnel.
Step 19	
	
Dredge pit backfilled with sand. Tunnel infilled with grout/sand.	

3 RISK ASSESSMENT APPROACH

The risk assessment approach is complaint with Total Energies Technological Risk Assessment General Specification GS-GR-HSE-312 [4], and takes into account the considerations of the standards referenced in the Tunnel FEED Basis of Design [1] including for example EN 16191, BS 6164, DAUB 2022, Pipejacking Association Guidance for Designers and general good practice. The general approach is illustrated in Figure 3-1 below. All identified risks are managed in the Tunnel FEED Hazard register [5].

Figure 3-1 – General Risk Assessment Framework



3.1 Risk Identification

3.1.1 HAZID

The HAZID workshop was organised by Arup at Arup's Charlotte Street Office in London on the 11th of April 2024 from 09:00 to 15:00. The HAZID was held to identify and record all reasonably foreseeable hazards, their causes and associated risk controls relating to the construction and operation of the shore crossing. Attendees identified foreseeable hazards, their causes, consequences and effective risk control measures. The invited attendees were responsible or accountable for a particular area of the shore crossing design or had expert knowledge of potential hazards and risk control measures from their prior experience. The HAZID attendees are listed below in Table 3-1. The HAZID methodology was developed based upon the best practice described in Appendix 3 of Total Energies Technological Risk Assessment General Specification GS-GR-HSE-312 [4]. Full details of the HAZID methodology can be found in the Tunnel FEED HAZID Terms of Reference (NL-ARM-040-ARU1-110376_00) [6].

Table 3-1 – HAZID Attendees

Name	Organisation	Role
Olav Lankriger	Company	Landfall Lead & Offshore Installation Specialist
Gawain Langford	Company	Offshore Manager
Elaine Cooke	Company	HSSE Manager
Borzoo Sedghinezhad	Company	Shore Approach Lead
David Hains	Contractor	Project Engineering Manager
Alireza Bamdad	Contractor	Manager for Offshore Pipelines
Edwin Kramer	Pipeline Designer	Landfall Lead
Jeroen de Leeuw	Pipeline Designer	Tunnel expert & consultant
Jelmar Schellingerhout	Pipeline Designer	Offshore cable & pipeline engineer
Sean Pick	Consultant	HAZID Facilitator
Vipin Pillai	Consultant	HAZID Scribe
Josh Palmer	Consultant	Project Manager
Andrew Armstrong	Consultant	Technical Reviewer
Will Howlett	Consultant	Technical Lead
Carmen Hu	Consultant	Tunnel Lead
Sebastian Bolivar	Consultant	Tunnel Engineer
Mary Paida	Consultant	Shaft Lead
Rebekah Lee	Consultant	Shaft Engineer
David Short	Consultant	Maritime Lead

Paul McEwen	Consultant	Geotechnics Lead
Paulina Gancarczyk	Consultant	Assistant Project Manager

Prior to the workshop a HAZID briefing note was circulated to attendees detailing:

- Introduction – clearly stating the purpose and objectives of the workshop confirming the date and venue.
- System Definition – defining the boundary of the elements to be assessed during the workshop, and key interfaces. This was based on relevant materials gathered on the area of the shore crossing to be assessed, including:
    - Drawings, imagery, and documents where available.
    - Existing risk assessment materials.
    - A statement of any assumptions and exclusions.
    - Methodology – describing how the HAZID workshop will be structured on the day, and how it will be recorded.
- Overview of supporting materials - Arup prepopulated the HAZID with a desktop study of some generic tunnel hazards, hazard causes, and risk control measures, and other considerations for use in the workshop discussions, including:
    - Drawings or other imagery of the area.
    - Development of a set of HAZID guidewords, which will be used as prompts in the workshop.

The workshop was split into two sections, the first section focused on the hazards related to the:

- Site Preparation, Plant, Equipment, Logistics, Sequence of Construction;
- Shaft construction (including excavation);
- Tunnel Construction – Pipejacking;
- Tunnel Construction – Switchover; and
- Tunnel Construction – Segmented.

The second part of the workshop related to the hazards found during:

- TBM Recovery;
- Demobilisation Tunnel;
- Site Demobilisation;
- Winch Installation Interface with Construction;
- Concurrent activities/SimOps;
- Grouting;
- Handover to pre-commissioning.

The output of the HAZID workshop included the identification of 108 hazards and related risk controls concerning the shore crossing operation and construction activities.

Following the HAZID, a minutes of meeting was sent out summarising the outstanding actions against organisations and giving the opportunity for people to review the hazards and safety risk controls identified. Attendees then had the opportunity to suggest new or modify hazards. Actions were transferred into the client's Safety, Health & Environment Action Management System (SHEAMS).

3.1.2 HAZOP

The hazard operability (HAZOP) workshop was organised by Arup using Microsoft Teams on the 30th of May 2024 from 10:00 to 12:00. The HAZOP was held to identify and record all reasonably foreseeable hazards relating to the operation of the shore crossing. The HAZOP workshop builds upon the previous HAZID workshop, with the intention of the HAZOP to explore in further detail the specific operational hazards already identified at a high level within the HAZID workshop in particular interface hazards between pipeline installation operations and the tunnel.

The invited attendees were responsible or accountable for a particular area of the shore crossing design or had expert knowledge of potential hazards and risk control measures from their prior experience. The HAZOP attendees are listed below in Table 3-2. The HAZOP methodology was developed based upon the best practice described in Appendix 4 of Total Energies Technological Risk Assessment General Specification GS-GR-HSE-312 [4]. Full details of the HAZOP methodology can be found in the Tunnel FEED HAZOP Terms of Reference (NL-ARM-040-ARU1-110379) [7].

The relevant attendees for this HAZOP are listed below in Table 2:

Table 3-2 – HAZOP Attendees

Name	Organisation	Role
Olav Lankriger	Company	Landfall Lead & Offshore Installation Specialist
Gawain Langford	Company	Offshore Manager
Elaine Cooke	Company	HSSE Manager
Marijn Evers	Company	Onshore Project Lead
Paul van Rossum	Company	Technical Safety Lead
Borzoo Sedghinezhad	Company	Shore Approach Lead
Liesel Butler	Contractor	Project Engineering Manager
Kevin Whyte	Contractor	Tunnelling Expert
Edwin Kramer	Pipeline Designer	Landfall Lead
Jeroen de Leeuw	Pipeline Designer	Tunnel expert & consultant

Name	Organisation	Role
Sean Pick	Consultant	HAZOP Facilitator
Amir Famakende	Consultant	HAZOP Scribe
Josh Palmer	Consultant	Project Manager
Will Howlett	Consultant	Technical Lead
Carmen Hu	Consultant	Tunnel Lead
Sebastian Bolivar	Consultant	Tunnel Engineer
Hyuk-Il Jung	Consultant	TBM Retrieval Lead
Remi Fuxa	Consultant	Tunnelling contractor representative (Bessac)

Prior to the workshop, a HAZOP briefing note was circulated to attendees following the same structure as the HAZID briefing note described in Section 3.1.1.

The HAZOP workshop was limited to interfaces with the pipeline during commissioning and operation of the TBM. The first section of the workshop identified hazards related to TBM operations with a focus on the:

- Start-up;
- Tunnelling; and
- Shut down.

The second part of the HAZOP focused on identifying the hazards during the pre-commissioning/commissioning phase of the project with a focus on:

- Grouting;
- Pressure testing; and
- Pull through.

Nodes were assigned onto engineering schematic drawings for each workshop section. During the workshop, using the prepared guidewords, all failure scenarios were considered at each node.

Following the HAZOP, a record of the workshop findings were issued to attendees for further comments on the hazards raised, assumptions, points of clarification and actions going forward. 22 hazards were identified during the HAZOP and recorded in the hazard register.

3.1.3 HAZCON

The HAZCON was organised by Arup using Microsoft Teams on the 28th of June 2024 from 8:00 to 11:00. The HAZCON was held to identify and record all reasonably foreseeable hazards relating to construction. The HAZCON workshop follows on from a previous HAZID and HAZOP workshop, with the intention of the HAZCON to explore in further detail the hazards associated with constructability of the shore crossing, with a specific focus on construction sequencing and simultaneous operations to control construction risk and ensure the safety of workers and the surrounding environment during the construction phase. The invited attendees were responsible or accountable for a particular area of the shore crossing design or had expert knowledge of potential hazards and risk control measures from their prior experience. The relevant attendees for this HAZCON are listed below in Table 3-3.

Table 3-3 – HAZCON Workshop Attendees

Name	Organisation	Role
Olav Lankriger	Company	Landfall Lead & Offshore Installation Specialist
Gawain Langford	Company	Offshore Manager
Elaine Cooke	Company	HSSE Manager
Marijn Evers	Company	Onshore Project Lead
Paul van Rossum	Company	Technical Safety Lead
Borzoo Sedghinezhad	Company	Shore Approach Lead
Liesel Butler	Contractor	Project Engineering Manager
Kevin Whyte	Contractor	Tunnelling Expert
Jeroen de Leeuw	Contractor	Tunnelling Consultant and Expert
Sean Pick	Consultant	HAZCON Facilitator
Amir Famakende	Consultant	HAZCON Scribe
Josh Palmer	Consultant	Project Manager
Andrew Armstrong	Consultant	Structures Lead
Mary Paida	Consultant	Shaft Lead
Will Howlett	Consultant	Technical Lead
Carmen Hu	Consultant	Tunnel Lead
Sebastian Bolivar	Consultant	Tunnel Engineer
Hyuk-Il Jung	Consultant	TBM Retrieval Lead
Greg Murray	Consultant	Maritime Expert
Remi Fuxa	Consultant	Tunnelling contractor representative (Bessac)

Prior to HAZCON, a briefing note was circulated to attendees following the same structure as the HAZID briefing note described in Section 3.1.1.

The HAZCON was split into 5 parts based on the construction hazards from the areas of the shore crossing design:

- Shaft;
- Pipejacking;
- Tunnel switchover;
- Tunnel demobilisation; and
- Segmental tunnelling.

The HAZCON was driven using construction sequence diagrams for the shaft, tunnel and reception pit. An opportunity to identify constructability risks was provided for each construction stage.

The 13 hazards identified were recorded into the hazard register. Following the HAZCON, minutes of the meeting were sent out summarising the outstanding actions against organisations and giving the opportunity for people to review the hazards and safety risk controls identified. Attendees then had the opportunity to suggest new or modify hazards.

3.2 Risk Analysis

The hazards identified with the HAZID, HAZOP and HAZCON workshops were recorded with a unique ID into the hazard register with each cause and consequence of a hazard also added. Risk analysis was undertaken for the hazards using the severity and likelihood criteria set out in GS-GR-HSE-312 [4]. Hazards were scored based upon input from the attendees at the three workshops. The hazard scoring was then verified in two sessions with the relevant discipline leads on 03/05/24 and 23/05/24. The severity and likelihood criteria can be seen in Table 3-4 and Table 3-5.

Table 3-4 – Severity Criteria

Severity of Consequence	Description	Number of People Exposed
Disastrous – 5	Onsite: Many fatalities External: Several fatalities	Onsite: >5 fatalities External: >1 fatality
Catastrophic – 4	Onsite: Several fatalities External: Many physical injuries and/or one fatality	Onsite: 2 to 5 fatalities External: 1 fatality, 10 to 99 physical injuries
Very Serious – 3	Onsite: Permanent disabilities and/or 1 fatality External: Permanent effects	Onsite: 1 fatality, 1 to 99 permanent disabilities External: 1 to 9
Serious – 2	Onsite: Permanent effects External: Non-permanent effects	Onsite: 1 to 99 External: 1 to 9
Moderate – 1	Onsite: Non-permanent effect	Onsite: 0

Severity of Consequence	Description	Number of People Exposed
	External: No effect	External: 0

Table 3-5 – Likelihood Criteria

Likelihood Score	Description	Numerical Description
5	Likely	≥ 10^{-2} /year
4	Unlikely	<10^{-2} ,≥10^{-3}
3	Very Unlikely	<10^{-3} ,≥10^{-4}
2	Extremely Unlikely	<10^{-4} ,≥10^{-5}
1	Remote	<10^{-5}

3.3 Risk Evaluation

Once the hazards identified in the workshops had their risks assessed, they then underwent initial risk evaluation. This was done using the risk matrix in GS-GR-HSE-312 [4] seen in Table 3-6. The risk level definitions can be seen in Table 3-7.

Table 3-6 – Risk Matrix

		Consequence				
		Disastrous	Severe	Serious	Considerable	Insignificant
Likelihood		5	4	3	2	1
Very Likely	5	Unacceptable	Unacceptable	Unacceptable	Tolerable	Tolerable
Likely	4	Unacceptable	Unacceptable	Tolerable	Tolerable	Acceptable
Occasional	3	Unacceptable	Tolerable	Tolerable	Acceptable	Acceptable
Unlikely	2	Tolerable	Tolerable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Very Unlikely	1	Tolerable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

Table 3-7 – Risk Level Definitions

Risk Level	Example of actions to be applied against each risk level
Unacceptable	Refine risk analysis, risk controls shall be implemented to reduce risk to an acceptable level
Tolerable	Practicable risk controls shall be implemented to reduce risk to ALARP, otherwise the risk level is justified
Acceptable	Risk to be managed throughout the project and reviewed periodically. Broadly acceptable.

3.4 Risk Treatment (ALARP) & Risk Control

The objective of the risk treatment and risk control phase as described in Total Energies Technological Risk Assessment General Specification GS-GR-HSE-312 is to aide in the risk reduction decision making and incorporate the design decisions taken based on the results of the risk evaluation [4].

3.4.1 Hierarchy of Controls

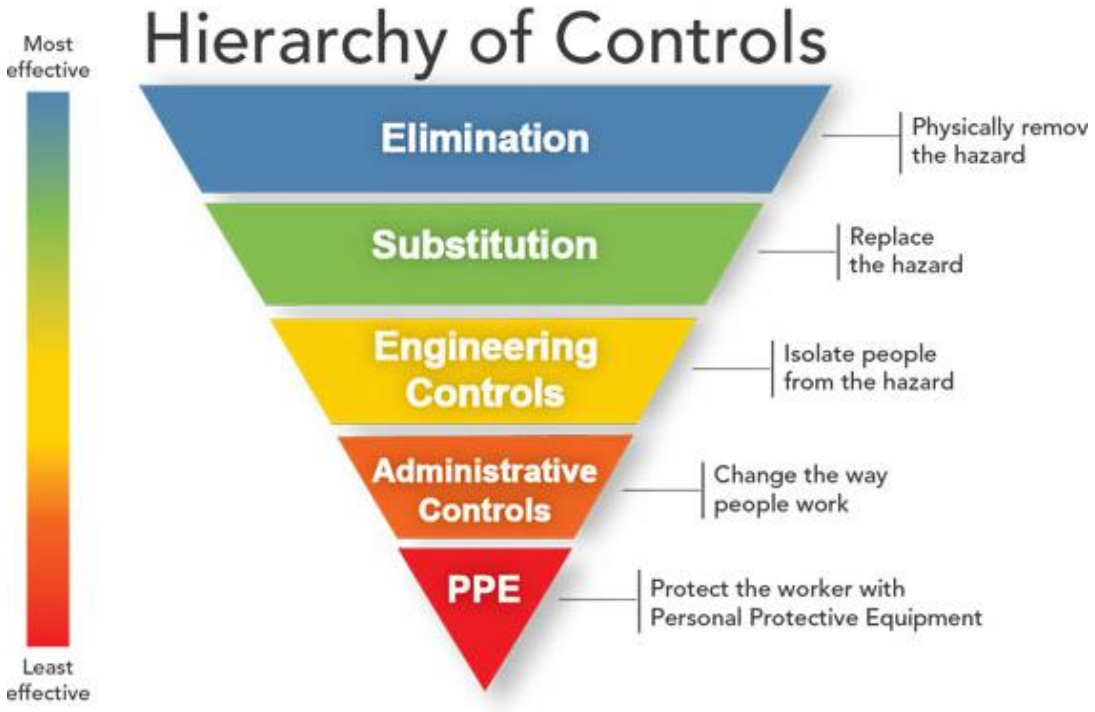
Where risk fell in the unacceptable or tolerable category, design risk control measures were applied and the risk was re-assed and re-evaluated. Safety risk controls reduce or eliminate risk from a hazard by reducing the likelihood or severity of it. Risk control measures can be categorised into three:

- Technical safety risk controls (linked to the features of the design and build process);
- Functional safety risk controls (including apportioned safety integrity requirements); and
- Contextual safety controls (covering operational and maintenance practices).

The hierarchy of which controls are to be used is described below and graphically in Figure 3-2:

1) If practicable to do so, eliminate or control the risk through the use of technical or functional safety risk controls;
2) If the hazard cannot be eliminated or controlled using technical or functional controls and if practicable to do so, use contextual safety risk controls to reduce the risk to ALARP;
3) If the hazard cannot be eliminated or controlled using technical, functional or contextual controls, the Contractor must ensure that the appropriate personal protective equipment is used by workers affected by the hazard;
4) It is likely that no singular control will eliminate or reduce the risk of a given hazard so it is likely a combination of the above measures may be implemented to reduce the risk to ALARP.

Figure 3-2 – Hierarchy of Controls *(From Aramis)*



3.4.2 ALARP Demonstration

As described in Total Energies Technological Risk Assessment General Specification GS-GR-HSE-312, there are 3 steps to demonstrate a tolerable risk has been reduced to ALARP [4]. These are:

- Requirement / Feasibility Evaluation – Implementation of control is legal or company technical requirement, code of practice, standard or accepted industry practice. For risk controls that are not requirements, the practicality and feasibility to implement a control is qualitatively assessed. Requirements and a commentary on the feasibility of risk controls can be seen in the Tunnel FEED Design Report [2]. Feasibility evaluation also took place in the focused risk control review meetings with discipline leads.
- Effort / Impact Evaluation – The risk control is then qualitatively assessed according to the estimated effort of implementing the measure and by the estimated impact and benefit it would provide. Effort and impact evaluation of risk controls can be seen in the Tunnel FEED Hazard Register [8].

- Cost Benefit Analysis (CBA) – CBA provides a framework for ALARP demonstration associated with complex risk controls that the implementation of which was not decided in the first two steps. CBA is a numerical method used to compare the cost of implementing a risk reduction measure with the likely benefits of the implemented risk reduction measure. In the case of the design risk controls assessed in this project, CBA was not undertaken since the first 2 steps provided sufficient assessment to determine whether a risk control should be implemented or not.

Where risks could not be reduced to ALARP through design risk control measures alone, operational risk control measures have been suggested for consideration by the EPC Contractor to control the residual risk. Refer to the Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315) for proposed EPC Contractor mitigation measures [9].

4 OVERALL DESIGN SAFETY ARGUMENT

The safety claim argument is presented in this section for a representative sample of different types of hazards identified in the shore crossing design, construction and operation. It gives information on how the risks have been controlled using the design risk controls identified in the risk assessment process at FEED level. It also shows how the risk assessment has sufficiently matured since pre-FEED stage and will continue to be developed in the next phase by the EPCi contractor scope of works. For a full list of hazards and their corresponding controls refer to the Tunnel FEED Hazard Register (NL-ARM-040-ARU1-110377) [8].

4.1 Increased Loading or Impact to Tunnel

Related hazard ID: HAZ-089, HAZ-167, HAZ-168, HAZ-169

Identified causes –

- CA-199: Anchor (or other objects) being dropped onto tunnel
- CA-200: Anchors dragging over the tunnel
- CA-201: Vessels sinking onto the tunnel

Identified consequences –

- CO-038: Tunnel damage / failure
- CO-014: Fatality

Mitigating the risk of an anchor or other objects being dropped onto the tunnel and TBM involves calculated sequencing of construction activities. For the preferred TBM retrieval option, the internal strengthening, no initial trench is required, allowing the TBM to proceed to its location while maintaining an overburden of 7.2m or greater at all times. This sequencing helps eliminate risks by ensuring dredging only occurs after operatives have exited the risk areas.

For the TBM recovery monopile option, a trench is required in advance of TBM removal. During this stage, the TBM could move out of the monopile sleeve into the reception pit, potentially exposing it to damage while operatives are inside. To avoid this, the tunnel and TBM should only be exposed once operatives have completed their tasks. This can be achieved by installing temporary backfill in the reception pit to provide sufficient overburden. If dredging must be conducted while operatives are present in the tunnel, a comprehensive safety method must be established, including maintaining anchorage exclusion zones and a suitable stand-off distance to exclude potential impacts from construction vessels.

The hazard of anchors dragging over the tunnel and TBM can be mitigated through backfilling the reception pit or opening the pit briefly for TBM recovery. Additionally, construction vessels should maintain a suitable offset distance from the tunnel end to further reduce risks.

There are no practical design measures to eliminate the risk of errant vessels sinking onto the tunnel and TBM. However, risk control measures are recommended, including sequencing works so no operatives are in the tunnel or TBM while ends are exposed and reducing the duration that the tunnel end is exposed. If operatives must be in the tunnel during high-risk periods, temporary backfill or overburden may be required after dredging the reception pit to ensure a protective layer with sufficient thickness. Further maintenance to the vessel and anchor exclusion zones where practical, can further reduce the risk of damage to the tunnel and TBM. The anchoring of the pipe pulling barge is to be defined by Offshore Independents.

4.2 Flotation of Tunnel

Related hazard ID: HAZ-081

Identified causes –

- CA-108: Tunnel buoyancy during the construction/air filled.

Identified consequences –

- CO-041: Leaks
- CO-062: Damage to tunnel lining
- CO-014: Fatality

To reduce the risk of flotation of tunnel, the minimum tunnel overburden is defined to ensure sufficient weight and depth of soil above the tunnel to counteract buoyant forces, considering the air pressure inside the tunnel and other factors.

Stabilisation measures are implemented at the tunnel ends where overburden is insufficient, with uplift calculations carried out in accordance with NEN 1997-1 standards. The design calculations ensure that the value of destabilising vertical actions are less than or equal to the stabilising permanent vertical actions plus any additional resistance to uplift (partial factors are applied, multiplying stabilising forces by 0.9 and destabilising forces by 1.1 to verify the uplift state).

For the TBM depth, critical checks are performed to prevent tunnel flotation using Eurocode 7. Hand calculations are conducted to determine the minimum overburden required to counteract buoyant forces, based on geometrical parameters of the tunnel lining. This includes a 3.0m internal diameter and a 250mm lining thickness, resulting in an external diameter of 3.5m. The expelled fluid volume due to the tunnel lining size determines the total buoyant force.

A graphical analysis of the flotation check results plots the height of the ground surface to the tunnel crown against the ratio of stabilising force to uplift force. A value of 1.0 on this ratio indicates the threshold where flotation is prevented. This analysis establishes that a minimum overburden of 7.55 meters from the tunnel crown to the ground surface is required. During construction, additional stabilisation methods, such as placing sandbags inside the tunnel, are considered. However, secondary lining and monopile options provide greater structural stability. An initial assessment of a steel lining showed it could mitigate flotation risks, but the impractical thickness required, 117m, led to preferring a cast-in-place secondary lining inside the precast concrete segmental lining.

4.3 Water / Soil Ingress

Related hazard ID: HAZ-023, HAZ-062

Identified causes –

- CA-033: High groundwater and permeable soils
- CA-048: Water ingress onto metal elements of structure
- CA-092: Manufacturer error

Identified consequences –

- CO-014: Fatality
- CO-039: Flooding of tunnel

An elastomeric gasket between the segment joints has been defined to resist the design water pressure for the segmental lining design working life. The design shall cater for the relaxation of the gasket material so that the gasket can resist twice the maximum anticipated working or design pressure in the long term with maximum construction tolerance.

The maximum water pressure expected at the tunnel lining its approximately 4.4bar. The gasket recommended has been defined to withstand 200% of the working water pressure (4.4barx200%=8.8bar) in the lining at the maximum specified gasket differential gap of 5mm and bearing offset of 10mm.

The design of the sealing system for jacking pipes is dependent on the manufacturer chosen for pipe fabrication/casting. For the sealing system for the jacking pipes, sealing gaskets available on the market are able to achieve the necessary 4.4bar sealing pressure required with a 0.5° joint angular deflection. This shall be further developed at detailed design stage once a pipe manufacturer has been chosen.

4.4 Face Instability

Related hazard ID: HAZ-011, HAZ-044, HAZ-076

Identified causes –

- CA-020: Cutting of sea defence toe

- CA-021: Historic slope issues with sea defence
- CA-066: TBM work
- CA-067: Unknown face geology
- CA-068: Cutting tool changeover
- CA-102: Collapse during the TBM excavation high settlement can be generated

Identified consequences –

- CO-031: Settlements
- CO-043: TenneT cable damage
- CO-044: Sea defence damage
- CO-023: Drowning
- CO-003: Electrocution
- CO-038: Tunnel damage / failure

A face stability assessment [2] was carried out using the limit equilibrium method as specified in the DAUB guidelines. This method ensures that the difference between the minimum and maximum face pressures falls within the required operational range. The calculations accounted for the maximum face pressure necessary to prevent upward ground movement (heave) of the structures above the tunnel. For existing structures, such as the sea defence and TenneT cables, ground settlement analysis was performed, indicating that a minimum cover of 10 to 13 meters above the tunnel crown is needed to avoid any adverse effects.

During cutterhead inspections and maintenance, the drawdown mode was evaluated in three scenarios: supporting the upper one-third, half, and the full face of the TBM diameter with compressed air. The rectangular pressure distribution was calculated based on the pressure required at the level of the lowered supporting medium, which is higher than the minimum pressure needed at the crown level.

For tunnel face stability, the tunnelling machine requires a certain overburden pressure. Initial guidance suggests that the tunnel crown depth will be between 10m and 13m, with the alignment developed based on a 13m cover.

4.5 Diving Activity

Related hazard ID: HAZ-027, HAZ-105, HAZ-116, HAZ-126

Identified causes –

- CA-037: Installing anchor heads
- CA-038: Cleaning of interface of wall and basement
- CA-132: Diving work required for TBM recovery
- CA-142: Diving to repair wires
- CA-143: Operations behind bulkhead

Identified consequences –

- CO-028: Decompression sickness
- CO-023: Drowning
- CO-027: Trapped at bottom of shaft
- CO-075: Poor visibility

The initial buoyancy assessment of the shaft considered the weight of structural elements, such as the base slab, diaphragm wall (d-wall) and capping beam, against the corresponding uplift forces at the soffit of the base slab and diaphragm wall toe level. This approach required a structural connection between the d-wall panels and the base slab prior to dewatering, which necessitated diving activities during construction. Moreover, the assessment concluded that additional measures were needed to ensure the shaft could withstand the uplift forces effectively.

Following the HAZID workshop and discussions with the client, an alternative method was preferred, drawing from experience in the Netherlands. This method involves the use of vertical tension piles constructed from the surface prior to excavation and integrated into the shaft's structural base slab. This approach reduces the need for diving activities.

The number and length of the piles were determined based on the assumption that only the weight of the structural base slab acts as a stabilising force, supplemented by the frictional resistance of the piles' tensile capacity. This method eliminates the need for a structural connection between the d-wall panels and the base slab to be introduced underwater by divers. However, divers are still required to install steel anchorage plates at the top of the tension piles. A 2-stage base slab casting process is proposed to allow dewatering of the shaft prior to installing the second stage base slab reinforcement. A review is being undertaken to determine what diving activities can be performed by a remote operated vehicle (ROV) rather than divers.

4.6 Working at Height

Related hazard ID: HAZ-022, HAZ-120

Identified causes –

- CA-032: Construction requires working from height

Identified consequences –

- CO-006: Fall from height
- CO-085: Dropped objects

A level of edge protection has been provided through the provision of a capping beam 1.4m wide and 1m high during construction. The capping beam is raised 1m above the temporary piling platform to act as a protection against falls during the construction phase. The elevated capping beam ensures workers operating at height have a physical barrier, reducing the risk of accidental falls.

5 CONCLUSION

The risk assessment at FEED stage has identified 167 hazards and 71 risk controls to be implemented within the design of the shore crossing to control the risk. As seen in Table 5-1 there is a reduction in the number of hazards with unacceptable level of risks and an increase in the number of hazards with acceptable levels of risks after design risk controls have been implemented.

Hazards with risk levels in the acceptable region are considered to be broadly acceptable. Further risk reductions should be achieved under the continuous improvement of future design and operational HSE management. Hazards with risk level in the tolerable region have been demonstrated to be ALARP through a qualitative ALARP evaluation process (As described in Total Energies Technological Risk Assessment General Specification GS-GR-HSE-312). Hazards that have evaluated as having an unacceptable level of residual risks will need continuous review and assessment of the existing and new risk control measures by the EPC contractor to consider further risk reduction options to bring the risk level from unacceptable to tolerable or acceptable levels. These risk controls are detailed within the Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315) [9].

A full list of design risk controls can be found in Appendix A.1 alongside the causes and consequence each mitigate, their related hazards and the location of evidence of their implementation. All hazards can be found in the Tunnel FEED Hazard Register (NL-ARM-040-ARU1-110377) [8].

Table 5-1 – Hazard Status

Risk level	Number of Hazards Before Implementation of Design Risk Controls	Number of Hazards After Implementation of Design Risk Controls
Acceptable	14	53
Tolerable	109	113
Unacceptable	43	0

6 REFERENCES

[1] Aramis, “Tunnel FEED Basis of Design NL-ARM-040-ARU1-11030”.

[2] Arup, “Tunnel FEED – Design Report NL-ARM-040-ARU1-110306”.

[3] Offshore Independents, NL-ARM-040-PTC1-110265 - Shaft Location Selection Note, 2024.

[4] Total Energies, “Technological Risk Assessment GS-GR-HSE-312”.

[5] Arup, NL-ARM-040-ARU1-110377 - Tunnel FEED Hazard Register, 2024.

[6] Arup, “Tunnel FEED HAZID Terms of Reference NL-ARM-040-ARU1-110376_00”.

[7] Arup, “Tunnel FEED HAZOP Terms of Reference NL-ARM-040-ARU1-110379”.

[8] Arup, “Tunnel FEED Hazard Register NL-ARM-040-ARU1-110377”.

[9] Arup, “Preliminary Construction Execution Plan NL-ARM-040-ARU1-110315”.

APPENDIX A TUNNEL FEED HAZARD REGISTER EXTRACT

A.1 Design Risk Controls

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-001	The design shall incorporate sufficient spaceproofing	CA-014: Equipment needing to be moved CA-023: Lifting of heavy equipment	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302) and associated drawings.*	**HAZ-008, HAZ-010, HAZ-013, HAZ-065**		03/07/2024	
SR-FEED-002	A UXO/soil survey shall be conducted	CA-015: Soil on site came from shipping lane which may contain unmapped UXOs CA-016: Excavating in unmapped areas CA-017: Digging >5m depth may contain UXO CO-001: Explosion CO-058: Multiple fatalities	*Tunnel FEED GIR (NL-ARM-040-ARU1-110303)* *Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-009, HAZ-049**	Preliminary design report at pre feed stage - gaps, discrepancies, recommendations to client, haven't acted - useful to produce technical note for UXO.	03/07/2024	
SR-FEED-003	A plan for construction sequence shall be developed	CA-134: Change of tides CA-135: Swaying due to tides Strong currents CA-136: Delay in tunnel construction - miss weather window CO-078: Hit tunnel with TBM	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-010, HAZ-018, HAZ-093, HAZ-105, HAZ-106**	WC have been considered in programme development, feed report.	03/07/2024	
SR-FEED-005	The TBM cutting face design shall be reviewed to take into consideration the sea defence	CA-020: Cutting of sea defence toe CA-021: Historic slope issues with sea defence	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)* *Settlement Impact Analysis and Monitoring Plan - Sea Defence (NL-ARM-040-ARU1-110381)*	**HAZ-011**		03/07/2024	
SR-FEED-006	The supports shall be designed for the load	CO-000: Supports falls onto worker CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-12, HAZ-30, HAZ-135**		03/07/2024	
SR-FEED-007	The design shall consider a level of edge protection into design depending on shaft construction method	CA-032: Construction requires working from height CO-034: Severe injury CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306) and associated shaft drawings.*	**HAZ-022, HAZ-024, HAZ-026, HAZ-118**		03/07/2024	
SR-FEED-008	There shall be robust sealing measures, design checks on soil stability and hydraulic gradients	CA-033: High groundwater and permeable soils CA-058: Breakthrough from shaft to tunnel CO-020: Water ingress CO-009: Shaft collapse	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Ground Investigation Report (NL-ARM-040-ARU1-110303)*	**HAZ-023, HAZ-31, HAZ-037, HAZ-045, HAZ-062, HAZ-064, HAZ-083, HAZ-126**		03/07/2024	

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-009	The shaft design shall be such that it minimises water ingress	CA-033: High groundwater and permeable soils CO-020: Water ingress during construction of the base slab causing instability and loss of confinement in the shaft CO-034: Severe injury CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Shaft design considering joints and waterproofing shown in drawings NL-ARM-040-ARU1-110333-110338*	**HAZ-023, HAZ-31, HAZ-037**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-010	The shall be a designated refuge chamber with minimum dimensions of based on guidance from ITA WG5 Report 14	CA-104: Insufficient space inside refugee chamber CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)* *TBM Specification (NL-ARM-040-ARU1-110317)*	**HAZ-024, HAZ-76**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-011	The design shall minimise areas where objects could fall a dangerous distance	CA-032: Construction requires working from height CO-008: Falling objects CO-034: Severe injury CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-024**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-012	The design shall minimise the amount of diving activities required	CA-037: Installing anchor heads CA-038: Cleaning of interface wall and basement CA-039: Installing reinforcement cages CO-028: Decompression sickness CO-023: Drowning	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306) SECTION 7.3.2* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-027, HAZ-043, HAZ-103, HAZ-114, HAZ-123**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-013	The design shall minimise the amount of confined space working required	CA-073: Construction requires confined space working CO-019: Asphyxiation	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Space proofing drawings NL-ARM-040-ARU1-110319 & 110320*	**HAZ-029, HAZ-047, HAZ-083, HAZ-092, HAZ-120, HAZ-128**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-015	The design shall use corrosion resistant materials where required	CO-020: Water ingress CO-032: Structural failure	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-033**		03/07/2024	[redacted]

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-016	The design shall minimise requirement for excavation	CA-049: Excavation CA-078: HV, MV substation CA-160: Transportation of materials, spoil, grout to/from site CO-033: Rock dust inhaled by workers CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-034, HAZ-052**		03/07/2024	
SR-FEED-019	The design shall minimise hot and hyperbaric works	CO-002: Fire	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-043, HAZ-083**		03/07/2024	
SR-FEED-021	The TBM design shall not be open faced	CA-067: Unknown face geology CA-068: Cutting tool changeover CO-000: TenneT cable and sea defence damage CO-023: Drowning CO-014: Fatality	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *TBM Specification (NL-ARM-040-ARU1-110317)*	**HAZ-044**		03/07/2024	
SR-FEED-022	The appropriate quality materials shall be specified	CO-041: Leakage CO-032: Structural failure	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-054, HAZ-094, HAZ-107, HAZ-117**		03/07/2024	
SR-FEED-025	The gradient of tunnel slope shall not be excessively steep	CA-097: Train losing braking ability CO-060: Train collides with worker	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)* *Alignment drawing NL-ARM-040-ARU1-110323*	**HAZ-067**		03/07/2024	
SR-FEED-026	The design shall minimise access requirements	CA-100: Unable to isolate energy source within tunnel CO-003: Electrocution	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-071, HAZ-131**		03/07/2024	
SR-FEED-027	An instrumentation & monitoring plan shall be developed as part of the FEED		*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Settlement Impact Analysis and Monitoring Plan - Sea Defence and Shipping Lane (NL-ARM-040-ARU1-110381) and Tennet Cables (NL-ARM-040-ARU1-110382)*	**HAZ-056, HAZ-075, HAZ-133, HAZ-150**		03/07/2024	

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-028	The TBM face pressure shall be designed according to DAUB guidelines		*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-056, HAZ-073**		03/07/2024	
SR-FEED-029	A face stability assessment shall be performed	CA-102: Collapse during the TBM excavation high settlement can be generated CO-062: Damage to tunnel lining	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-074**		03/07/2024	
SR-FEED-030	The gasket shall be designed in accordance with product technical data sheet, with appropriate offset and gap allowance in the design	CA-103: Gasket choice inadequate for water head CO-020: Water ingress	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-075**		03/07/2024	
SR-FEED-031	There shall be sensitivity analysis of the ground water pressure	CO-020: Water ingress	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-075**		03/07/2024	
SR-FEED-032	The gasket shall be designed to standard DIN EN 206	CA-103: Gasket choice inadequate for water head CO-020: Water ingress	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-075**		03/07/2024	
SR-FEED-034	The minimum tunnel overburden shall be defined to prevent floatation during construction or air inside the tunnel	CA-108: Tunnel buoyancy during the construction/air filled CO-041: Leakage CO-062: Damage to tunnel lining	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-079**		03/07/2024	
SR-FEED-035	Sensitivity analysis of the dredging depth in the shipping channel during the design shall be considered	CA-108: Tunnel buoyancy during the construction/air filled CO-041: Leakage CO-062: Damage to tunnel lining	*Tunnel FEED Basis of Design (NL-ARM-040-ARU1-110301)* *Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-079**	Sufficient depth, more than 13m deep - feed report. Carmen and seb follow-up - alignment etc	03/07/2024	
SR-FEED-036	There shall be stabilisation at the end of tunnel where there is insufficient overburden	CA-108: Tunnel buoyancy during the construction/air filled CO-041: Leakage CO-062: Damage to tunnel lining	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)*	**HAZ-079**	Covered in design , flotation of tunnel - strength of lining to make lining heavy and stronger addressed in design. Feed report.	03/07/2024	
SR-FEED-037	The tunnel shall be designed for optimal alignment	CA-206: Weather conditions	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Tunnel Alignment Drawing (NL-ARM-040-ARU1-110318)*	**HAZ-080, HAZ-182**		03/07/2024	

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-038	The design shall be engineered to reduce misalignment	CO-020: Water ingress	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC (NL-ARM-040-ARU1-110316)*	**HAZ-087**		03/07/2024	
SR-FEED-039	Tunnel depth shall be sufficient	CO-038: Tunnel collapse	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)* *Tunnel Alignment Drawing (NL-ARM-040-ARU1-110318)*	**HAZ-087**		03/07/2024	
SR-FEED-040	Dredging shall remove supporting medium around the tunnel thus already constructed segment ring's stability shall be checked	CA-124: Loss of confinement during the retrieval process CO-068: Excessive deformation of the rings	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)*	**HAZ-095**	Strengthened lining to prevent this. Feed report.	03/07/2024	
SR-FEED-041	Consultation with the contractor to determine the retrieval procedure shall be in placed and incorporated in the design		*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)*	**HAZ-095**		03/07/2024	
SR-FEED-043	The TBM retrieval plan shall be developed	CA-128: Incorrect dredging procedure CO-070: Unwanted TBM movement CO-039: Flooding in tunnel CO-071: Unstable TBM bedding condition	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *FEED Preliminary Report (NL-ARM-040-ARU1-110302)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)* *Minutes of meetings: ARM-ARC01-PTC1-ARM1-MOM-000057, 000066, 000083*	**HAZ-097, HAZ-098**	Detailed sequence - described in feed report with sketches and reports	03/07/2024	
SR-FEED-044	The ring shall be able to withstand sufficient forces	CO-009: Collapse	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-099**	risk pipe will be hitting lining, covered in feed report.	03/07/2024	
SR-FEED-045	There shall be no workers within tunnel during pipeline installation	CA-137: Flooding is required for pipeline installation CA-139: Flooding equipment failure CO-023: Drowning	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-110, HAZ-112, HAZ-113, HAZ-115**		03/07/2024	
SR-FEED-047	There shall be a walkway within the tunnel	CO-106: Escape route blocked during evacuation	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Tunnel spaceproofing (NL-ARM-040-ARU1-110320)*	**HAZ-151**		03/07/2024	

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-048	The lifting equipment shall be rated for maximum expected loads	CA-059: Unstable ground CA-193: Failure of lifting equipment CA-194: Crane falling over	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-162, HAZ-171**			
SR-FEED-049	There shall be effective construction sequencing so that no operatives are required in the tunnel	CA-199: Anchor (or other objects) being dropped onto the tunnel CA-200: Anchors dragging over the tunnel CA-201: Vessels sinking onto the tunnel CO-108: Tunnel damage/ failure	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-157, HAZ-158**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-050	The construction vessels shall be suitably offset from the end of the tunnel	CA-199: Anchor (or other objects) being dropped onto the tunnel CA-200: Anchors dragging over the tunnel CA-201: Vessels sinking onto the tunnel CO-108: Tunnel damage/ failure	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-157, HAZ-158**		03/07/2024	[redacted]
SR-FEED-051	The duration end of tunnel is exposed shall be reduced	CA-199: Anchor (or other objects) being dropped onto the tunnel CA-200: Anchors dragging over the tunnel CA-201: Vessels sinking onto the tunnel CO-109: TBM damage/ failure	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)*	**HAZ-159**		03/07/2024	[redacted]

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-052	Arup shall input into the site layout	CA-001: Firework repackaging facility located near shaft CA-002: Trespassers CA-003: Vandals CA-008: Delivery vehicles CA-009: Waste vehicles CA-025: Permanent artificial lighting on site CA-026: Nighttime working CA-074: HV Cable running in tunnel CA-147: Winch position placed near public road CA-155: Contaminants within the water CA-161: Service struck by machinery CA-163: Soil naturally high in arsenic contamination is not suspected.	*Shark Fin Construction Site Layout (NL-ARM-040-PTC1-110261)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110317)*	**HAZ-001, HAZ-002, HAZ-004, HAZ-015, HAZ-016, HAZ-017, HAZ-048, HAZ-116, HAZ-124, HAZ-125, HAZ-132, HAZ-134,**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-053	The panels shall be designed to jacking pipe and segment standard	CA-063: Sand enters joints and expands them	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-041**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-054	A switchover safety review shall be undertaken	CA-096: Switchover complications	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *HSE Risk Report (NL-ARM-040-ARU1-110311_00)*	**HAZ-066**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-055	During the FEED, designer shall review all the abrasivity data available and provide on the GIR the abrasivity conclusions and recommendations to the EPC Contractor	CA-105: High abrasivity in the ground or groundwater not identified during the tunnel design	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *GIR (NL-ARM-040-ARU1-110303)* *GBR (NL-ARM-040-ARU1-110307)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110317)*	**HAZ-077**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-056	Specify TBM cutter head for wide variety of ground conditions	CA-105: High abrasivity in the ground or groundwater not identified during the tunnel design	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Geotechnical Baseline Report (NL-ARM-040-ARU1-110307)* *TBM Specification (NL-ARM-040-ARU1-110317)*	**HAZ-077**		01/07/2024	[redacted]

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-057	The design shall require no hot work within the tunnel	CO-002: Fire	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)*	**HAZ-100, HAZ-119**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-058	A review of work that can be undertaken using ROV compared to diver	CA-037: Installing anchor heads CA-038: Cleaning of interface of wall and basement CA-039: Installing reinforcement cages CA-065: Hyperbaric work CA-132: Diving work required for TBM recovery CA-142: Diving to repair wires CA-143: Operations behind bulkhead CA-144: Cable snap CA-145: Pipeline stuck CA-154: Construction requires confined diving work	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Shaft construction sequence (NL-ARM-040-ARU1-110332)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)*	**HAZ-027, HAZ-043, HAZ-103, HAZ-114, HAZ-123**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-059	The design shall be diverless and justification shall be given for any diving procedures	CA-037: Installing anchor heads CA-038: Cleaning of interface of wall and basement CA-039: Installing reinforcement cages CA-065: Hyperbaric work CA-132: Diving work required for TBM recovery CA-142: Diving to repair wires CA-143: Operations behind bulkhead CA-144: Cable snap CA-145: Pipeline stuck CA-154: Construction requires confined diving work	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Shaft construction sequence (NL-ARM-040-ARU1-110332)* *TBM Retrieval Sequence (NL-ARM-040-ARU1-110330)*	**HAZ-027, HAZ-043, HAZ-103, HAZ-114, HAZ-123**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-060	A gasket sealed tunnel shall minimises gas ingress	CA-158: Ground gas, particularly from organic strata	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Tunnel design drgs (NL-ARM-040-ARU1-110323-328)*	**HAZ-129**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-061	Closed face TBM specified	CA-158: Ground gas, particularly from organic strata	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *TBM Specification (NL-ARM-040-ARU1-110317)*	**HAZ-129**		01/07/2024	[redacted]

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-062	During the FEED, geotechnical team shall revise all the geotechnical data available at the moment and generate an accurate GIR for the project	CA-159: Lateral variability of Made Ground CA-101: Excessive ground movements at the ground surface	*GIR (NL-ARM-040-ARU1-110303)* *Settlement Impact Analysis and Monitoring Plan - Sea Defence and Shipping Lane (NL-ARM-040-ARU1-110381) and Tennet Cables (NL-ARM-040-ARU1-110382)*	**HAZ-130**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-063	During the tunnel lining design, A sensitivity analysis of the design ground parameters shall be considered.	CA-159: Lateral variability of Made Ground CA-101: Excessive ground movements at the ground surface	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-130**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-064	In the tunnel design several ground load scenarios shall be performed considering the potential variability of the strata/mechanical conditions of the ground	CA-159: Lateral variability of Made Ground CA-101: Excessive ground movements at the ground surface	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-130**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-065	The segmental lining shall have a smooth finish to prevent the pipe becoming stuck during pipe pulling"	CA-170: Pipe becomes stuck on piece of tunnel geometry during pipe pulling	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Tunnel design drgs (NL-ARM-040-ARU1-110323-328)*	**HAZ-136**		01/07/2024	[redacted]
SR-FEED-066	A temporary piling platform should be designed to provide a stable base for heavy equipment during shaft construction	CA-194: Crane falling over	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Shaft construction sequence (NL-ARM-040-ARU1-110332)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-162, HAZ-171**		04/07/2024	[redacted]
SR-FEED-067	The design specified should have sufficient clearance 200mm between the toe of the diaphragm wall and any deviations in the position of tension piles	CA-204: Variation in the position or deviation of tension piles and diaphragm wall during construction	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-173**		04/07/2024	[redacted]
SR-FEED-068	Fibre reinforced concrete shall be used	CO-041: Leakage	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Tunnel design drgs (NL-ARM-040-ARU1-110323-328)*	**HAZ-174**		04/07/2024	[redacted]
SR-FEED-069	Grouting tubes shall be installed along the diaphragm wall-slab joint	CO-041: Leakage	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-174**		04/07/2024	[redacted]

Safety Risk Controls							
Safety Risk Control ID	**Safety Risk Controls**	**Associated Causes & Consequences**	**Evidence**	**Related Hazard ID**	**Comments + Notes**	**Date Modified**	**Modified By**
SR-FEED-070	Tunnel sequencing should be planned to minimise settlement risks	CA-059: Unstable ground CA-060: Work disturbs ground CA-162: Long term settlement of the tunnel	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)*	**HAZ-038, HAZ-063, HAZ-136**		04/07/2024	[redacted]
SR-FEED-071	The tunnel switchover shall optimise switchover times and durations for least risk to workers	CA-096: Switchover complications	*Tunnel FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306)* *Preliminary Construction Execution Plan (NL-ARM-040-ARU1-110315)*	**HAZ-180**		04/07/2024	[redacted]

Bijlage 11

Tunnel and shaft sinking

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

NL-ARM-040-ARU1-110316, Rev. 02, Accepted without comments, 14-Oct-2024

# Tunnel FEED - Tunnelling and Shaft Sinking Specification for EPC				**Document Reference** NL-ARM-040-ARU1-110316	
				Revision: 02	**Step**: IFD
				Date: 27-09-2024	
Document Type: SPE	**Family Equip:** n/a	**Discipline:** CIV	**Class:** 2	Page 1 of 37	

ARAMIS

ARAMIS PROJECT

Petrofac

Rev	Step	Date	Revision memo	Issued by	Checked by	Approved by
00	IFR	22-07-2024	Issued for Review	[redacted]	[redacted]	[redacted]
01	IFD	10-09-2024	Issued for Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]
02	IFD	27-09-2024	Issued for Design	[redacted]	[redacted]	[redacted]

This document is issued pursuant to an Agreement between TotalEnergies Nederland B.V and Petrofac Facilities Management Limited which agreement sets forth the entire rights, obligations, and liabilities of those parties with respect to the content and use of the report. Reliance by any other party on the contents of the report shall be at its own risk. Petrofac makes no warranty or representation, expressed or implied, to any other party with respect to the accuracy, completeness or usefulness of the information contained in this report and assumes no liabilities with respect to any other party's use of or damages resulting from such use of any information, conclusions or recommendations disclosed in this document.

ABBREVIATIONS **5**

DEFINITIONS **6**

HOLDS **7**

1 INTRODUCTION **8**

1.1 Background 8

1.2 Purpose of Document 8

1.3 Legislation, Codes and Regulations 9

1.4 Simultaneous Operations 9

2 EQUIPMENT REQUIREMENTS **10**

2.1 General 10

2.2 TBM Specification 10

2.3 Backup system 10

2.4 Slurry Treatment Plant 11

2.5 Lubricant Properties 11

2.6 Shaft Seals and Pipe Break 13

2.7 Interjack Stations 13

2.8 Annular Overcut Grouting System 13

3 HEALTH, SAFETY, WELFARE AND CONSTRUCTION WORKING ENVIRONMENT REQUIREMENTS **14**

3.1 Leadership Commitment 14

3.2 Safety regulations 15

3.3 Fire Safety Requirements 16

3.4 Compressed Air Interventions 17

3.5 Ventilation during construction 18

3.6 Lighting 19

3.7 Access and egress 19

3.8 Atmospheric testing and temperature 19

4 QUALITY MANAGEMENT AND CONSTRUCTION SITE RECORD REQUIREMENTS **20**

4.1 Quality Management System 20

4.2 Preparation of Site Records by EPC Contractor 21

4.3 General – Implementation of the Tunnel Data Management System (TDMS) 21

4.4 Geotechnical records 22

4.5 Production records 22

5 PERMANENT STRUCTURES, GEOMETRY AND CONSTRUCTION TOLERANCES 24
5.1 Shaft 24
5.2 Tunnel Spaceproofing 25
5.3 Tunnel 25
5.4 Formwork 26
5.5 Temporary Structures 26
6 WATERPROOFING MEASURES 27
6.1 Waterproofing Criteria 27
6.2 Shaft waterproofing measures 27
6.3 Tunnel gasket properties 27
7 GROUNDWATER CONTROL AND GROUND TREATMENTS 28
7.1 Groundwater monitoring and control 28
7.2 Limitations 28
8 GROUND MOVEMENTS AND IMPACT ASSESSMENT 29
8.1 Maximum ground movements at existing asset crossing 29
8.2 Third Party Requirements 29
8.3 Instrumentation and monitoring plan 29
9 DURABILITY 31
9.1 Design life. 31
9.2 Durability requirements 31
10 MATERIALS PROPERTIES 32
10.1 Tunnel and Shaft materials 32
10.2 Backfill Grouts 32
10.3 Environmental constraints and Restriction of materials 33
10.4 Alternative Materials 33
11 SURVEY REQUIREMENTS 34
11.1 General requirements 34
11.2 Survey of existing structures 34
11.3 Shaft Surveys 34
11.4 Tunnel Surveys: As-built PCTL and Final Alignment 34
11.5 Field Quality Control 35
12 REFERENCES 37

List of Figures

Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure.....8

List of Tables

No tables.

ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
GIR	Ground Investigation Report
GDR	Geotechnical Design Report
GBR	Geotechnical Baseline Report
LAT	Lowest Astronomical Tide
NAP	Normaal Amsterdams Peil
PCTL	Precast Concrete Tunnel Lining
STP	Slurry Treatment Plant
TBM	Tunnel Boring Machine
UB	Upper Bound
LB	Lower Bound

DEFINITIONS

Terminology	Definition
Company	Aramis, a joint development by TotalEnergies, Shell Netherlands, Energie Beheer Nederland (EBN) and NV Nederlandse Gasunie.
Aramis	Refers to assets owned and operated by Aramis
Project	Aramis Project consisting large-scale infrastructure to transport CO2 captured by other industrial enterprises and to deliver this offshore to depleted gas fields in which the CO2 will be stored permanently.
FEED Contractor	Petrofac Facilities Management Ltd.
EPC Contractor	Party or organisation selected by the Company to execute the detailed engineering, procurement (supply) and construction (and commissioning) phase of the project.
Supplier	Party or organisation that manufactures, supplies equipment packages and/or services to perform duties specified by the Company, FEED Contractor or EPC Contractor.
Shall	Is used to indicate a mandatory requirement.
Should	Is used to indicate that the provision is preferred.
May	Is used to indicate alternatives, which are equally acceptable, at Contractor discretion.
Must	Is used to indicate compulsory, legally binding requirement.

HOLDS

No.	Section	Hold

1 INTRODUCTION

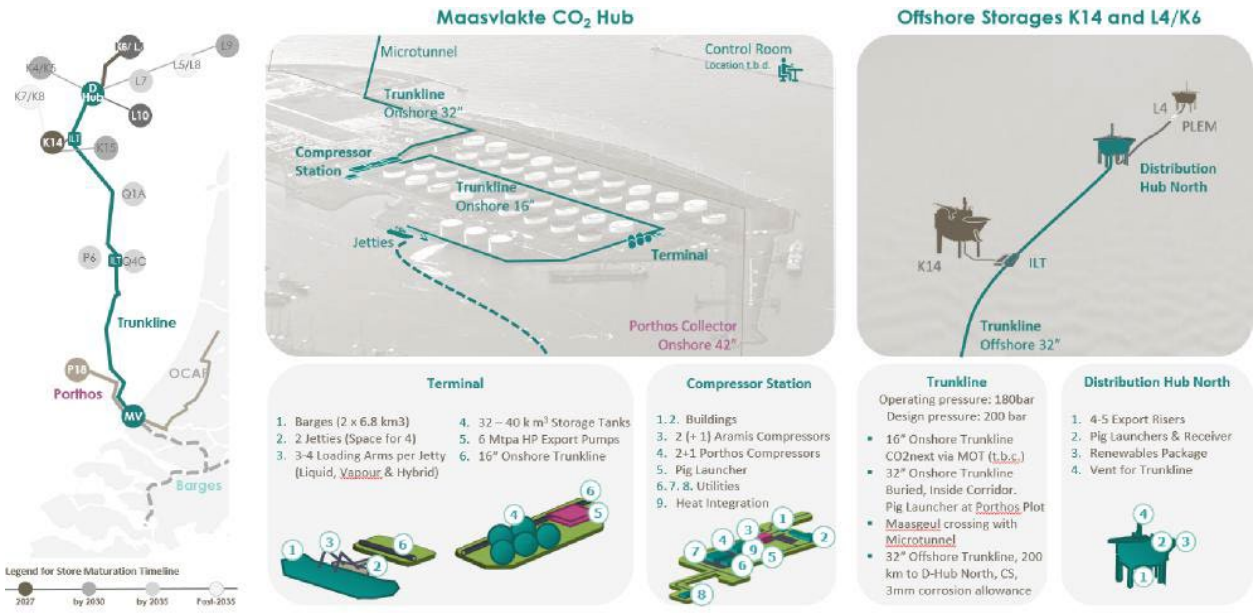
1.1 Background

The Aramis project is a cooperation between Shell, TotalEnergies, Gasunie and EBN to utilise depleted gas fields and potentially aquifers in the Dutch North Sea to establish an open-access CCS infrastructure for transport and storage, targeting hard-to abate industrial emissions in the Netherlands and Europe.

This part of the project provides the transport of CO_2 from the onshore terminal to an offshore platform, which is used as distribution hub (D-Hub). Other parts of the project are provided by CO2next and Porthos, while the actual storage in the depleted offshore gas fields under the North Sea is performed by Shell and TotalEnergies as part of their offshore operations.

In Figure 1-1 below an overview of the envisaged CCS infrastructure is given. The left panel illustrates the trunkline that transports the CO_2 from the Maasvlakte to the offshore storage. The middle panels illustrate the Maasvlakte Hub with the Porthos compressor station and the CO2next Terminal. The right panel shows the platforms of TTE and Shell.

Figure 1-1 - Overview of CCS Infrastructure



1.2 Purpose of Document

1.2.1 This document is a tender specification for the construction of the Aramis project landfall shaft and tunnel. Encompassing requirements regarding the shaft construction, TBM / tunnelling and related plant, material, durability and waterproofing properties, health and safety during construction, quality control management, tolerances, construction record keeping, groundwater management and instrumentation and monitoring. This document has been developed based on the FEED level design documented in the Tunnel FEED Design Report NL-ARM-040-ARU1-

110306. Further specification requirements may arise following EPC detailed design development depending on the EPC Contractor's detailed design for the shaft and tunnel.

1.3 Legislation, Codes and Regulations

1.3.1 The design and construction of all permanent structures shall be carried out in accordance with EU Directives, Dutch Regulations, and Dutch design codes (NEN codes). Where there is misalignment between standards, codes, or regulation the most stringent should be adhered to. The following order of precedence shall apply:

1. Statutory Netherlands Laws and Regulations
2. Project Documents (requisitions, specifications, datasheets, bases of design and philosophies) covering qualifications and derogations to General Specifications
3. Company General Specifications
4. International Codes and Standards

See NL-ARM-010-PTC1-100730_01 for further applicable regulations, codes & standards.

References to General Specifications and Standards, in-country laws, decrees and ministerial orders, standards and regulations, and to international codes and standards, shall be understood to be referenced to the latest edition in force on the effective date of the contract commencement. If substantially changed or new applicable codes and standards come into force after this date, the EPC Contractor shall submit proposals for compliance to Company.

1.4 Simultaneous Operations

Contractors shall coordinate actions with all relevant parties, attending interface meetings as required by Company. All interfaces for both onshore and offshore works shall be addressed within relevant scope of works documentation.

2 EQUIPMENT REQUIREMENTS

The requirements in this section summarise the minimum requirements for the TBM and associated tunnelling equipment. EPC Contractor shall procure a TBM that is capable of excavating through the full range of ground conditions described in the Geotechnical Baseline Report (NL-ARM-040-ARU1-110307) and the additional conditions defined in this section, and as determined by the EPC Contractor to meet the schedule and performance requirements. Specifications for the TBM itself are included in the TBM Specification (NL-ARM-040-ARU1-110317).

2.1 General

2.1.1 The TBM, and all above ground TBM ancillary and site equipment must be capable of being operated and maintained in all foreseeable weather conditions.

2.2 TBM Specification

2.2.1 The EPC contractor carries the full responsibility for selecting and procuring the TBM (in accordance with TBM Specification [3]) and all required ancillaries.

2.2.2 The EPC contractor shall submit a description of the proposed TBM along with backup, break-out, and retrieval equipment. This shall provide sufficient details to demonstrate that the TBM meets the specification, along with a detailed narrative demonstrating the suitability of the TBM and backup for tunnelling in the ground conditions described in the Geotechnical Baseline Report (GBR) [4].

2.2.3 Documentation shall be submitted to Company related to the TBM e.g. TBM and offshore lifting arrangement Drawings, TBM operational procedures, TBM maintenance plan, CVs of TBM operations personnel, TBM commissioning plans, etc.

2.2.4 The TBM shall be new or refurbished like new, with clear track record of maintenance and repair works.

2.2.5 The EPC Contractor shall have sufficient spare components/contingency plans in place, etc to ensure no/limited downtime during TBM operations.

2.3 Backup system

2.3.1 The backup and gantry systems shall be designed by specialists with experience in the operation of this type of equipment.

2.3.2 Only appropriately trained operatives shall be permitted to operate haulage plant, gantry cranes or any other lifting equipment. Each such operator shall be adequately trained by the equipment

supplier in the correct and safe use and shall hold a valid certificate stating that they have been so trained.

2.3.3 The backup system shall include adequate provision for the extension of all services and utilities from the surface, including power, ventilation, communications, dewatering pipework, compressed air and cooling water.

2.4 Slurry Treatment Plant

2.4.1 The STP shall be designed by specialists with experience in the operation of this type of equipment.

2.4.2 The STP shall be suitably designed and operated in a manner to ensure that a slurry density appropriate to the prevailing ground conditions is continuously supplied to the TBM.

2.4.3 Plant shall be equipped with shaker, course and fine hydro cyclones and centrifuge systems.

2.4.4 The STP shall provide sufficient holding tank capacity to meet the requirements for slurry treatment for the TBM. This capacity includes sufficient capacity for slurry/water being treated before discharge as well as sufficient capacity for holding of fresh hydrated bentonite to allow full replacement of active slurry for the TBM circuit.

2.4.5 The STP shall be designed to handle the maximum expected TBM penetration rate with respect to the geology plus 30% and be capable of being expanded to increase operational capacity should the need arise. Such expansion or any additions or modifications to the STP shall be approved by the STP supplier.

2.4.6 The STP shall be suitably designed with a testing regime developed by a suitably qualified mud engineer, approved by the STP supplier

2.4.7 The EPC Contractor is responsible to ensure that Slurry Treatment and discharge of water shall be in accordance with permit requirements.

2.5 Lubricant Properties

2.5.1 To stabilize the tunnel bore and reduce friction between the outer surface of the tunnel and surrounding soil during pipe jacking, a lubricant with thixotropic properties (a Sodium Bentonite plus additives) shall be injected to the anulus overcut gap. The EPC contractor shall provide documentation of the materials and additives that are intended to be used for Aramis approval.

2.5.2 The lubricant mixture should be designed by an expert mud engineer in relation to the expected geology prior to start of tunnelling.

2.5.3 For mixing bentonite with water, a high-shear mixer shall be used. Capacity of mixing and pumping of the lubricant shall be suitable for the maximum TBM speed.

2.5.4 For hydrating the bentonite, only potable water shall be used. Water hardness and electrical conductivity shall be checked before commencing tunnelling and details submitted to Company

along with any proposals of additives (e.g. soda ash) to achieve suitable hardness and pH of the bentonite mixture for acceptance by Company.

2.5.5 Prior to start-up, a swelling profile for the bentonite shall be defined. When the bentonite is mixed, enough time shall be given to the bentonite to "swell" to reach at least 90% of max "swell" size.

2.5.6 The STP must be capable of being operated and maintained in all reasonably foreseeable weather conditions, based on relevant data sources included in the project Onshore Meteorological Design Basis [5] and Offshore Metocean Design Basis [6] reports

2.5.7 The backup system shall include adequate provision for the extension of all services and utilities from the surface, including power, ventilation, communications, dewatering pipework, compressed air and cooling water.

2.5.8 Prior to TBM launch, the following values shall be defined based on geology and details submitted to Company for acceptance:

- Min/max density (mud balance)
- Min/max viscosity (Marsh Cone)
- Gel strength - Yield Point - static and dynamic. (rotation viscometer and ball harp tests)

These parameters shall be demonstrated in the approved tunnel method statement and maintained during tunnelling. The lubricant shall be frequently tested and recorded in tunnel shift reports.

2.5.9 An automatic lubrication system must be used in Pipe jacking mode. The system shall measure the pressure of the lubricant, as well as of the volumes of the injected material through the various injection ports. In addition to injection through the jacking pipes, the TBM tail and tunnel eye shall be provided with injection nozzles. Injection ports must be mounted with a" backflow preventer" capable to control hydrostatic pressures. Details of the injection system shall be submitted to Company.

2.5.10 Lubrication injection pressure and volume shall be adjusted according to ground and groundwater pressure. The contractor shall record details of this within method statements and estimate the expected injection volume to maintain the lubricant slurry pressure along the tunnel.

2.5.11 The following shall be monitored and registered continuously during the pipe jacking and at standstill:

- Lubrication pressure measured at TBM tail.
- Lubrication pressure for each injection section.
- Injected volume at the TBM tail.
- Injected volume for each injection section.

EPC Contractor shall ensure that the pressure and volume are within the limits defined in the approved method statement.

2.6 Shaft Seals and Pipe Break

2.6.1 At the tunnel eye a shaft seal and pipe break must be installed. These shall be installed as per manufacturer's instructions, and must have features capable of:

- Sealing the annulus between the jacking pipe and ground to allow bentonite slurry/lubricant to adequately reduce jacking loads.
- Preventing slurry pressure loss
- Preventing the flow of groundwater into the jacking shaft.
- Maintaining positive force on pipe string to counteract both earth and hydrostatic loads on the TBM system.
- Providing and emergency sealing system

2.7 Interjack Stations

2.7.1 The EPC Contractor shall ensure that jacking forces do not exceed the design capacity of the launch shaft, based on the detailed design to be developed by EPC Contractor.

2.7.2 The EPC Contractor shall ensure that interjack stations are spaced such as to not exceed the capacity of reinforced concrete jacking pipes.

2.8 Annular Overcut Grouting System

2.8.1 EPC Contractor shall be responsible for annular grouting along the full length of tunnel, including the annulus of pipe jack sections and the annulus of segmentally lined sections of the tunnel.

2.8.2 Before tunnelling operations commence, grout batching plant, pumps and lines shall be thoroughly inspected and tested to ensure adequate conveyance and pressures can be achieved and maintained to ensure the quality of grouting during tunnelling operations.

3 HEALTH, SAFETY, WELFARE AND CONSTRUCTION WORKING ENVIRONMENT REQUIREMENTS

3.1 Leadership Commitment

3.1.1 The EPC contractor shall ensure their design and construction activities are in line with Aramis HSSE Policy and Objectives. These include:

- Demonstrate Safety Leadership commitment to No Harm (people, assets, environment & Communities
- Manage risks and implement activities in accordance to an accredited HSSE Management System
- Ensure the wellbeing and welfare of the workforce in accordance with industry best practices e.g. IOGP IOGP423_InfoSheet_WeAllCare.pdf
- Comply with regulatory requirements, Company Standards & Requirements, and industry standards (next sections) - Manage subcontractors to meet the same HSSE requirements and expectations of the Contractor
- Implement opportunities that contributes to sustainable development e.g. reduced CO2 & NOx footprint, and biodiversity protection - Seek continuous improvement through learning and assurance activities

3.1.2 Inherently Safer Design

The Project shall adopt an inherently safer design approach that focuses on a hierarchy of design solutions that by preference eliminates the hazards, or reduces the risk, rather than relying on complex protective systems that only react once a hazardous situation starts to develop. This hierarchy is illustrated below as:

1. Eliminate the hazard at source;

2. Eliminate the risk by removing the need for personnel to be present;

3. Reduce the scale of the hazard, reducing the frequency or scale of releases;

4. Reduce the risk by reducing the time that personnel are directly exposed to the hazard;

5. Utilize passive hazard management measures;

6. Utilize simple robust active hazard management measures that are fail safe;

7. Utilize complex and/or multiple hazard management measures, possibly including those that are not fail safe; 8. Utilize personal protection equipment and procedures.

3.2 Safety regulations

3.2.1 The EPC Contractor shall prepare a HSE Plan, including risk assessments, in Compliance with National and State Safety regulations, along with Company requirements, for all construction activities relating to shaft and tunnelling works.

3.2.2 The operation of the TBM and backup system shall comply with the general recommendations in the document Closed-Face Tunnelling machines and Ground Stability – A Guideline for best practice, published by the BTS in 2005. The design and manufacture of the TBM and backup system shall comply with all applicable legislation and Industry Regulations, Codes of Practice, and relevant Dutch and European Standards including, but not limited to, the following:

- BS 6164:2019: Health and safety in tunnelling in the construction industry − Code of practice
- NEN EN 12336:2005: Tunnelling machines. Shield machines, thrust boring machines, auger boring machines, lining erection equipment. Safety requirements
- NEN EN 16191: Tunnelling machinery: Safety requirements.
- NEN EN 12110: Tunnelling machines. Air locks. Safety requirements.
- NEN EN 60079 Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres.
- NEN EN 50402: Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible or toxic gases or vapours or of oxygen. Requirements on the functional safety of fixed gas detection systems.
- NEN EN 981: Safety of machinery. System of auditory and visual danger and information signals.
- NEN EN 61310-1: Safety of machinery. Indication, marking and actuation. Requirements for visual, acoustic and tactile signals.
- NEN EN 60034-9: Rotating electrical machines. Noise limits.
- NEN EN 620: 2002 + A1: Continuous handling equipment and systems. Safety and EMC requirements for fixed belt conveyors for bulk materials.
- NEN EN ISO / IEC 17050-1: Conformity assessment. Suppliers' declaration of conformity. General requirements.
- BS 7671: Requirements for Electrical Installations
- EN IEC 60204: Safety of machinery – Electrical equipment of machines
- 2006/42/EC: Machinery directive
- ASCE/CI 36 Standard Design and Construction Guidelines for Microtunnelling (36-15)
- DAUB (2013), Recommendations for the design, production and installation of segmental rings, Germany

- DWA-A 125E: Pipe Jacking and Related Techniques

3.3 Fire Safety Requirements

3.3.1 The EPC Contractor shall prepare a Safety Plan in Compliance with National and State Fire Safety regulations for all construction activities relating to shaft and tunnelling works.

3.3.2 During the planning stages of construction, renovation or repair work, the cooperation of the emergency services should be sought in making arrangements for emergency response including fire-fighting and rescue as well as for contacting the emergency services.

3.3.3 An above ground Emergency Control Centre incorporating an emergency roll call system shall be established near each controlled access point to the tunnel. The EPC Contractor shall ensure that all other points of entry to the tunnel are secured to prevent unauthorised access.

3.3.4 A method of recording in and out movement of personnel (tally system) shall be provided at any entrances to control and record the number of persons in the tunnel at any time.

3.3.5 Hose reels, capable of reaching within 30 m of any point of the tunnel, shall be provided along the tunnel at suitable intervals and coincide with hydrant outlets.

3.3.6 A dedicated inter-communication system, in the form of a direct telephone link shall be provided to the Emergency Control Centre and suitable locations along the tunnel for effective communication. The performance of the telephone line system under fire condition shall comply with:

- NEN-EN-IEC 60332: Parts 1 and 3 on Fire Retardance
- BS EN 6724 on Low Smoke Emission; and
- NEN-EN-IEC 60754-1 on Zero Halogen Gas Emission.

3.3.7 Communication facilities shall be provided in the tunnels to facilitate Netherland Fire Service radio communications. They shall allow radio communications between firemen inside the tunnels as well as between those firemen inside the tunnels and others outside of the tunnels at road level.

3.3.8 Manual alarm points with audible and visual warning devices shall be provided at the locations adjacent to the hose reel points.

3.3.9 Self-luminous exit signs / directional exit signs which comply with BS 5449 Part 2 or other acceptable standards shall be provided at regular intervals along the tunnel walls.

3.3.10 Gas detectors which are capable of detecting combustible gas, oxygen concentration level and hazardous poisonous gas shall be provided and readily available for emergency use at the Tunnel Entrance Control Centre and at each portal. Indicators / Panel shall be provided at the above ground Emergency Control Centre to identify the exact zone(s) of incident location and distance from the entrance.

3.3.11 Storage and usage of dangerous goods shall be in accordance with the Dangerous Goods Regulations.

3.3.12 A secondary power supply or back-up generators shall be provided to support the operation of tunnel lighting, ventilation systems, passenger hoists, power critical systems of TBM (computers, data

loggers, face support pressure systems, fire detection and firefighting systems, critical valves, air locks) and all emergency services in the event of power failure.

3.3.13 A comprehensive evacuation plan for workers shall be produced by the EPC Contractor. The evacuation plan shall be reviewed, updated and authorised monthly by the EPC Contractor's Safety Officer to reflect the development of the works.

3.3.14 Emergency / fire resistant and self-contained refuge chamber on TBM shall be in place with a minimum. 24hrs independent operation with capacity for full crew + 1 supervisor + 4 visitors.

3.3.15 TBM to be equipped with automatic fire detection and suppression systems with special attention to automatic suppression of fires in electric cabinets and hydraulic pump/storage area's, with sprinkler water screen at end of TBM.

3.3.16 The above safety requirements are not exhaustive. Additional fire safety requirements may be formulated by Netherland Fire Service upon the receipt of detailed submission or whenever they deem appropriate.

3.4 Compressed Air Interventions

3.4.1 Compressed air working, compressed air plant, air locks and all other installations shall comply with the most stringent of all applicable Dutch regulations for working in compressed air. Where they do not conflict with these regulations, and as appropriate, apply the requirements and recommendations of EN 12110 "Tunnelling Machines, Air Locks, Safety requirements", ITA-AITES "Guidelines for Good Working Practice in High Pressure Compressed Air" and BTS "A Guide to Work in Compressed Air".

3.4.2 The EPC Contractor shall install and commission the compressed air system prior to the launch of the TBM and demonstrate to the satisfaction of the Company that the compressed air facilities can be pressurized and access gained to the excavation chamber at 12 hours' notice without the need to bring in additional equipment from offsite.

3.4.3 The EPC Contractor shall appoint a specialist provider of compressed air medical treatment and screening services to the acceptance of the Company.

3.4.4 No person shall be employed in any work in a compressed air environment unless they have undergone a training course which is designed to acquaint them with the hazards associated with work in compressed air.

3.4.5 All persons working in compressed air shall be certified as medically fit and medical certificates shall be available for inspection by the Company.

3.4.6 The EPC Contractor shall provide each person who works in compressed air with a laminated identification card displaying name, photograph, employer, occupation, unique reference number and an emergency contact number that can be used in the event the person suffers from

decompression sickness outside their hours of work. The ID card shall be surrendered on entry into the airlock.

3.4.7 All personnel operating plant and equipment for compressed air working shall be suitably qualified in line with requirements of this Section.

3.4.8 A back up / emergency air lock shall be provided at ground level on site.

3.5 Ventilation during construction

3.5.1 The EPC Contractor shall provide a suitable designed ventilation system comprising primary TBM ventilation, duct storage and handling/extension facilities and a suitable means to connect the TBM ventilation system to the tunnel ventilation ducting.

3.5.2 The EPC Contractor shall submit his ventilation proposals to Company for acceptance with assistance from a specialist sub-contractor as required prior to its installation. The acceptance of the Company shall not relieve the EPC Contractor of his obligations under the contract.

3.5.3 The EPC Contractor shall take due consideration of the size and length of the tunnels, the stages of works progression, and the methods of construction to be used in the design of the ventilation system. The ventilation system shall be modified to cope with any changing configuration of the tunnel works layout and shall be upgraded as the works progress.

3.5.4 The tunnel ventilation ducting shall be proprietary flame retardant flexible or rigid tunnel ducting. The overall ventilation system shall be capable of delivery of fresh air to the tunnel. The EPC Contractor shall provide and maintain adequate forced ventilation in all parts of the underground works (shaft and tunnel).

3.5.5 In advance of tunnelling operations, the EPC contractor shall submit a plan to ensure adequate air flow and air quality, with measures for ongoing testing.

3.5.6 In addition to the primary ventilation system, the system shall be capable of extraction of hot smoke and fumes from the tunnel in the event of fire at any part of the tunnel to give best possible access to Netherland Fire Service to suppress fires in the tunnel.

3.5.7 The EPC Contractor shall install a robust ventilation system with adequate smoke removal systems.

3.5.8 The primary ventilation system and smoke extraction system shall be capable of being controlled from the surface in the event of a fire in the tunnel.

3.5.9 The EPC Contractor shall carry out daily testing of the air quality before allowing entry of his workforce into the tunnels and other confined spaces. Records of such tests shall be recorded in a daily log and copied to the Company.

3.5.10 The EPC Contractor shall develop a procedure for evacuation of the underground works for use in the event that air quality testing during ongoing operations confirms that air quality is not within allowable limits. Such an evacuation shall also be recorded in the log. The evacuation procedure shall be incorporated into the EPC Contractor’s Safety Plan

3.5.11 The EPC Contractor shall install and maintain sufficient continuous noxious and explosives gas monitoring units in the tunnel drives at all times. The units shall have both audible and visual alarms.

3.5.12 Any NOx emissions from plant and equipment shall be compliant with relevant safety and environmental limitations.

3.6 Lighting

3.6.1 Emergency lighting shall be installed at sufficient and at all points in the tunnel where safety, fire fighting or communication systems are installed. Emergency lights shall be tinted green above communication points and red above firefighting points.

3.6.2 Electric lights shall be provided to properly and safely illuminate all parts of the tunnel. The EPC Contractor shall provide a minimum of 100 Lux of electric lighting in all tunnel and chambers or such higher level that may be necessary for safe working and access.

3.6.3 Electric heaters or radiators having exposed coils or elements shall not be allowed in the tunnels.

3.6.4 All main electrical cables installed within the tunnel shall comply with the Code of Practice for health and safety in tunnelling in the construction industry and all relevant local standards.

3.7 Access and egress

3.7.1 The EPC contractor shall ensure an adequate emergency response plan, including medivac shall be in place before site works are carried out due to the relative remoteness of the site in the Netherlands.

3.7.2 The EPC contractor shall ensure that safe means of access and egress are provided for the shaft.

3.7.3 The EPC Contractor shall provide walking access in the tunnel at all times. This shall have a firm, level, slip-resistant and continuous surface and shall be suitable for use in emergencies when lighting may be unavailable. The walkway will be located outside the structure gauge and kinematic envelope of the tunnel locomotive and wagons.

3.7.4 Temporary locomotive track shall be properly supported and secured against displacement in the tunnel. The entire length of the track shall be examined not less than once a week and the results of this inspection shall be forwarded to the Company.

3.7.5 Personnel entry for manual surveys shall be reduced to as low as reasonably practical.

3.8 Atmospheric testing and temperature

3.8.1 The EPC Contractor shall avoid, if practicable, employing labour in areas where the wet bulb temperature is greater than 27°C. The recommendations of BS 6164 Clause 15.3 shall be applied.

3.8.2 The EPC Contractor shall consider the TBM manufacturer's atmospheric temperature requirements for the efficient and safe operation of the TBM that may require temperatures less than those outlined above.

4 QUALITY MANAGEMENT AND CONSTRUCTION SITE RECORD REQUIREMENTS

4.1 Quality Management System

4.1.1 General

The EPC Contractor shall operate an independently approved, project specific, Quality Management System in accordance with the requirements of ISO9001. The Quality Management System shall cover the whole EPC scope and all activities including design, precast fabrication of segments and jacking pipe, transportation of the precast items, TBM fabrication, site mobilization, shaft and tunnel construction and post tunnelling activities (pull in and grouting related). It shall provide documentary evidence that tests and inspections specified are carried out at the required frequency and the specified standards have been achieved.

A quality system for excavation and construction of temporary supports for the shafts and tunnels which conforms to this specification including quality records, hold points, witness points and work instructions shall be established and maintained. The EPC Contractor shall also demonstrate the procedure for inspection, acceptance, and repair of precast items. Quality Management Systems and quality plans shall be used to achieve conformance with this specification and shall be submitted to the Company.

4.1.2 QA audits adhering to ISO 9001 will be performed by the Company. This will be Quality management system audit that covers all aspect of the works and will not be limited to sampling and testing. Before starting work the EPC Contractor shall submit their audit management system and must accommodate access to any auditors.

4.1.3 Inspection and Testing

Inspection and testing plans shall be developed to demonstrate recorded and auditable compliance with this Specification. This shall be included in the quality plan and submitted to Company for approval. The EPC contractor shall prepare the inspection and test plans and checklists for the items listed as a minimum:

- Precast fabrication (ITP and individual checklist for each segment)
- Shaft construction works,
- Tunnel works including checklists for jacking pipe preparation and loading
- Post tunnelling works and checklists for grout line, grout plug, messenger wire, site demobilisation and reinstatement.
- Tunnel handover checklist.

These shall be submitted to the Company for review and approval prior to commencement of the relevant work. See section 11.5 for related Field Control requirements.

4.2 Preparation of Site Records by EPC Contractor

4.2.1 This Specification requires the EPC Contractor to maintain, as a minimum, the following records and documents for audit purposes:

- Proposals to adopt alternative materials and equipment.
- All information necessary to produce as-built drawings and records.
- Survey of the shaft Dwalls and tunnels after excavation and installation of any temporary support.
- Monitoring results and review records by qualified personnel.
- Records for the storage, handling of materials as required by Contractor's Method Statement.
- Details of sequence and method of shaft and tunnels excavation and support

4.2.2 The EPC Contractor shall record and submit daily to the Company all records for compressed air working and related works including, but not limited to, air pressure, air quality, delivery volume and temperature.

4.2.3 The EPC Contractor shall ensure adequate Pre-Commencement and Set-Up Checks, Thrust Pit Set-Up inspections and checks, Shift Reports and TBM Driver's Records are undertaken and documented.

4.2.4 Precast items (tunnel segments and jacking pipe) and their components shall have full trackability and auditable QC records. A project specific QMP/ITP is required specifically for the precast supply.

4.2.5 A shift report and TBM data log shall be recorded including TBM operation parameters. It shall be available to the Company up on request.

4.3 General – Implementation of the Tunnel Data Management System (TDMS)

4.3.1 The TBM shall have an automatic digital logging system which records all TBM operation data.

4.3.2 The EPC Contractor should engage a software company to develop software and implement a tunnel data management system (TDMS), which shall be a digital database of construction information to regularly record and report on construction data, production and construction records).

4.3.3 The TDMS should be web-based with Internet based data transmission. The system shall allow for real time access by the Company.

4.3.4 The EPC Contractor shall update, interpret, depict, explain and report the TDMS information on a daily basis and submit a monthly report within the first three working days of each month after the commencement of the contract to the Company in an agreed format.

4.3.5 The TDMS shall log activities including data input, amendment and deletion with date, time and user who carried out the activity.

4.3.6 The Company shall become the exclusive owner of all intellectual property rights subsisting in the TDMS. All of the essential components, TBM logging data, hardware, software and all necessary means of the TDMS shall be transferred to the Company upon completion of the contract. The

EPC Contractor shall submit and agree with the Company a list of hardware and software to be transferred.

4.4 Geotechnical records

4.4.1 The digital database shall be including, but not limited to, the following geological and hydrogeological details below:

- Ground Investigation Data;
- Design Prediction Data;
- Soft / mixed ground characteristics;
- All the relevant slurry parameters used, including the flow (IN and OUT), and the rheological slurry parameters (bentonite content, the yield value, the filtrate…)
- Records on ground movement and instrumentation monitoring, including all geotechnical and tunnel instrumentation;
- Water inflow measurements (if applicable);
- Water pumping records (if applicable),
- Excavated volumes (if applicable)
- The dry mass of all excavated and discharged material in slurry TBM and the STP shall for checking against the theoretical excavated mass, at the STP, for purpose of verifying the mass of excavated earth derived from readings recorded by density and flow meters.

4.4.2 The EPC Contractor shall notify the Company without delay of any unusual ground encountered during excavation.

4.5 Production records

4.5.1 The digital database shall be including, but not limited to, the following construction and production details below:

- Baseline construction programme and any updated construction programme;
- Time records of all site activities during excavation and support of the shafts and the tunnel;
- Records identifying the critical path activity;

4.5.2 The monitoring and control instrumentation of TBM parameters shall be grouped in suitable panels allowing good visibility with real time access (refresh rate of parameters = 1s) for the Company. The instruments and controls shall include, but not limited to the following:

- Face pressure gauges (at least two pressure sensors in excavation chamber and two in working chamber),
- Machine position, inclination, roll, advance rate of shield and penetration rate,
- Cutterhead rotation speed, direction, torque and thrust,

- Ram thrust pressures, stroke and speed,
- TBM power consumption,
- Means of measuring and recording the volume of material excavated per ring of advance, such as slurry flow,
- Ram extension,
- Injected grout at tailskin, quantity, volume, pressure, weight,
- Pressure and quantity of shield bentonite lubrication and main drive grease,
- All the relevant slurry parameters used, including the flow (IN and OUT), rheological slurry parameters (bentonite content, the yield value, the filtrate…), pump pressures, valve positions in slurry lines.
- Pulling force of back-up gantries
- Temperatures of cooling water, hydraulic oil, and main drive (if hydraulic),
- Injection rates/Volumes of tailseal grease
- Position erector

5 PERMANENT STRUCTURES, GEOMETRY AND CONSTRUCTION TOLERANCES

5.1 Shaft

5.1.1 The permanent lining for the shaft shall be constructed to the minimum clearance line indicated on the drawings. The EPC Contractor shall make allowances for construction tolerances to ensure the minimum specified permanent shaft diameter is achieved.

5.1.2 The construction tolerances for the diaphragm wall are:

- 1:100 – construction verticality tolerance
- 50mm – deviation in plan tolerance
- ~75mm – Thickness in contact between contiguous panels

5.1.3 The construction tolerance for the Steel sheet piles is:

- 1:75 – Construction verticality tolerance

5.1.4 The construction tolerance for the tension piles are:

- 1:100 – Construction verticality tolerance
- 50mm – deviation in plan tolerance (at ground level during installation)

5.1.5 The construction tolerance for concrete slab:

- For concrete poured in dry conditions:
  - ±-20mm - level tolerance
- For underwater placed concrete:
  - +/- 75mm (top level)
  - +/- 100mm (bottom level)
  - *Note: EPC Contractor should consider the relative tolerance between underwater placed concrete and any interfacing above water placed concrete within detailed design; for example, by allowing for a suitable blinding layer at the interface.*

5.1.6 Precast shaft segments:

- 1:300 construction verticality tolerance
- 50mm - deviation in plan tolerance

5.1.7 Tolerances for any structures not included above shall be submitted by the EPC Contractor for agreement by Company during EPC detailed design and prior to construction.

5.2 Tunnel Spaceproofing

Based on the hybrid excavation method described in the FEED Report (NL-ARM-040-ARU1-110306), two lining types have been defined along the tunnel alignment: jacking pipes and pre-cast concrete segmental lining rings.

5.2.1 Jacking pipes

The jacking pipe consists of a pre-cast concrete pipe with an internal diameter of 3.0m and external diameters assumed for the calculations of minimum 3.6m (jacking pipe thickness of minimum 300mm). The thickness of the jacking pipe may be adjusted during detailed design to suit the cut diameter of the TBM once it has been determined.

The geometry and material properties has been described in drawings NL-ARM-040-ARU1-110324 and NL-ARM-040-ARU1-110325 with spaceproofing scenarios demonstrated in NL-ARM-040-ARU1-110320.

5.2.2 Segmental lining

The segmental lining consists of pre-cast concrete segments with an internal diameter of 3.0m and external diameter assumed for the calculations of 3.5m (segment thickness of 250mm). A 6+0 ring configuration with rectangular segments has been proposed, with each segment subtending 60 degrees of arc. The geometry and material properties has been described in NL-ARM-040-ARU1-110324, NL-ARM-040-ARU1-110326 and NL-ARM-040-ARU1-110327 with spaceproofing scenarios demonstrated in NL-ARM-040-ARU1-110320.

5.3 Tunnel

5.3.1 The tunnel lining has adopted pipejack sections and a 6+0 rectangular segmental lining ring configuration due to the relatively straight alignment. Alignment line and level tolerances as measured to the as-built tunnel centreline shall be as follows:

- ±50mm maximum deviation from the theoretical centreline (absolute)
- ±5mm maximum deviation from the theoretical centreline over any 10m length of tunnel (relative gradient)

5.3.2 Pipejack section tolerances should not exceed 0.5° of displacement at the joint face.

5.3.3 The jacking pipe shall have a smooth plain external surface finish to minimise friction with soil, in accordance with NEN EN 13670.

5.3.4 The EPC Contractor shall ensure that the supplier manufacturing process of reinforced concrete jacking pipes (RCJP) and Segments follows stringent design and quality requirements and that they are robustly designed and fabricated to a high degree of quality and workmanship in

accordance with but not limited to the applicable regulations, codes & standards presented in NL-ARM-010-PTC1-100730_01.

5.3.5 The EPC contractor shall provide details for approval including as a minimum:

- Concrete jacking pipe details for all types used (Interjack Station, Standard, heavy)
- Joint type and detail (butt end with steel collar and thrust transfer ring)
- Lifting anchors
- Lubrication nozzles
- Steel collar details and material
- Steel collar anchors

5.3.6 Assembly tolerances between the intrados of adjacent segments after assembly for the segmental lining shall be as follows:

- ±5mm lipping tolerance on the radial joint.
- ±10mm stepping tolerance on the circumferential joint (Ring to Ring).

5.3.7 Primary tailvoid grouting through the TBM shall be used as the initial void filler of the annulus between the tunnel lining extrados and the excavated ground.

5.3.8 A minimum allowable overcut shall be determined by the EPC contractor accounting for geology and tunnel curvature that reduces the risk of settlements of the segmental lining, pipe jack lining, and any third-party assets.

5.4 Formwork

5.4.1 The contractor shall ensure the integrity of all moulds used, and that they are suitable to meet the required manufacturing tolerances.

5.5 Temporary Structures

5.5.1 All temporary steel fixture shall be removed from the tunnel and any damages and/or holes shall be repaired and patched with approved material up on completion of tunnelling activities.

6 WATERPROOFING MEASURES

6.1 Waterproofing Criteria

6.1.1 Aramis shaft and tunnel shall adhere to the dampness characteristic criteria of a class 4 tunnel [7] and class 4 in line with CUR 231.

6.1.2 The maximum water pressure expected at the tunnel lining is approximately 4.4bar.

6.2 Shaft waterproofing measures

6.2.1 Grout Tubes

To mitigate against the risk of water ingress into the shaft as a result of shrinkage, grout injection tubes are to be cast in the diaphragm wall panels at the level of the first base slab pour after dewatering.

6.2.2 Hydrophilic seals

As an additional contingency measure against water ingress into the shaft, water bars and hydrophilic seal strips are proposed to be installed at the voids formed at the D-wall panels at the level of the second base slab pour.

6.3 Tunnel gasket properties

6.3.1 Pipejack Tunnel Section Waterproofing

To ensure adequate waterproofing between pipejack sections, sealing gaskets and their fit shall comply with EN 681-, DWA-A-139, and EN 1610. Testing shall be carried out as specified in AS/NZS 4058 to ensure that the seals can handle the required working pressures, by testing to 120% of allowable working pressure, in the long term with a 0.5° joint angular deflection as stated in the FEED report [8].

Installation of gaskets must adhere to manufacturer and supplier installation requirments.

6.3.2 Segmental Lining Section Waterproofing

To ensure adequate waterproofing at radial and circumferential joints an elastomeric gasket between joints capable of resisting 200% of the maximum anticipated working or design pressure (4.4bar) in the long term with the maximum construction tolerance – maximum specified gasket differential gap of 5mm and bearing offset of 10mm as stated in the FEED report [8].

Installation of gaskets must adhere to manufacturer and supplier installation requirments

7 GROUNDWATER CONTROL AND GROUND TREATMENTS

7.1 Groundwater monitoring and control

7.1.1 Lowering of the water within the shaft and piezometric pressure heads shall be controlled within the limits set out in the design documents, unless otherwise agreed by the Company. The impact of dewatering shall not extend beyond the footprint of the shaft and measurements outside of the shaft shall be monitored to confirm this.

7.1.2 Locations and levels for standpipe / piezometer monitoring shall be proposed by EPC Contractor during detailed design. The EPC Contractor shall justify whatever limits are put forward in a Construction Risk Assessment, to obtain acceptance from the authorities and third parties affected by the underground works as the owners of various facilities.

7.1.3 The EPC Contractor's working methods and systems shall be designed to control groundwater to permit the construction of the tunnel and shafts.

7.1.4 The EPC Contractor shall obtain the necessary acceptance from the appropriate authorities to abstract and dispose of groundwater.

7.1.5 The EPC Contractor shall submit mitigation measures against the event of groundwater drawdown.

7.2 Limitations

7.2.1 Water management during tunnel construction shall be the responsibility of the EPC Contractor. The lowest point of the tunnel invert exists at Ch0+645m. A sump pump may be provided at this location as part of the water management plan during tunnel construction.

7.2.2 The EPC Contractor shall be responsible for keeping the shaft free from water once the first layer of the base slab has been constructed, free from water from whatever cause arising and shall provide such pumping capacity as may be necessary for this purpose.

8 GROUND MOVEMENTS AND IMPACT ASSESSMENT

8.1 Maximum ground movements at existing asset crossing

8.1.1 The EPC Contractor shall ensure the design and operation of the TBM minimises ground movement such that volumetric ground loss (VL%) does not exceed 2% unless a lower volume is:

- Specified in the Company's Scope
- Identified by the EPC Contractor's detailed design assessments to protect third party infrastructure.
- Required by the Company or 3rd Party (e.g. Port Authority) to limit damage and risk to specific assets to acceptable levels (e.g. flood defences crossing locations).

8.1.2 Two third party assets exist along the alignment of the Aramis tunnel. A sea wall defense (ch.0+100.0 to ch.0+300.0) and Tennet Cables (ch.1+200.0 to ch.1+500.0). In the absence of specific third party requirements relating to allowable settlements for these assets, trigger levels relating to 2% volumetric ground loss are outlined in the settlement impact analysis reports [7] [8]. EPC Contractor shall validate these trigger levels during detailed design, and shall ensure that construction is carried out in accordance with the validated trigger levels.

8.1.3 Proposed trigger levels for the Aramis tunnel itself, based on 1% allowable ovalisation of the tunnel, are outlined in the FEED report [8].

8.2 Third Party Requirements

8.2.1 The EPC Contractor shall work within the constraints of any restrictions arising from third party requirements, permits, or other limitations imposed as a result of crossing agreements or other forms of agreement as may be defined elsewhere by Company.

8.3 Instrumentation and monitoring plan

8.3.1 Permanent instrumentation for operational stage is not deemed necessary as the Aramis tunnel has been designed to be non-maintained, back-grouted, and non-accessible.

8.3.2 Suggested monitoring frequencies outlined are stated in the FEED report [8] should be followed. Alternative schedules should be subject to approval by the Company.

8.3.3 The ovalisation measurements obtained from the prism arrays shall be used as primary means for monitoring the tunnel lining deformations. In addition, visual monitoring of the dimensions and elevations of the tunnel lining should be undertaken. If movement or distress of the lining is observed, or ovalisation measurements indicate excessive movements beyond the trigger levels set, take corrective measures in accordance with submitted procedures should be undertaken.

8.3.4 Cease excavation and replace segments if damage to the PCTL exceeding the rejection criteria occurs.

9 DURABILITY

9.1 Design life

9.1.1 The proposed design life of the tunnel is 30 years. After construction a single 32'' (812.8mm) steel pipe is to be installed, and the tunnel is to be backfilled with grout. All incorporated materials in the pipejack and segmental tunnel lining sections shall therefore have a minimum design life of 30 years.

9.2 Durability requirements

9.2.1 All concrete elements shall follow the deemed-to-satisfy provisions of NEN EN 206 and the National Annex NEN 8005. If alternative cement types or combinations are proposed these shall be evaluated in accordance with CROW-CUR Aanbeveling 48:2022

9.2.2 Exposure class XA2 and XS2 have been considered the most relevant exposure classes for the shaft and tunnel respectively - therefore a minimum of 45mm cover to reinforcement is proposed ($c_{min,dur}$) with a nominal cover (c_{nom}) of 50mm and sacrificial layer of 10mm.

9.2.3 For concrete cast against soil (e.g. Diaphragm Walls), a minimum 50mm additional cover shall be provided in addition to the minimum cover required for durability, to satisfy the provisions of NEN EN 1992; with a minimum nominal cover of 100mm in accordance with CUR 231.

9.2.4 Regardless of the exposure conditions all concrete shall adopt the prevention measures to avoid alkali-silica reaction and therefore meet CUR 89 as stated in the FEED report [8].

10 MATERIALS PROPERTIES

10.1 Tunnel and Shaft materials

10.1.1 The concrete mix design shall comply with materials and durability requirements of the relevant codes and project standards (NEN EN-1992, NEN-EN 206, and NEN – EN 196).

10.1.2 For both tunnel lining types, pipejack and segmental, concrete is to be a minimum grade of C50/60.

10.1.3 For shaft structures the concrete is to be a minimum grade of C40/50.

10.1.4 Steel reinforcement shall be a minimum grade of 500B

10.1.5 Steel fibres dosage should be a minimum of 30kg/m^3, f_{LK} = 5.5 N/mm^2, $f_{R,1}$ =4 N/mm^2, $f_{R,4}$ = 3.5 N/mm^2

10.1.6 Steel fibre dosage shall meet the minimum requirements defined in NEN EN 14889-1, Group 1 Table ZA.2 – system of attestation of conformity. Only steel fibres controlled and certified in accordance with “System 1” and bearing the corresponding EC certificate of conformity shall be used.

10.1.7 The pipejack and segmental tunnel lining shall consist of precast concrete fabricated in a controlled manufacturing environment.

10.1.8 Jacking pipe steel collar shall be grade S355.

10.2 Backfill Grouts

10.2.1 Primary grout for machine-driven tunnels shall be injected through the tailskin of the machine as it advances.

- The EPC Contractor shall propose details of the primary grout, including the required setting times and strength gain in order to support the weight of the TBM back-up and prevent ring distortion.
- Pre-construction grout trials shall be undertaken to demonstrate that the required setting times and strength gains will be achieved. Details of the trials and their results shall be provided to the Company.
- Adequate records shall be maintained, and the batching equipment calibrated, to demonstrate that the grout has been batched in accordance with the mix proportions determined from the trials.

10.3 Environmental constraints and Restriction of materials

10.3.1 The EPC contactor must obtain all necessary environmental permits before carrying out works, adhering with the Dutch Environment and Planning Act.

10.3.2 The EPC contractor shall demonstrate how the bentonite, overcut grouts, cutterhead support materials, and any other additives used comply with the applicable local environmental regulations.

10.3.3 The EPC contractor shall conduct tests on the density, gradation of the slurry and bleed under pressure. The effects of ground and groundwater chemistry shall also be taken into account.

10.3.4 Greases shall be that of a biodegradable composition.

10.4 Alternative Materials

10.4.1 The EPC Contractor may propose alternative materials or equipment to those specified on the Drawings or within this Specification provided either:

- They are of at least equal quality and performance or
- They are of like quality and performance and comply with approved alternative standards.

If alternative materials or equipment are proposed, the EPC Contractor shall submit comprehensive details including technical descriptions, drawings, and specifications to demonstrate that the alternative complies with either requirement of this clause.

The adoption of alternative materials or equipment shall be subject to the agreement of the Company.

11 SURVEY REQUIREMENTS

11.1 General requirements

11.1.1 Survey equipment and survey instrumentation shall be able to achieve tolerances specified section 5.

11.1.2 All dimensional data and results presented shall be expressed in SI (metric) units. Other units may be used where there are universally accepted and un-ambiguous standards, such as for standard flow rates, temperature (°C), pressure (bar).

11.1.3 All coordinates for the project shall be stated using ETRS 89/UTM zone 31N projection in line with NEN 3656. In addition, nearshore and onshore coordinates shall be stated using CRS Amersfoort / RD New [EPSG:28992].

11.1.4 All levels shall be stated with reference to Lower Astronomical Tide (LAT). In addition, near shore and onshore levels shall be stated with reference to Normaal Amsterdams Peil (NAP). Reference to both sets of levels shall be provided for near shore and onshore data.

11.2 Survey of existing structures

11.2.1 A sea wall defence (ch.0+100.0 to ch.0+300.0) third party asset exists along the Aramis Tunnel alignment. Existing as built data provided will require verification via pre-construction surveys [9] [10]. Any deviations found regarding location and/or depth could impact existing ground movement assessments.

11.3 Shaft Surveys

11.3.1 After completing shaft construction as-built surveys shall be carried out to ensure compliance with necessary tolerances. Any deviation shall be raised with the Company.

11.4 Tunnel Surveys: As-built PCTL and Final Alignment

11.4.1 After completing the tunnel drive, perform final as-built survey of the tunnel utilizing a closed traverse to establish accurate line, elevation, and stationing. This survey shall be submitted with as-built data compared with theoretical setting out data.

11.4.2 The As-Built surveys shall locate the PCTL ring and pipe jack lining through the tunnel and the segments where the pipe support brackets are located. Where the survey shows that a section of tunnel is outside specified tolerances, survey shall be carried out at every ring/pipe throughout that section. This survey includes:

(1) Horizontal offsets from theoretical centerline to each inside face of tunnel.

(2) Vertical offsets to crown and invert measured from theoretical centerline.

(3) Four radial offsets through theoretical centerline measured at angles of 45 degrees from vertical.

(4) Measure horizontal stationing of points where measurements are taken, at the tunnel low point and at all other features as required by the Company.

(5) Perform survey so that results may be entered directly into a computer program to check tunnel alignment.

(6) Point photographic and video record.

11.4.3 For all measurements taken, calculate differences between actual and theoretical positions. Submit all information together with copies of a graphical representation of differences from theoretical.

11.5 Field Quality Control

At a minimum, include the following items in the Inspection and Test Plan and Factory Acceptance Testing:

Surveillance:

(1) TBM assembly, retesting and recalibration.

(2) TBM operation.

(3) Segment erection.

(4) STP operation.

(5) Reinforcement /Cage installation

(6) In-situ concrete pouring

Review:

(1) TBM and STP training records

(2) TBM design, tunnel ring design, shaft design

(3) Material approval forms (evidencing compliance of materials with design requirements)

(4) Jacking pipe and tunnel segment preinstallation acceptance checklists.

Verification:

(1) TBM retesting and recalibration.

(2) Survey control.

(3) Data entry to Tunnelling Monitoring and Documentation system.

(4) Data entry to Segment Tracking Database.

(5) Ring Convergence Measurements.

(6) As-Built Surveys.

(7) Pile Load testing

Witness Point:

(1) TBM retesting and recalibration.

(2) Tests on slurry.

(3) Damage and cleanliness check for segments and cleanliness of ring build area prior to erection.

(4) Installation of Key Restraint System

(5) In-situ concrete testing

Hold Point:

(1) Piling mat and guide wall completion

(2) Reinforcement cage installation (before concrete pour)

(3) Pile completion (prior to excavation)

(4) TBM Factory Acceptance Test

(5) TBM launch and startup.

(6) Production start for tunnel rings and tunnel segments (test rings etc.)

(7) TBM Site Acceptance test

(8) Jacking pipe preinstallation acceptance checklist.

(9) Tunnel segment preinstallation acceptance checklist.

(10) Restart at TBM at switchover location

(11) Tunnel acceptance before any maritime works (i.e. dredging) for the TBM retrieval procedure (also HOLD point for acceptance by pipe-pull contractor).

(12) Tunnel cleanup

12 REFERENCES

[1] Arup, “NL-ARM-040-ARU1-110317 TBM Specification,” 2024.

[2] Arup, NL-ARM-040-ARU1-110307 - Geotechnical Baseline Report.

[3] Onshore Meteorological Design Basis (MSY23-160) – NL-ARM-100-ARM1-100003 Rev 1.

[4] Offshore Metocean Design Basis – NL-ARM-100-ARM1-100004 Rev 1.

[5] T. B. T. S. a. a. T. I. o. C. Engineers, Specification for tunnelling, 2010.

[6] Arup, “NL-ARM-040-ARU1-110306 Tunnel FEED Design Report,” 2024.

[7] Arup, NL-ARM-040-ARU1-110381 - Settlement Impact Analysis and Monitoring Plan - Sea Defence.

[8] Arup, NL-ARM-040-ARU1-110382 - Settlement Impact Analysis and Monitoring Plan - TenneT.

[9] P. Petrofac, “TenneT HKZ CABLES NL-ARM-050-PTC1-113963,” 2024.

[10] “N.V havenbedrijf Rotterdam GZ079_419 Cross Section A-A,” 2015.

[11] Arup, “NL-ARM-040-ARU1-110303 - Ground Investigation Report,” 2024.

[12] Arup, “NL-ARM-040-ARU1-110305 - Geotechnical Design Report,” 2024.

Additie 1

20/12/2024

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Mark Zey

From: [redacted]
Sent: Friday, 20 December 2024 15:04
To: [redacted]
Subject: RE: ARAMIS - Verklaring van geen bezwaar tot het indienen van een bouwvergunningaanvraag

Geachte heer [redacted]

Op uw verzoek hierbij onze verklaring van geen bezwaar:
HbR heeft geen bezwaar dat Gasunie NV namens ARAMIS Joint Team vandaag d.d. 20 december jl een bouwvergunning aanvraagt voor de aanleg c.q. bouw van een microtunnel op de percelen AM 328 (gedeeltelijk), AM 50 (gedeeltelijk) en AM 780 (gedeeltelijk), voorwaardelijk dat een huur- danwel erfpachtovereenkomst tussen Gasunie en het HbR later in 2025 ondertekend zal worden.

Aangevuld met: *Het is Aramis Joint Team bekend dat voor ondertekening van de genoemde huur- danwel erfpachtovereenkomst HbR geen medewerking geeft aan het uitvoeren van de realisatiewerkzaamheden. De start van deze werkzaamheden zijn in de loop van 2026 voorzien.*

Met vriendelijke groet,

[redacted]

World Port Center
Wilhelminakade 909
Postbus 6622
3002 AP Rotterdam

www.portofrotterdam.com

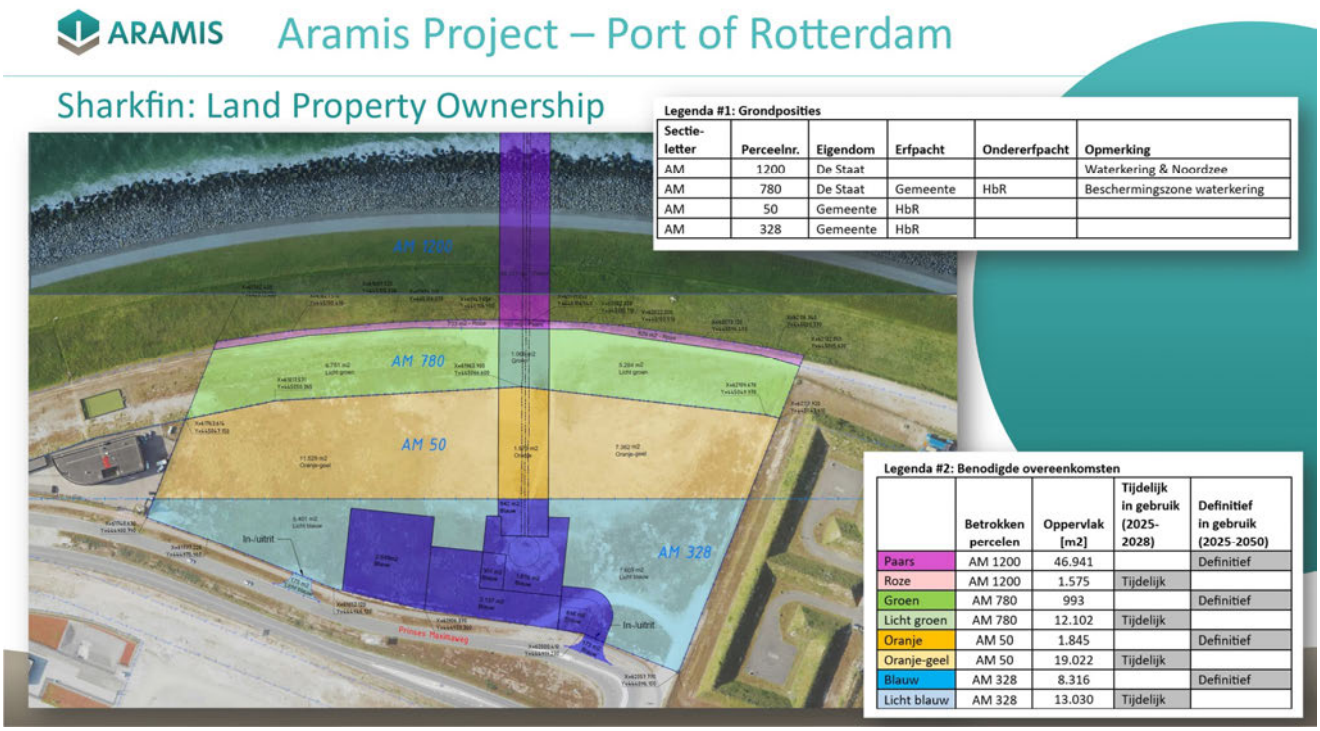
Port of Rotterdam

[redacted]
Onderwerp: ARAMIS - Verklaring van geen bezwaar tot het indienen van een bouwvergunningaanvraag

Let op: Deze mail komt van buiten de organisatie. Klik niet op links en open geen bijlagen van afzenders die je niet kent. Neem bij twijfel contact op met ictservicedesk@portofrotterdam.com

Geachte heer [redacted]

Naar aanleiding van ons overleg hedenochtend, stuur ik u de besproken plattegrond met de contouren van het beoogde werkterrein “Haaienvin” op de Maasvlakte. De betrokken percelen zijn in eigendom van De Staat (AM 780) of Gemeente (AM 328 en AM 50) en alle drie in erfpacht gegeven aan Havenbedrijf Rotterdam (HbR).



Legenda #1: Grondposities

Sectie-letter	Perceelnr.	Eigendom	Erfpacht	Ondererfpacht	Opmerking
AM	1200	De Staat			Waterkering & Noordzee
AM	780	De Staat	Gemeente	HbR	Beschermingszone waterkering
AM	50	Gemeente	HbR		
AM	328	Gemeente	HbR		

Legenda #2: Benodigde overeenkomsten

	Betrokken percelen	Oppervlak [m2]	Tijdelijk in gebruik (2025-2028)	Definitief in gebruik (2025-2050)
Paars	AM 1200	46.941		Definitief
Roze	AM 1200	1.575	Tijdelijk	
Groen	AM 780	993		Definitief
Licht groen	AM 780	12.102	Tijdelijk	
Oranje	AM 50	1.845		Definitief
Oranje-geel	AM 50	19.022	Tijdelijk	
Blauw	AM 328	8.316		Definitief
Licht blauw	AM 328	13.030	Tijdelijk	

Gasunie vraagt vandaag 20 dec. 2024 namens ARAMIS (in het DSO) een bouwvergunning aan voor de bouw c.q. aanleg van een microtunnel in de periode eind 2025 tot 2029. Zou U namens HbR het volgende kunnen verklaren?

HbR heeft geen bezwaar dat Gasunie NV namens ARAMIS Joint Team vandaag d.d. 20 december jl een bouwvergunning aanvraagt voor de aanleg c.q. bouw van een microtunnel op de percelen AM 328 (gedeeltelijk), AM 50 (gedeeltelijk) en AM 780 (gedeeltelijk), voorwaardelijk dat een huur- danwel erfpachtovereenkomst tussen Gasunie en het HbR later in 2025 ondertekend zal worden.

Volledigheidshalve informeren wij u, dat vandaag voor de aanleg c.q. bouw en het hebben van een microtunnel onder de waterkering (op perceel AM 780 en AM 1200) ook een beperkingengebiedsactiviteit-vergunning bij RWS is aangevraagd.

Bij voorbaat dank,

Kind regards,

[redacted]

Additie 2

6/02/2025

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Formulier informatieplicht emissiereductieplicht

Initiatiefnemers zijn verplicht om bij het verrichten van bouw- en sloopwerkzaamheden 'adequate maatregelen' te nemen om stikstofemissies te beperken.

Meer informatie staat in de Handreiking emissiereductieplicht aan het bevoegd gezag.

Formulier invullen

Vul hieronder de gegevens in van bij uw bouw- of sloopproject in te zetten materieel. Wordt geen materieel toegepast kies dan bij vraag 1 voor "NVT" en laat de overige vragen open.

1. Voldoet het in te zetten materieel aan de emissie-eisen uit het minimumniveau zoals opgenomen in de Routekaart SEB, te vinden via www.opwegnaarseb.nl ? **[Ja/nee/NVT]**
2. [Als bij vraag 1 Ja wordt geantwoord] Geef een inschatting van de verwachte inzet van welk materieel wordt ingezet.

Tabel mobiele werktuigen voor aanleg segmented tunnel

Activiteit	Werktuig	Elektrificatie (50%)	Vermogen [kW]	Emissienorm	Periode waarin materieel wordt ingezet	Voldoet aan eisen minimumniveau
Terrein voorbereiding	Graafmachine	Nee	361	Stage-IV	Aanlegfase Aramis 2026-2027	Ja
	Bulldozer	Nee	449	Stage-IV		Ja
Bouwplaats inrichten	Graafmachine	Nee	361	Stage-IV		Ja
	Bulldozer	Nee	449	Stage-IV		Ja
	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
Constructie verticale schacht	Graafmachine	Nee	361	Stage-IV		Ja
	Kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Betonmixer	Ja	268	Stage-IV		Ja
	Betonpomp	Ja	183	Stage-IV		Ja
	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Pomp (dewatering)	Ja	110	Stage-IV		Ja
	Bulldozer	Nee	449	Stage-IV		Ja
ST constructie	Kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Pomp (bentonite)	Ja	55	Stage-IIIb		Ja
	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Pomp (dewatering)	Ja	110	Stage-IV		Ja
	TBM	Ja (100%)	2.100	Elektrisch		Ja
Intrekken leiding	Kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Crawling tool	Nee	3	Stage-I		Ja
	Winch	Nee	500	STAGE IV		Ja

Activiteit	Werktuig	Elektrificatie (50%)	Vermogen [kW]	Emissienorm	Periode waarin materieel wordt ingezet	Voldoet aan eisen minimumniveau
	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
Pre-commissioning	Kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
Installatie gooseneck	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja
	Welding spread	Nee	12	Stage-I		Ja
	Betonmixer	Ja	268	Stage-IV		Ja
	Betonpomp	Ja	183	Stage-IV		Ja
Terrein herstel	Graafmachine	Nee	361	Stage-IV		Ja
	Bulldozer	Nee	449	Stage-IV		Ja
	Mobiele kraan	Nee	400	Stage-IV		Ja

3. [Als bij vraag 1 Ja wordt geantwoord] Worden naast het minimumniveau nog andere maatregelen genomen om de stikstofemissies op de bouwplaats te verminderen? [Ja/nee] Zo ja, geef een beschrijving van deze maatregelen.
   Voor de realisatiefase heeft Aramis aangegeven om 50% van het materieel, dat anno Q3 2023 in technische zin elektrisch uitvoerbaar is, en 100% van de tunnel boormachine te elektrificeren. In de bovenstaande tabel is dit aangegeven met elektrificatie (50%) = Ja.

4. [Als bij vraag 1 Nee wordt geantwoord] Worden overige maatregelen genomen om eenzelfde hoeveelheid stikstofemissies te verminderen en om alsnog te voldoen aan de emissiereductieplicht? [Ja/nee] Zo ja. Geef een beschrijving van deze overige maatregelen en onderbouw cijfermatig op welke manier deze minimaal leidt tot eenzelfde reductie van stikstofemissies: […]
   NVT

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Industry & Buildings

Aan:	[redacted]
Van:	[redacted]
Datum:	05 februari 2025
Kopie:	[redacted]
Ons kenmerk:	NL-ARM-040-ARM1-000001 N02
Classificatie:	Projectgerelateerd
Gecontroleerd door	-
Bijlagen:	Formulier-informatie-aanleveren-maatregelen-emissiereductieplicht_3feb Risicomatrix bouwveiligheid d.d. 24-01-2025

Onderwerp: **2024122002096/ OMV.24.12.00330 - nabij Prinses Máximaweg 960**

Op 03-01-2025 hebben wij per email een tweetal vragen ontvangen van de gemeente Rotterdam t.b.v. het Aramis initiatief, aanvraag technische bouwactiviteit schacht en tunnel, uw kenmerk vermeld hierboven.

Door middel van deze notitie beantwoorden wij de gestelde vragen:

1) Vraag van gemeente Rotterdam:
   Een notitie (geen AERIUS-berekening) waarin aangetoond wordt welke adequate maatregelen genomen worden om de fijnstofuitstoot te beperken (artikel 7.19a Bbl). Memo met de eisen voor mobiele werktuigen en voertuigen zoals beschreven in de Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). Meer informatie en de folder die gebruikt kan worden kunt u vinden op: https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/emissiereductieplicht-bouwen-slopen/aanleveren-informatie-emissiereductieplicht/;

   Antwoord van Aramis:
   Formulier informatieplicht emissiereductieplicht ingevuld. Samengevat:
   1. Het materieel voldoet aan de emissie-eisen uit het minimum niveau zoals opgenomen in de routekaart SEB.
   2. Tabel mobiele werktuigen voor aanleg segmented tunnel ingevuld;
   3. Voor de realisatiefase heeft Aramis aangegeven om 50% van het materieel, dat anno Q3 2023 in technische zin elektrisch uitvoerbaar is, en 100% van de tunnel boormachine te elektrificeren. In de bovenstaande tabel is dit aangegeven met elektrificatie (50%);
   4. Niet van toepassing.

2) Vraag van gemeente Rotterdam:
   De risicomatrix bouwveiligheid, bedoeld in artikel 7.5a van het Besluit bouwwerken leefomgeving;

   Antwoord van Aramis:
   De risicomatrix is ingevuld en als bijlage aan deze notitie toegevoegd.
   De uitslag van de risicoinschatting is 6.
   Bij een puntenaantal 6 t/m 11 is geen bouw- of sloopveiligheidsplan nodig (indien nodig kan de gemeente op een later moment via een maatwerkvoorschrift besluiten dat alsnog een bouw- en sloopveiligheidsplan moet worden opgesteld en aangeleverd).

Algemene informatie

Omschrijving project	Aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel
Kenmerk	20241220 02096 000
Locatie project	Pr. Maximaweg
Verantwoordelijke	[redacted]
Veiligheidscoördinator	
Opgesteld door	[redacted]
Datum invullen matrix	24 januari 2025
Datum overleg met bevoegd gezag	

Risicomatrix (voorvragen)

NR.	ONDERDEEL	JA/NEE
1	**Veiligheid omgeving en omringende bebouwing**	
	Is het gebied dat wordt gebruikt om veilig te kunnen bouwen of slopen (de bouwveiligheidszone) groter dan het eigen bouwterrein, wordt er hoger gebouwd of gesloopt dan direct aanpalende bouwwerken of wordt er gebouwd of gesloopt waardoor bouwwerken of bedrijven zoals chemie, datacentrum, spoor, tram of scholen risico lopen om te worden beïnvloed door de werkzaamheden? *NB: De bouwveiligheidszone is het gedeelte van de aan het bouw- of sloopwerk grenzende gebied (zowel boven als onder de grond) waarin geen publiek aanwezig mag zijn, bepaald volgens paragraaf 6.2 van de Landelijke richtlijn bouw- en sloopveiligheid (zie artikel 7.15, tweede lid, van het Bbl)*	Ja
2	**Veiligheid verbouw in gebruik blijvend pand**	
	Heeft de bouw, verbouw of sloop inclusief tijdelijke hulpconstructies en bouwplaatsinrichting invloed op de brandveiligheid, de vluchtroutes en de opstelplaatsen voor hulpdiensten in en om het in gebruik blijvende pand?	Nee
3	**Veiligheid buiten de bouwveiligheidszone**	
	Heeft de bouw- of sloopsystematiek, het opstellen van hulpmiddelen in de bouwveiligheidszone of het gebruik van hijsmiddelen aan de rand van het bouwterrein invloed op de veiligheid buiten de bouwveiligheidszone?	Nee
4	**Invloed op bereikbaarheid omgeving tijdens de realisatiefase**	
	Heeft het project invloed op loopstromen, doorstroming van het openbaar vervoer, hoofdverkeersroutes of parkeervoorzieningen, is er sprake van complexe aan- of afvoer van bouwmaterialen of is er gelijktijdigheid met andere projecten of evenementen waardoor de bereikbaarheid in het geding is?	Nee
5	**Schade aan belendingen of natuur**	
	Bestaat er kans op schade aan belendingen of natuur in de nabijheid van het project door bijvoorbeeld trillingen, het onttrekken van grondwater of zettingen?	Nee

Het bouw- en sloopveiligheidsplan moet de maatregelen om de risico's weg te nemen of te verlagen gemotiveerd beschrijven. Vul de risicomatrix daarom in op basis van de risico's voor de omgeving door de bouw- of sloopactiviteit zonder rekening te houden met geplande maatregelen om deze risico's te beperken. Door het invullen van de matrix zonder deze maatregelen kunnen de eventueel aanwezige risico's beter worden beoordeeld.

Als een of meer vragen met ja worden beantwoord, wordt de uitgebreide risicomatrix ingevuld.

Algemene informatie

Omschrijving project	Aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel
Kenmerk	20241220 02096 000
Locatie project	Pr. Maximaweg
Verantwoordelijke	[redacted]
Veiligheidscoördinator	
Opgesteld door	[redacted]
Datum invullen matrix	24 januari 2025
Datum overleg met bevoegd gezag	

Risicomatrix (uitgebreid)

ONDERWERP	BEOORDELINGSASPECTEN	PUNTEN
1 Omgevingsfactoren	**Veiligheid bouwterrein, directe omgeving en omringende bebouwing**	
1.1	Bouwveiligheidszone groter dan bouw- of sloopterrein (voetpad(en), fietspad(en), straat binnen invloedssfeer).	1
1.2	Te bouwen of slopen bouwwerk hoger dan aanpalende panden.	1
1.3	Het verrichten van werkzaamheden in de nabijheid van activiteiten of locaties die naar redelijke inschatting een risico kunnen opleveren voor de veiligheid van deze locaties, bijvoorbeeld bij chemische industrie, datacentrum, spoorwegen, tramhaltes, nutsvoorzieningen en ambassades.	1
1.4	Bouwen of slopen boven in gebruik zijnde bouwdelen (bijvoorbeeld parkeergarage, winkelcentrum, openbaar-vervoervoorziening, spoorbaan of bovenleiding).	1
	Gemiddeld risico omgevingsfactoren	**1,00**

2 Gebruiksfactoren	**Veiligheid verbouw in gebruik blijvend pand gedurende het gehele bouw of sloopproces**	
2.1	Brandveilig gebruik waarborgen.	1
2.2	Vluchtroutes waarborgen.	1
2.3	Opstelplaatsen hulpdiensten in relatie tot het bouw- of sloopterrein.	1
2.4	Constructieve verantwoording (stabiliteit object, hulpconstructies die van invloed zijn op derden).	1
	Gemiddeld risico gebruiksfactoren	**1,00**

3 Relatie Arbo-veiligheid/ veiligheid directe omgeving	**Veiligheid op en rondom de bouw- of sloopplaats**	
3.1	Ruwbouw of sloop (systematiek).	1
3.2	Hulpmiddelen in de bouwveiligheidszone. Zijn er in de bouwveiligheidszone andere hoge objecten waardoor er mogelijk een wegkaatsrisico ontstaat (bijvoorbeeld een bouwlift, (hef-)steiger of containers naast een bouwhek); zie paragraaf 6.2.8 van de Landelijke richtlijn bouw- en sloopveiligheid.	1
3.3	Gebruik hijsmiddelen in randzones die mogelijk van invloed zijn buiten de bouwveiligheidszone.	1
3.4	Kan de hijslast binnen zijn draaibereik boven openbaar gebied komen?	1
	Gemiddeld risico relatie Arbo-veiligheid/veiligheid directe omgeving	**1,00**

Algemene informatie

Omschrijving project	Aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel
Kenmerk	20241220 02096 000
Locatie project	Pr. Maximaweg
Verantwoordelijke	[redacted]
Veiligheidscoördinator	
Opgesteld door	[redacted]
Datum invullen matrix	24 januari 2025
Datum overleg met bevoegd gezag	

4 Bereikbaarheid, verkeersveiligheid	**Invloed op bereikbaarheid**	
4.1	Loopstromen (economisch en stedelijk belangrijke of cruciale verbindingen).	1
4.2	Doorstroming openbaar vervoer, aanpassing dienstregeling.	1
4.3	Permanente toegankelijkheid van bouwplaats en omgevingsobjecten voor hulpdiensten.	1
4.4	Hoofdroutes, ster- en fietshoofdroutes, parkeerroutes en routes van openbaar vervoer.	1
4.5	Economisch belangrijke voorzieningen.	1
4.6	Aan- en afvoer bouwverkeer, opstelplaatsen en afroepplaatsen.	1
	Gemiddeld risico bereikbaarheid, verkeersveiligheid	**1,00**

5 Schade en bescherming waarden	**Kans op schade aan belendingen of natuur aannemelijk?**	
5.1	Bouwkundige en constructieve stabiliteit van het eigen pand en de panden in de invloedssfeer in de omgeving.	1
5.2	Monumentale waarde, beschermd stadsgezicht, beschermde flora en fauna, bomen.	1
5.3	Inschatting van trillingen.	1
5.4	Bemaling grondwateronttrekking.	1
5.5	Zettingen (opstallen en voor kabels en leidingen ondergrond en bovengronds risico op elektrocutie, explosie of brand).	1
	Gemiddeld risico schade en bescherming waarden	**1,00**

6 Hinder/samenloop	**Kans op hinder/ samenhang andere projecten**	
6.1	Geluid (maximale blootstellingsduur en dagwaarden).	1
6.2	Trillingshinder.	1
6.3	Stofhinder.	1
6.4	Werktijden.	1
6.5	Samenhang met andere projecten of evenementen.	1
	Gemiddeld risico hinder/samenloop	**1,00**

Uitslag risicoinschatting totaal 1 t/m 6	**6,00**

Puntenaantal = 6 t/m 11	-> geen bouw- of sloopveiligheidsplan nodig (indien nodig kan de gemeente op een later moment via een maatwerkvoorschrift besluiten dat alsnog een bouw- en sloopveiligheidsplan moet worden opgesteld en aangeleverd).
Puntenaantal = 12 of meer	-> veiligheidsplan opstellen, gegevens veiligheidscoördinator aanleveren bij het indienen van de vergunningaanvraag of doen van een melding.

Algemene informatie

Omschrijving project	Aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel
Kenmerk	20241220 02096 000
Locatie project	Pr. Maximaweg
Verantwoordelijke	[redacted]
Veiligheidscoördinator	
Opgesteld door	[redacted]
Datum invullen matrix	24 januari 2025
Datum overleg met bevoegd gezag	

Het is aan te raden om het concept veiligheidsplan en de risicomatrix (tijdig) voorafgaand aan de indiening in een vooroverleg met het bevoegd gezag (gemeente) te bespreken, als uit de (uitgebreide) risicomatrix een score van 12 punten of meer komt en/of als voor één van de vragen/aspecten het risico op zeer hoog wordt ingeschat (4 punten).

BH8744 Aramis bouwactiviteit schacht en tunnel 1 publiceerbaar

Uw verzoek

Ingediend bij	**Ministerie van Economische Zaken en Klimaat**
Soort	Aanvraag vergunning
Activiteit(en)	Bouwactiviteit (technisch)
Doel	Conceptverzoek
Status	Ingediend
Verzoeknummer(s)	20241023 01601 000 (ingediend op 23-10-2024)

Project

Naam van dit project
BH8744 Aramis bouwactiviteit schacht en tunnel

Projectomschrijving
Het realiseren van een schacht en een tunnel om de CO2-transportleiding van het Aramis project onder de zeewering op de Maasvlakte naar de ontvangstput buiten de Maaasgeul te leiden

Locatie

Teken een gebied op de kaart



Algemeen

U kunt een bijlage toevoegen over het contact met anderen over uw plannen.

Geen documenten.

Voeg als bijlage toe: gegevens over de grens van de locatie.

Geen documenten.

Contact met anderen over uw plannen

Heeft u contact gehad met anderen over uw plannen?

Ja

Hoe heeft u anderen betrokken bij uw plannen?
geen openbare informatie

Welke reacties heeft u gekregen?
geen openbare informatie

Verzoek

Geef uw verzoek een naam
BH8744 Aramis bouwactiviteit schacht en tunnel 1

Toelichting op uw verzoek
geen openbare informatie

Uw referentienummer
geen openbare informatie

Hierbij verklaar ik alle vragen naar waarheid te hebben ingevuld.
Ja

Is er informatie die u later pas opstuurt? Geef hier dan aan welke informatie dat is. Geef ook aan waarom u die pas later opstuurt.
geen openbare informatie

Is er informatie die u niet opstuurt? Geef dan aan waarom. Bijvoorbeeld omdat u die al eerder heeft ingestuurd.
geen openbare informatie

Uw gegevens

E-mailadres en telefoonnummer gemachtigde

E-mailadres
geen openbare informatie

Telefoonnummer
geen openbare informatie

Gegevens gemachtigde vestiging of bedrijf

KVK-nummer
56515154
Vooraf ingevuld antwoord.

Handelsnaam
HaskoningDHV Nederland B.V.
Vooraf ingevuld antwoord.

RSIN
852164087
Vooraf ingevuld antwoord.

Adresgegevens gemachtigd bedrijf

Straatnaam
Laan 1914
Vooraf ingevuld antwoord.

Huisnummer
35
Vooraf ingevuld antwoord.

Huisletter
-

Huisnummertoevoeging
-

Postcode
3818EX
Vooraf ingevuld antwoord.

Plaats
Amersfoort
Vooraf ingevuld antwoord.

Is het postadres hetzelfde als het hoofdadres?
Nee
Vooraf ingevuld antwoord.

Postadres gemachtigd bedrijf

Wat voor adres wilt u opgeven als postadres?
afwijkend adres
Vooraf ingevuld antwoord.

Wat voor adres wilt u opgeven als afwijkend adres?
postbusnummer
Vooraf ingevuld antwoord.

Nummer
1132
Vooraf ingevuld antwoord.

Postcode
3800BC
Vooraf ingevuld antwoord.

Plaats
Amersfoort
Vooraf ingevuld antwoord.

E-mailadres en telefoonnummer initiatiefnemer

E-mailadres
geen openbare informatie

Telefoonnummer
geen openbare informatie

Gegevens vestiging of bedrijf initiatiefnemer

KVK-nummer
02029700
Vooraf ingevuld antwoord.

Handelsnaam
N.V. Nederlandse Gasunie
Vooraf ingevuld antwoord.

RSIN
001605768
Vooraf ingevuld antwoord.

Adresgegevens bedrijf initiatiefnemer

Straatnaam
Concourslaan
Vooraf ingevuld antwoord.

Huisnummer
17

Vooraf ingevuld antwoord.

Huisletter
-

Huisnummertoevoeging
-

Postcode
9727KC
Vooraf ingevuld antwoord.

Plaats
Groningen
Vooraf ingevuld antwoord.

Is het postadres hetzelfde als het hoofdadres?
Nee
Vooraf ingevuld antwoord.

Postadres bedrijf initiatiefnemer

Wat voor adres wilt u opgeven als postadres?
afwijkend adres
Vooraf ingevuld antwoord.

Wat voor adres wilt u opgeven als afwijkend adres?
postbusnummer
Vooraf ingevuld antwoord.

Nummer
19
Vooraf ingevuld antwoord.

Postcode
9700MA
Vooraf ingevuld antwoord.

Plaats
Groningen
Vooraf ingevuld antwoord.

Contactpersoon

Wilt u een contactpersoon voor deze aanvraag of melding opgeven?
Ja

Functie contactpersoon
Permitting and Stakeholdermanagement Lead Aramis

Voorletters
geen openbare informatie

Voorvoegsel
geen openbare informatie

Achternaam
geen openbare informatie

E-mailadres
geen openbare informatie

Telefoonnummer
geen openbare informatie

Wat voor adres wilt u opgeven als postadres?
afwijkend adres

Wat voor adres wilt u opgeven als afwijkend adres?
postbusnummer

Nummer
geen openbare informatie

Postcode
geen openbare informatie

Plaats
geen openbare informatie

Vragen en antwoorden

Bouwactiviteit (technisch)

Algemeen

Wat gaat u bouwen?
Een startschacht en een microtunnel om de aanleg van de Aramis CO2-transportleiding mogelijk te maken

Gaat het om de bouw van één of meer gebouwen of om iets anders?
Iets anders dan een gebouw

Wat zijn de geschatte bouwkosten in euro's (exclusief BTW)?
geen openbare informatie

Zijn er gegevens en bescheiden die u later wilt indienen? Geef dan hier aan welke gegevens en bescheiden u later wilt indienen.
Geschatte bouwkosten, risicomatrix voor bouw- en sloopactiviteiten, en eventueel nog nader te bepalen gegevens en bescheiden.

Gebruiksfunctie

Voor welke functie wilt u het bouwwerk geen gebouw zijnde gaan gebruiken?
Andere bouwwerk geen gebouw zijnde

Betreft het bouwwerk een woonboot of een ander drijvend object?
Nee

Seizoensgebonden en tijdelijke bouwwerken

Gaat het om het bouwen of verbouwen van een seizoensgebonden bouwwerk?
Nee

Gaat het om het bouwen of verbouwen van een tijdelijk bouwwerk?
Nee

Informatie over stikstof en veiligheid bij het uitvoeren van de bouwwerkzaamheden

Levert u ook de gegevens aan over de stikstofemissies en de veiligheid bij het uitvoeren van de bouwwerkzaamheden?
Ja

Bijlagen

Bouwactiviteit (technisch)

Beschermen van de gezondheid

Geen documenten.

Bouwwerkinstallaties

Geen documenten.

Bruikbaarheid en toegankelijkheid

Geen documenten.

Constructieve berekening

Document	Vertrouwelijk
NL-ARM-040-ARM1-000001- Environmenatl permit building activities CONCEPT 22102024.pdf	Nee

Constructieve veiligheid

Document	Vertrouwelijk
Informatie ten behoeve van de aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel.pdf	Nee

Duurzaamheid

Geen documenten.

Kwaliteitsverklaringen en CE-markeringen

Geen documenten.

Mechanische ventilatie

Geen documenten.

Plattegronden, doorsneden en detailtekeningen

Document	Vertrouwelijk
Informatie ten behoeve van de aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel.pdf	Nee

Thermische isolatie

Geen documenten.

Toelichting op ontwerp constructie

Document	Vertrouwelijk
Informatie ten behoeve van de aanvraag vergunning technische bouwactiviteit	Nee

Document	Vertrouwelijk
voor Aramis schacht en tunnel.pdf	

Veiligheid en gezondheid in omgeving bouwwerkzaamheden

Document	Vertrouwelijk
Informatie ten behoeve van de aanvraag vergunning technische bouwactiviteit voor Aramis schacht en tunnel.pdf	Nee