

Postbus 718, 6800 AS Arnhem, Nederland
Prorail
Randstad Zuid
T.a.v. dhr. J. Boode
Delftseplein 27J
3013 AA ROTTERDAM

DATUM	5 mei 2014
BEHANDELD DOOR	Wenda van Dijk
TELEFOON DIRECT	026 373 29 75
E-MAIL	Wenda.van.Dijk@tennet.eu
AANTAL BIJLAGEN	10

BETREFT Aanvraag vergunning Spoorwegwet Randstad 380kV Noordring - kruising spoor Leiden-Alphen a/d Rijn met nieuwbouw 380kV en amoveren 150kV

Geachte heer Boode,

Hierbij ontvangt u een aanvraag om vergunning in het kader van artikel 19 lid 1 Spoorwegwet ten behoeve van de realisatie van de hoogspanningsverbinding Randstad 380 kV Noordring (Bleiswijk-Vijfhuizen).

Om de realisatie van deze hoogspanningsverbinding mogelijk te maken, is het noodzakelijk om de volgende activiteiten uit te voeren ter plaatse van de spoorlijn Leiden – Alphen aan de Rijn nabij Hazerswoude-Rijndijk:

- nieuwbouw Randstad 380kV verbinding (masten 133-132), kruisend met spoorlijn;
- verwijderen van bestaande 150kV verbinding (masten 61-62) boven spoorlijn.

Ten aanzien van uw besluit op deze aanvraag ingevolge artikel 2.1 en 2.2 de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht is op grond van artikel 20c 2 Elektriciteitswet door de minister bepaald dat omwille van stroomlijning en versnelling de rijkscoördinatieregeling uit de Wet op de ruimtelijke ordening van toepassing is (artikel 3.35). Hierbij is de Minister van Economische Zaken de aangewezen minister voor de coördinatie. In verband daarmee heeft de minister van Economische Zaken mij gevraagd het volgende op te nemen in deze aanvraag:

1. Ingevolge de rijkscoördinatieregeling dient u een kopie van onderhavige aanvraag te verzenden aan de Minister van Economische Zaken. TenneT zal er echter voor zorgen dat de minister van Economische Zaken een exemplaar van deze aanvraag ontvangt. U hoeft dus geen exemplaar door te sturen.
2. In reactie op deze kopie van de aanvraag zal de minister u per brief melden wanneer van u verwacht wordt een ontwerp besluit gereed te hebben.
3. Wij verzoeken u om het ontwerpbesluit en later ook het definitieve besluit aan de minister van Economische Zaken te verzenden. Deze zal het besluit aan TenneT verzenden.

De volgende bijlagen maken onderdeel uit van deze aanvraag:

0. Aanvraagformulier
1. Tracékaart Randstad 380kV (Zuidelijke ringvaart-Bleiswijk)
2. Situatiekaart met kadastrale aanduiding
3. Lengteprofiel
4. Situatietekeningen met gegevens basisbeheerkaart, bouwwegen, werkterreinen en opstelplaats mobiele jukken
5. Constructietekeningen masttypen W2H400+5 (mast 132) en W2H400A+10 (mast 133)
6. Statische berekeningen masttypen W2H400+5 (mast 132) en W2H400A+10 (mast 133)
7. Constructietekeningen fundatie wintrackmasten type C
8. Constructieberekeningen fundatie wintrackmasten type C
9. Gegevens jukken ten behoeve van amoveren 150kV en nieuwbouw 380kV
10. Rapportage EMC beïnvloeding

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende geïnformeerd te hebben. In geval van inhoudelijke vragen of onduidelijkheden verzoeken wij u op korte termijn contact met ons op te nemen (zie aanhef brief voor contactgegevens). Voor procedurele vragen verzoeken wij u contact op te nemen met dhr. M.C. Bernardina van Bureau Energieprojecten, telefoon 070 379 6530.

Hoogachtend,
TenneT TSO B.V.



J. (Jaap) ter Haar
Clustermanager

Overzicht bijlagen

#	Bijlage	kenmerk	Datum
0	Aanvraagformulier	-	
1	Tracékaart Randstad 380 kV (Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart)	VKT 5.0	12-02-2014
2	Situatietekening met kadastrale aanduiding	PRR-SWV4 Alphen 380kV	30-04-2014
3	Lengteprofiel	30813059-50-13 VKT 5.0 Blad 8 van 11	03-02-2014
4	a. Situatietekening inclusief beheerkaart Prorail b. Definitief ontwerp, overzichtstekening mast137-133 c. Definitief ontwerp, overzichtstekening mast132-128 d. Opbouw werkwegen en bouwplaatsinrichting	R3N-TEK-0109 wijz02 R3N-TEK-0008 rev9 R3N-TEK-0009 rev9 R3N-TEK-0026 wijz03	03-04-2014 24-4-2014 24-4-2014 01-11-2013
5	Constructietekeningen a. masttype W2H400+5 (mast 132) b. masttype W2H400A+10 (mast 133)	MS20120025/06 MS-0004/09	14-08-2012 12-12-2012
6	a. Statische ontwerpberekening masttype W2H400+5 (mast 132) b. Statische ontwerpberekening masttype W2H400A+10 (mast 133)	Revisie 04 Revisie 02	07-02-2014 07-02-2014
7	Constructietekeningen fundatie masten type C	R3N-TEK-0021 rev02	04-10-2013
8	a. Constructieberekeningen fundatie Wintrack masten type C b. Bepaling belasting mastfundaties	R3N-OWR-0005 rev02 R3N-OWR-0033 rev01	2-10-2013 6-8-2013
9	a. Jukkenplan amoveren 150kV b. Jukkenplan nieuwbouw 380kV	R3N-OWR-0013 rev05 R3N-OWR-0037 rev06	04-04-2014 24-04-2014
10	Rapportage EMC beïnvloedingen	TE121000-R08 AM versie 1.2	13-02-2014

Inhoudsopgave

0	Aanvraagformulier
Bijlage 1	Tracékaart Randstad 380 kV VKT 5.0
Bijlage 2	Situatietekening met kadastrale aanduiding, PRR-SWV4 Alphen 380kV
Bijlage 3	Lengteprofiel 30813059-50-13 VKT 5.0 Blad 8 van 11
Bijlage 4	a. Situatietekening inclusief beheerkaart Prorail, R3N-TEK-01 09 wijz02 b. Definitief ontwerp, overzichtstekening mast 137, R3N-TEK-0008 rev9 c. Definitief ontwerp, overzichtstekening mast 132-128, R3N-TEK-0009 rev9 d. Opbouw werkwegen en bouwplaatsinrichting, R3N-TEK-0026 wijz03
Bijlage 5	Constructietekeningen: a. Masttype W2H400+5 (mast 132), MS20120025/06 b. Masttype W2H400A+10 (mast 133), MS-0004/09
Bijlage 6	Statische ontwerpberekening a. Masttype W2H400+5 (mast 132), Revisie 04 b. Masttype W2H400A+10 (mast 133), Revisie 02
Bijlage 7	Constructietekeningen fundatie masten type C R3N-TEK-0021 rev02
Bijlage 8	a. Constructieberekeningen fundatie Wintrack masten type C, R3N-OWR-0005 rev02 b. Bepaling belasting mastfundaties, R3N-OWR-0033 rev01
Bijlage 9	a. Jukkenplan amoveren 150kV, R3N-OWR-0013 rev05 b. Jukkenplan nieuwbouw 380kV, R3N-OWR-0037 rev06
Bijlage 10	Rapportage EMC beïnvloedingen Vervanging - nieuwe versie - TE121000-R08 AM versie 1.4
Bijlage 11	Aanvulling Mogelijke maatregelen in verband met beïnvloeding ProRail TE121000-B05 AM
Bijlage 12	Aanvulling Interferentie spoorlijnen door Noordring TE121000-N21

VERGUNNINGAANVRAAG SPOORWEGWET

Meer informatie: lees de Handleiding Vergunningaanvragen, de Indieningvereisten en raadpleeg het zgn. "Witte Boekje"

Formulier dient volledig ingevuld bij de vergunningaanvraag gevoegd te worden, anders kan de aanvraag niet in behandeling worden genomen.

Werkdossier gegevens (in te vullen door ProRail)

Registratienummer	Paraaf
Registratiedatum ontvangst	
Dossiernummer regio	Regio
Risico Klasse	
Type boring	
Datum goedkeuring	
Revisiedatum	

Gegevens vergunninghouder

Naam	TenneT TSO BV
Postbus/adres	Utrechtseweg 310
Postcode/Plaats	6800 AS Arnhem
Contactpersoon	J. ter Haar
Telefoon	026 373 2975
Emailadres	Jaap.ter.haar@tennet.eu
Nummer KvK	09155985

Gegevens Ingenieursbureau/Waarnemer

Naam	
Postbus/adres	
Postcode/Plaats	
Contactpersoon	
Telefoon	
Emailadres	

Pers-/booraannemer

Naam	
Postbus/adres	
Postcode/Plaats	
Contactpersoon	
Telefoon	
Emailadres	

Kabel-/Leidingbedrijf dat kabel-/leidingwerk uitvoert

Naam	ntb
Postbus/adres	
Postcode/Plaats	
Contactpersoon	
Telefoon	
Emailadres	

Locatie

Geo-code	
Baanvak	Alphen a/d Rijn - Leiden
Km	23.1 – 23.2
Straatnaam (indien mogelijk) en gemeente	Ten zuidwesten van Hazerswoude-Rijndijk
Geplande startdatum	1 januari 2017
Datum aanvraag	5 mei 2014
Naam Ondertekenaar	J. ter Haar Clustermanager
Handtekening Ondertekenaar	

NB: Bij een verlegging als gevolg van een ProRail werk dient de naam van dat betreffende project, de naam van de procesleider K&L van GJZ en de objectcode te worden vermeld.

ProRail	IN TE VULLEN T.B.V. VERGUNNINGAANVRAAG KABELS EN LEIDINGEN		
	Uitvoeringswijze (bij meerdere leidingen: vul het specificatieformulier in)		
Voltoet aan het Witte boekje	☒ Ja ☐ Nee, want		
Wijze van kruisen	Bijzonderheden		
☐ Persing OFT			
☐ Persing GFT			
☐ Boring HDD		Boorgat Ø mm	
☐ Bestaande beschermhuis			
☐ Viaduct of tunnel			
☐ Open ontgraving			
☒ Bovengronds	Hoogspanningsleidingen boven het spoor		

**Gegevens beschermingsbuis (bij meerdere beschermhuizen:
vul het specificatieformulier in)**

Type Buis	Inw Ø mm	Uitw Ø mm	SDR	PE	Bijzonderheden
☐ HPDE					
☐ Impressor					
☐ Wavistrong					
☐ Hobas					
☐ Zublin					
☐ Beton					
☐ Staal					
☐ ander, namelijk					
Diepte t.o.v. maaiveld (HDD)					
Diepte t.o.v. BS (OFT/GFT)					

Leidinggegevens (bij meerdere leidingen: vul het specificatieformulier in)

Door te voeren medium				
Materiaal leiding				
Indien HDPE	☐ SDR		☐ PE	
Uitwendige diameter				
Inwendige diameter				
Maximale werkdruk				
Kathodische bescherming	☐ ja		☐ nee	

Kabelgegevens (bij meerdere kabels: vul het specificatieformulier in)

Soort	Bijzonderheden	Voltage	Aantal
☐ Zwakstroom			
☐ Laagspanningskabel			
☐ Hoogspanningskabel			
☐ Telecomkabel			
☐ Glasvezelkabel			
☐ Loze HDPE-buis			
☐ O			

Extra voor gas-/pijpleidingen voor vloeibare aardolieproducten

Wijze van geleiding	
Soort verbindingen	
Wordt een kathodische bescherming aangebracht	

Extra voor vrijvalrioolleidingen

Kwaliteit rioolwater	
----------------------	--

IN TE VULLEN T.B.V. VERGUNNINGAANVRAAG BOUWWERKEN

Duur bouwwerk

Tijdelijk: ja/nee

Zo ja, wat is de beoogde instandhoudingstermijn?

Permanent bouwwerk

Gebruik van het bouwwerk

Wat is het gebruik van het bouwwerk?

Hoogspanningsverbinding 380 kV

Uitvoeren van de bouwwerkzaamheden, gegevens derden

Gegevens hoofdaannemer

Naam:

BAM

Adres

Marconibaan 2 / Postbus 14

3439 MS Nieuwegein / 1160 AA Zwanenburg

Gegevens onderaannemer

Naam:

Adres:

Situering van het gebouw

Afstand van het gebouw t.o.v. het hart van het dichtstbijzijnde spoor:

Hoogte van het gebouw t.o.v. bovenkant spoorstaaf:

Materieel

Van welk materieel wordt gebruik gemaakt tijdens de bouwwerkzaamheden:
(v.b. kranen / heistellingen)

Overig te plaatsen tijdelijke objecten ten behoeve van het werk.

Containers, dixie, bouwketen, etc.

.....parkeerplaatsen

Overige werkzaamheden ten behoeve van het werk.

Bomen/beplantingen/hekwerken,

zie bijlage 4

.....parkeerplaatsen

Overige aan te leveren bescheiden (N.B. geef aan welke documenten worden aangeleverd)

- ☒ Gegevens en bescheiden in relatie tot de stabiliteit van de spoorbaan;
- ☒ Belastingen en belastingcombinaties (sterkte en stabiliteit) van alle (te wijzigen) constructieve delen van het bouwwerk voor zover die van invloed kunnen zijn op de spoorweginfrastructuur;
- ☐ Onderzoeksrapporten geotechnische bodemgesteldheid;
- ☐ Hei- en/of boorplannen inclusief bijbehorende trillingsrapporten;
- ☒ Palenplan(nen);
- ☐ Bronbemaling-/grondwateronttrekkingsplan(nen);
- ☐ Grondverzetplan(nen);
- ☐ Te gebruiken (en eventueel achterblijvende) hulpconstructies;
- ☐ Onderzoeksrapport(en) zon- en lichtreflecties op het spoorverkeer;
- ☐ De locatie(s) van eventueel te plaatsen kranen en de te nemen maatregelen ter voorkoming van lastvlucht boven een in dienst zijnd spoor;

- ☐ Bij het realiseren van windturbines een rapport conform "Handboek Risicozonering Windturbines vigerende versie.

Gegevens en bescheiden in relatie tot het gebruik van het werk dat van invloed kan zijn op het gebruik van de spoorweginfrastructuur: zie indieningsvereisten hoofdstuk 3.3

Gegevens en bescheiden in relatie tot de toegankelijkheid van de spoorweginfrastructuur: zie indieningsvereisten hoofdstuk 3.4

Bouwwerken en werkzaamheden van beperkte invloed: zie indieningsvereisten hoofdstuk 4.1

IN TE VULLEN T.B.V. VERGUNNINGAANVRAAG WERKZAAMHEDEN

- ☐ plaatsen erfafscheidingen (waaronder hekwerken, schuttingen, e.d.)
☐ aanleg/instandhouding sloten
☐ bodemonderzoek
☐ evenementen
☒ anders nl... **tijdelijk bouwterrein**

Aannemer

Uitvoerende aannemer :

Overig te plaatsen tijdelijke objecten ten behoeve van het werk.

Bv. containers, dixie, bouwketen : zie bijlage 4

Toelichting

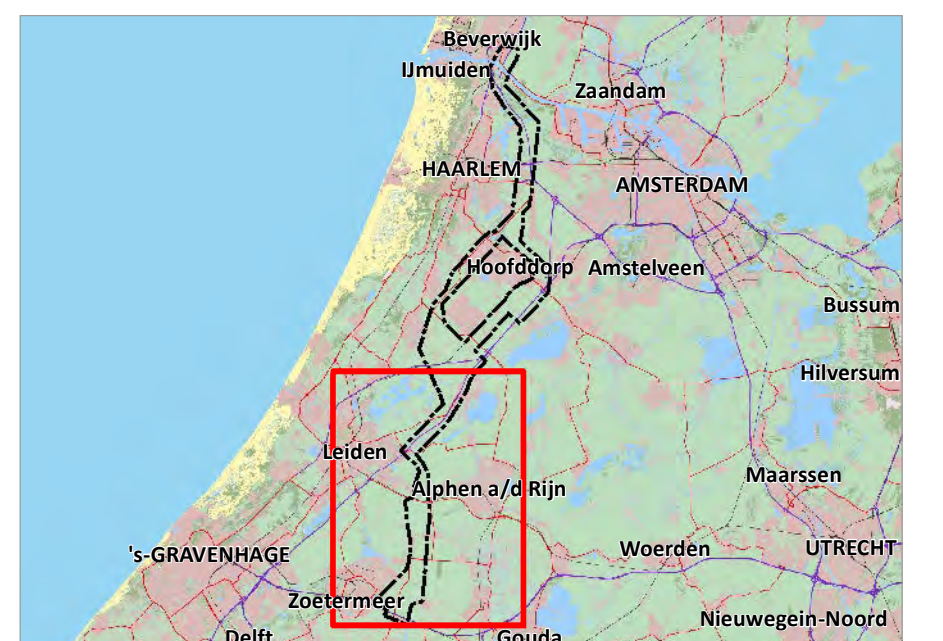
Toelichting op de werkzaamheden :
.....
.....
.....
.....

Bijlage 1
Tracékaart Randstad 380 kV
Noordring
– Zuidelijke Ringvaart-Bleiswijk



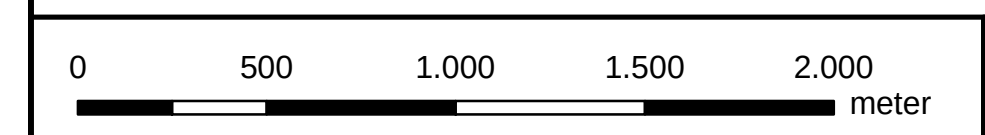
Bestaande verbindingen

- 380kV bovengronds (solo)
- 380kV bovengronds (combi)
- 380kV boring
- 380kV open ontgraving
- 150kV boring
- 150kV open ontgraving
- Opstijgpijp
- PKB corridor



Project	Randstad 380 kV Noordring		
Aanmaakdatum	25-06-2013	Formaat	A0
Revisiedatum	12-02-2014	Schaal	1:20.000
Kenmerk	VKT5.0	Blad	1 van 1

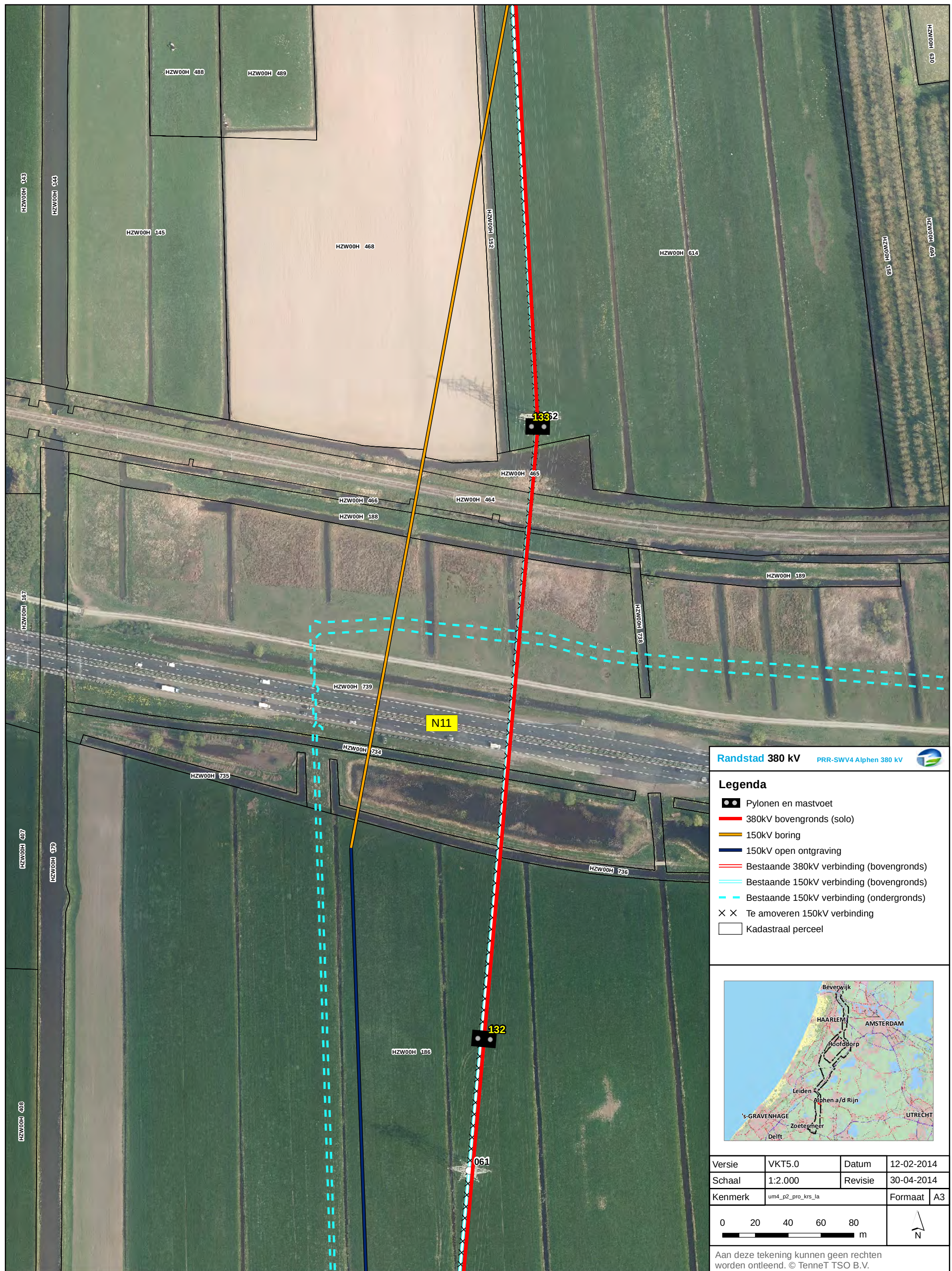
A:\p_r380\producten\overzicht\trace\oordring\130619_vkt50\p_r380_overz_vkt50_Bleiswijk_zuidelijke_ringvaart_a0s.mxd



Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.



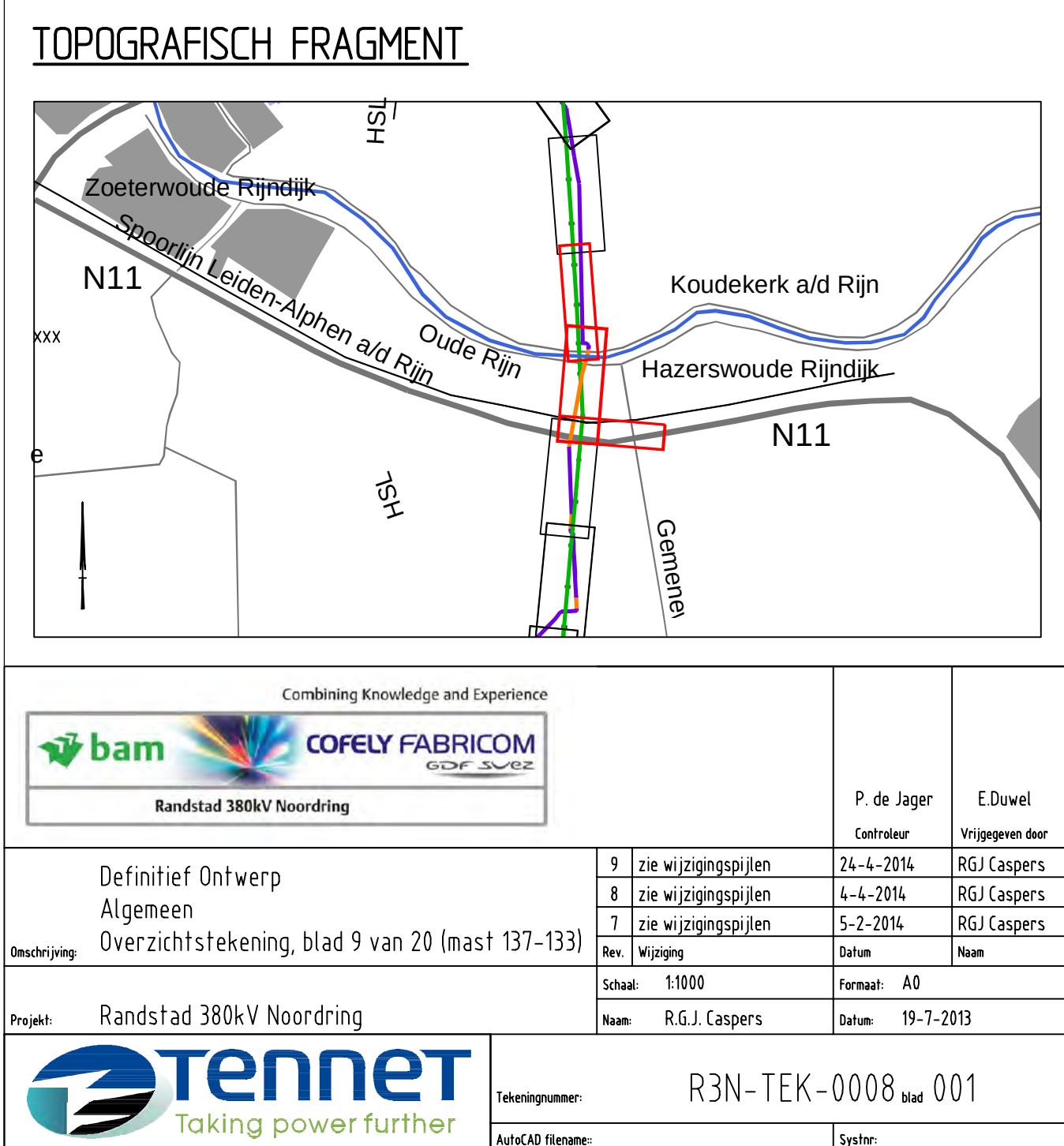
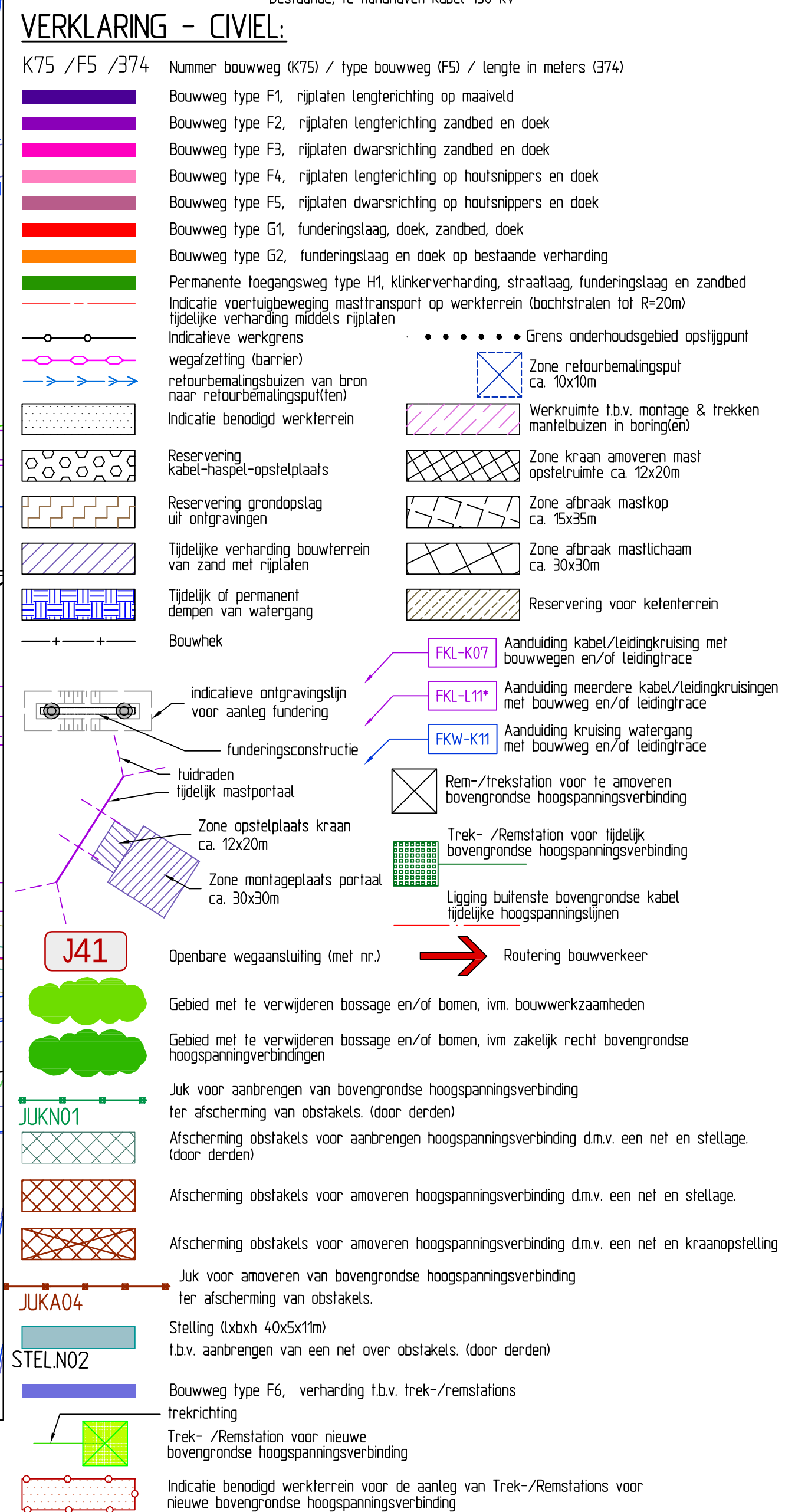
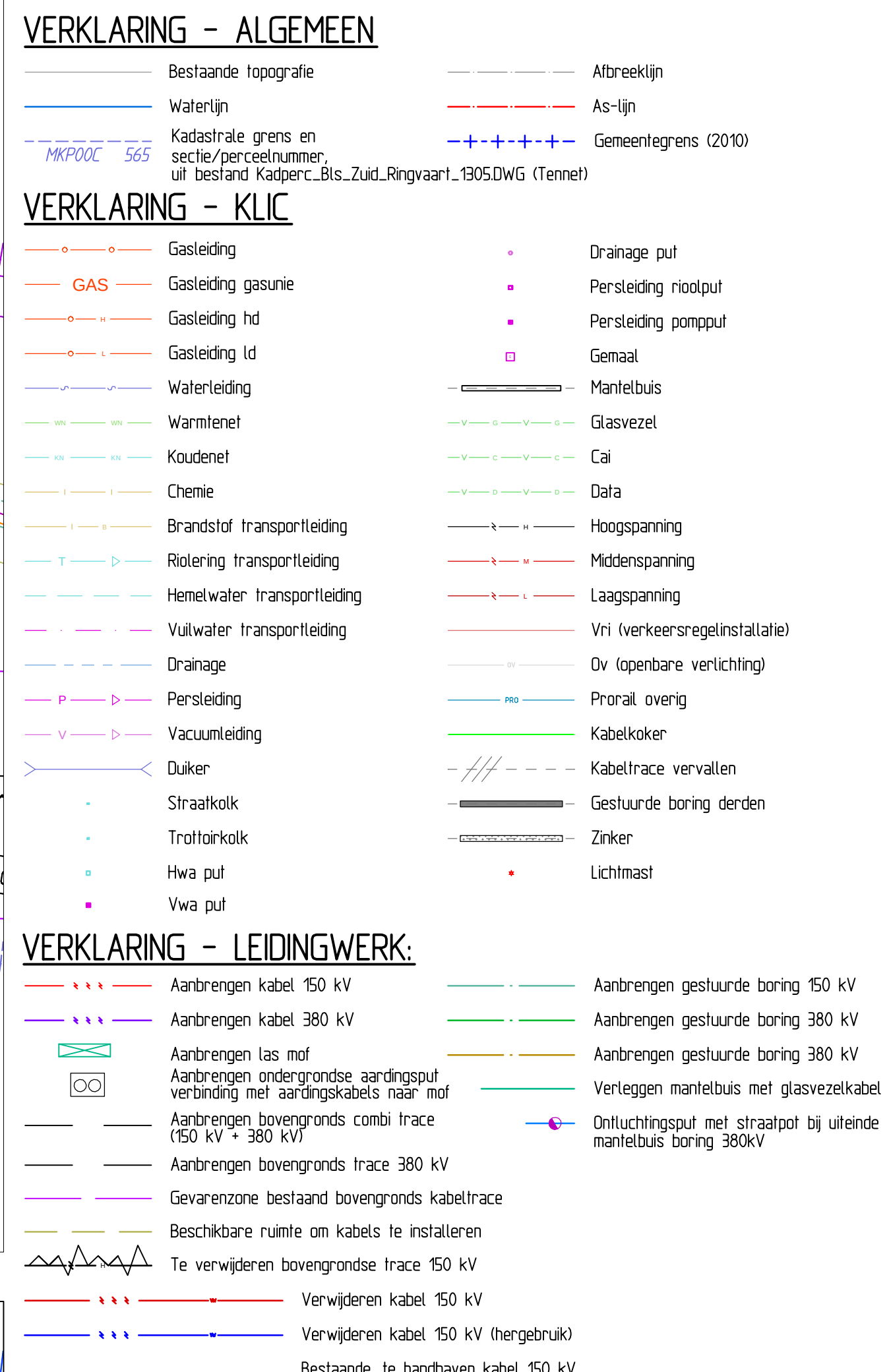
Bijlage 2
Situatietekening met kadastrale
aanduiding

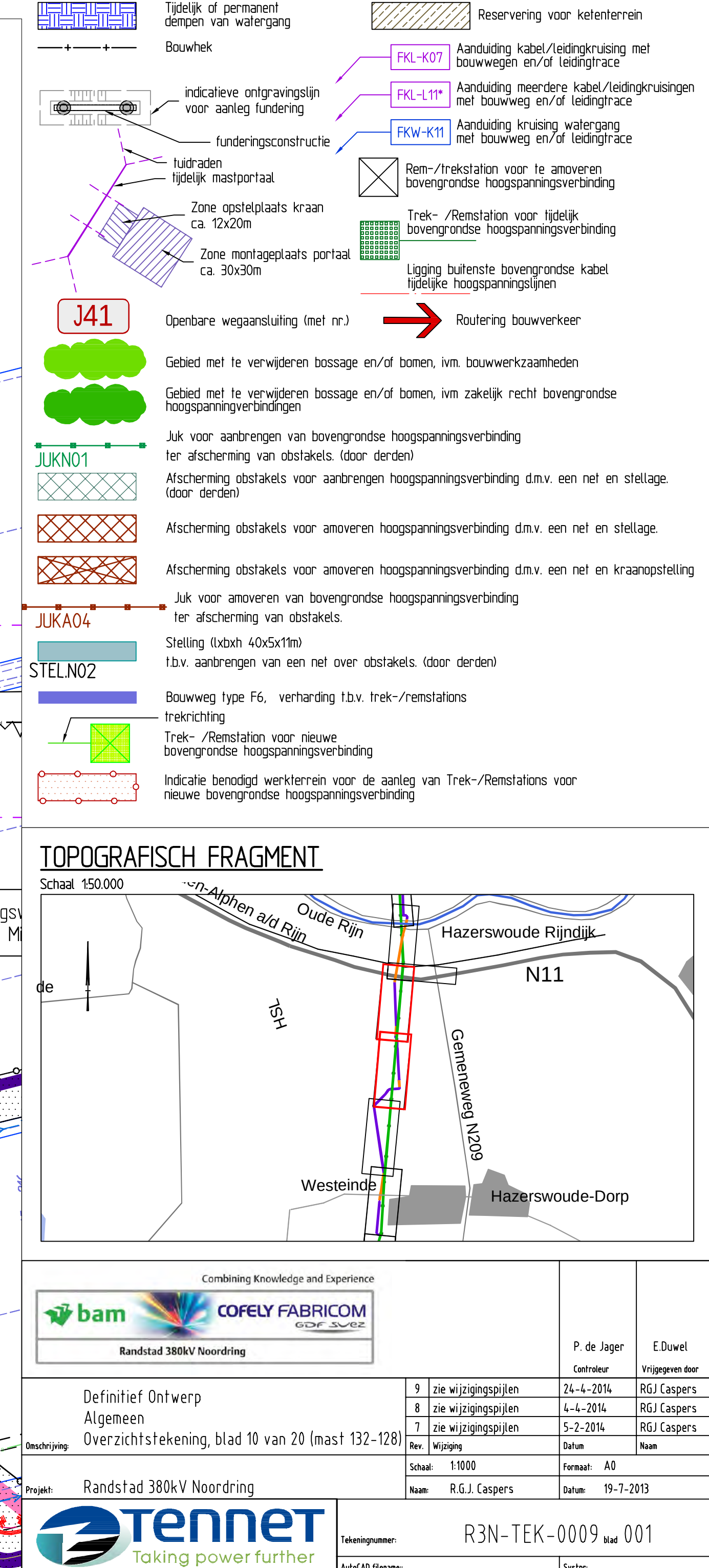
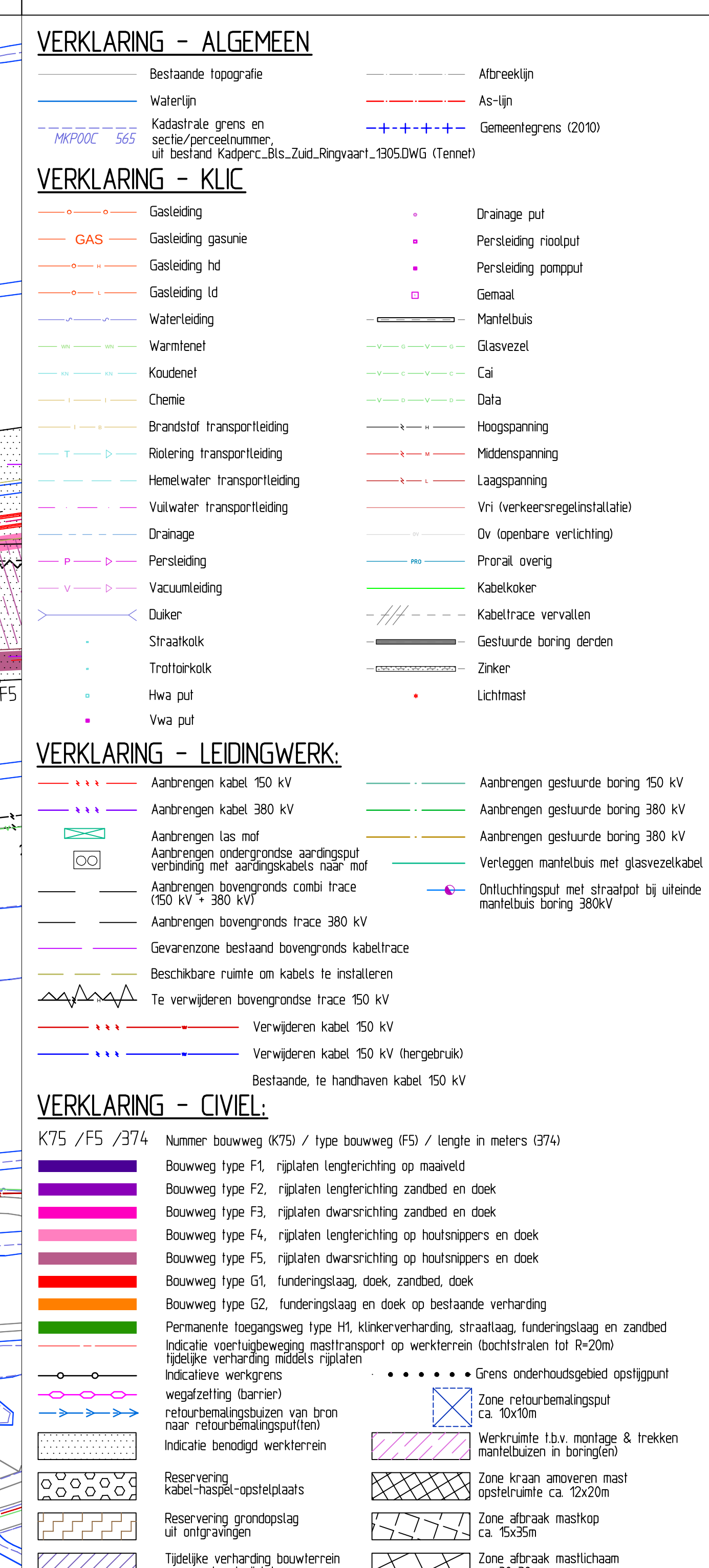


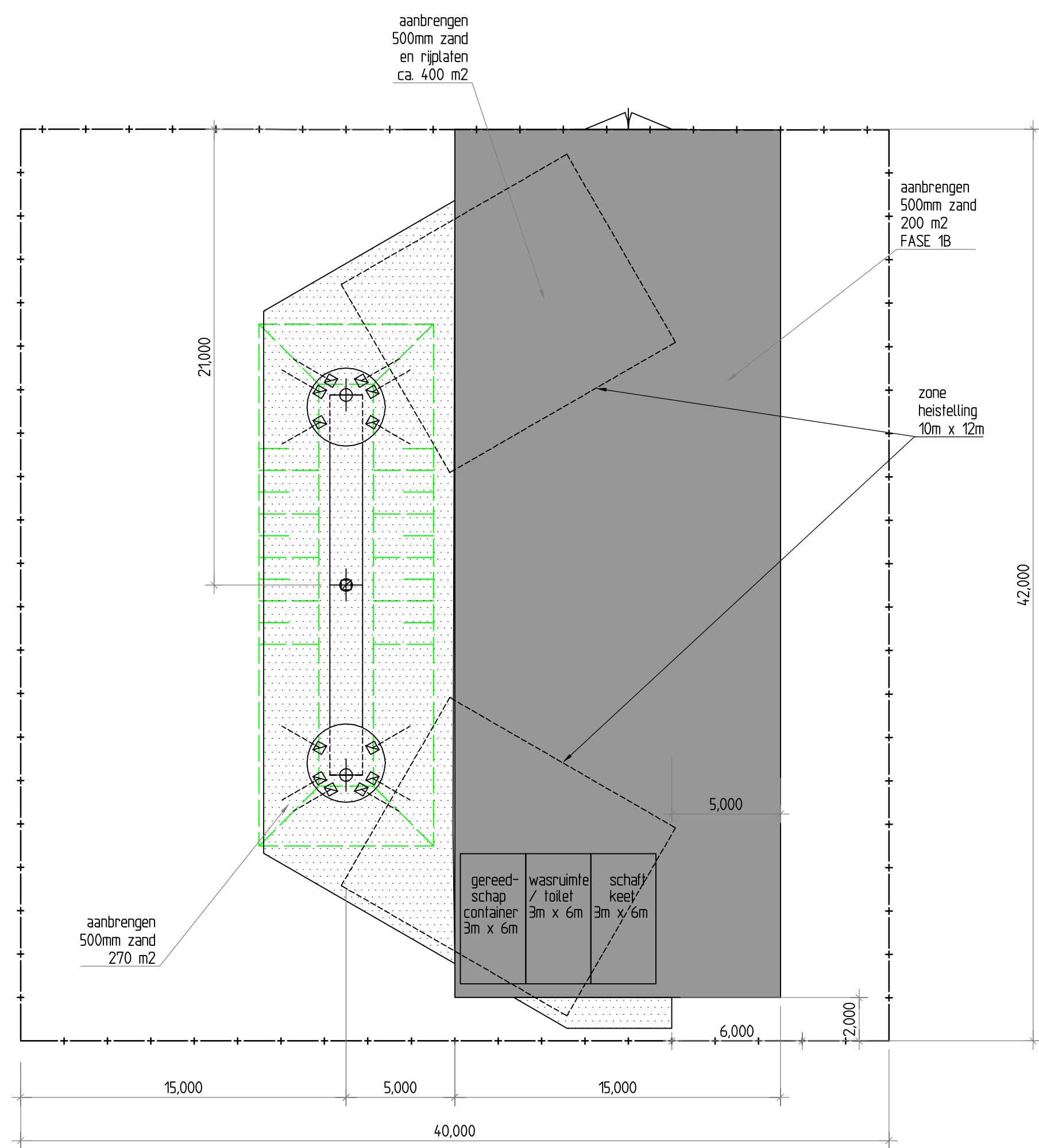
Bijlage 3
Lengteprofiel Randstad 380 kV
Noordring

Bijlage 4

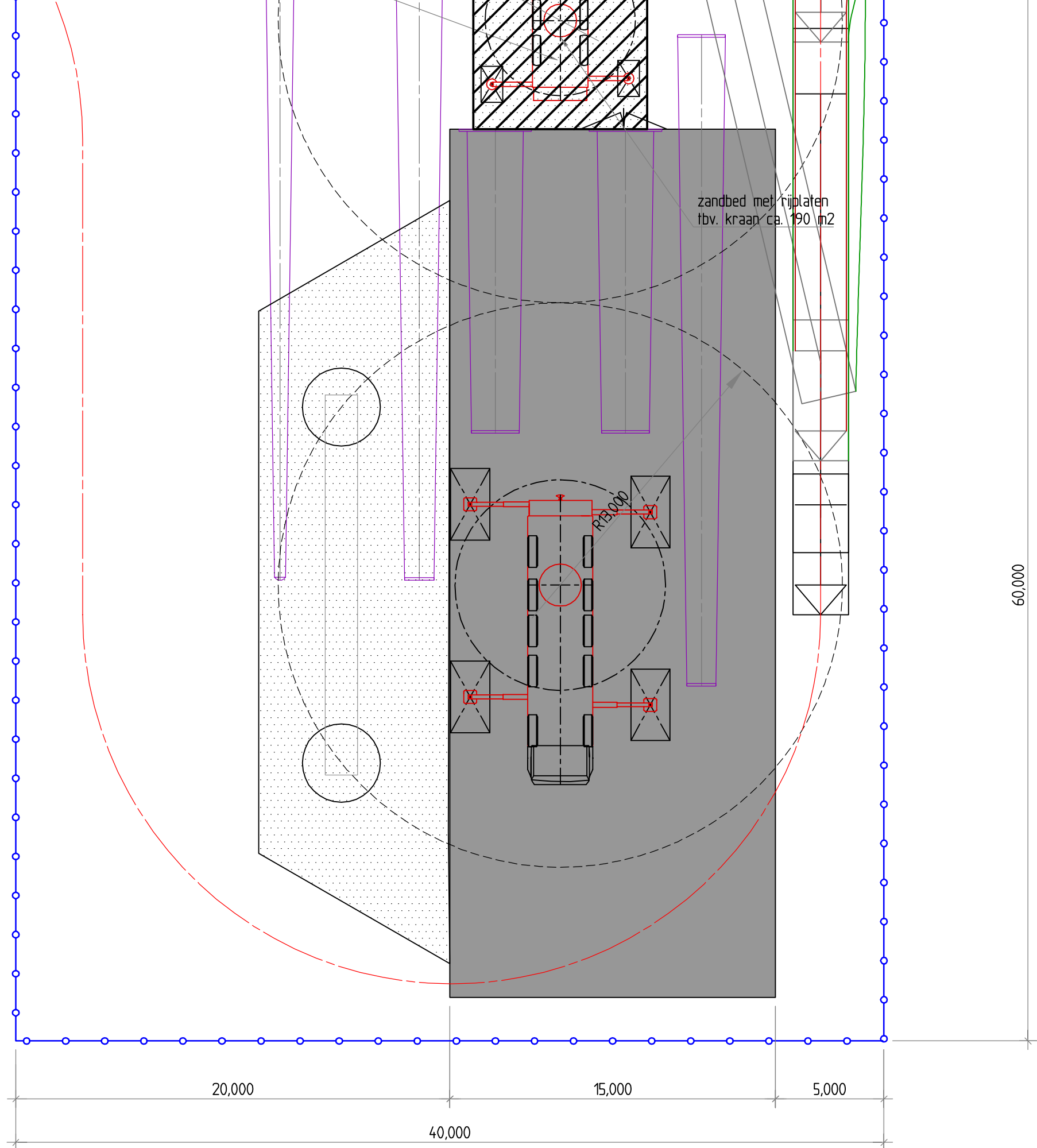
Situatietekeningen met gegevens
basisbeheerkaart, bouwwegen,
werkterreinen en opstelplaats
mobiele jukken



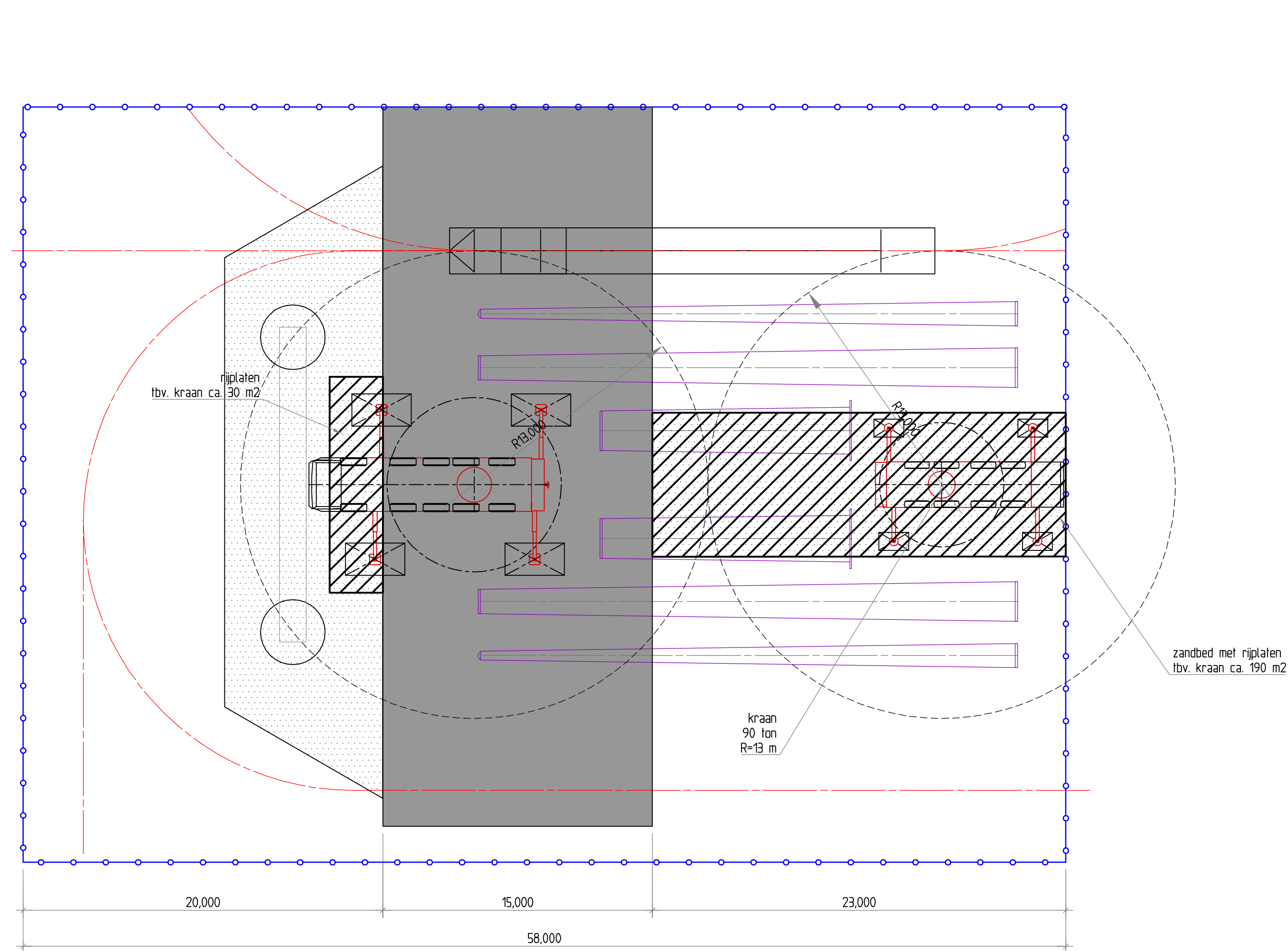




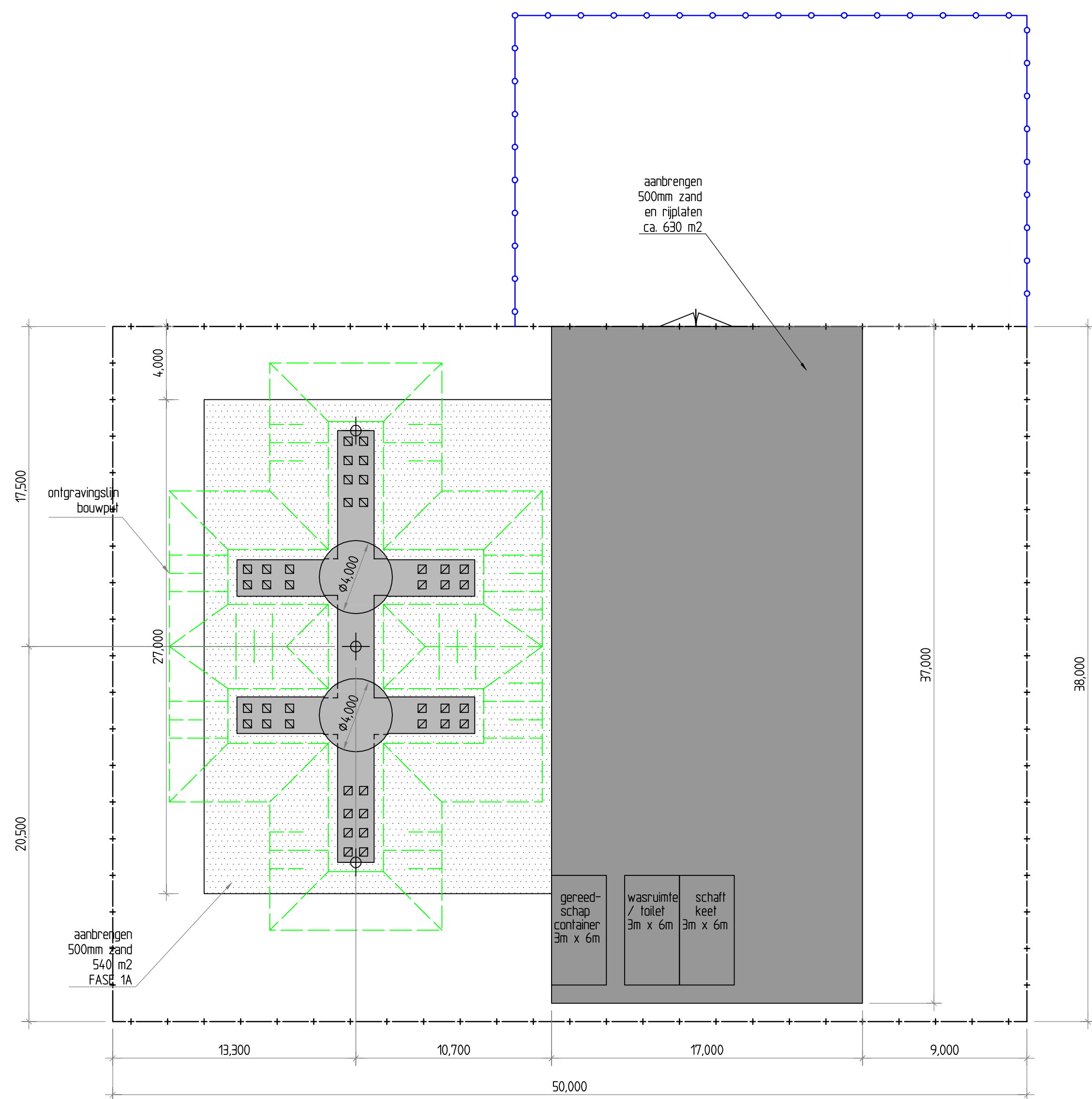
TYPICAL SITUATIE MASTLOCATIE TYPE A & B, FASE 1
Vóór aanvang van het heikwerk



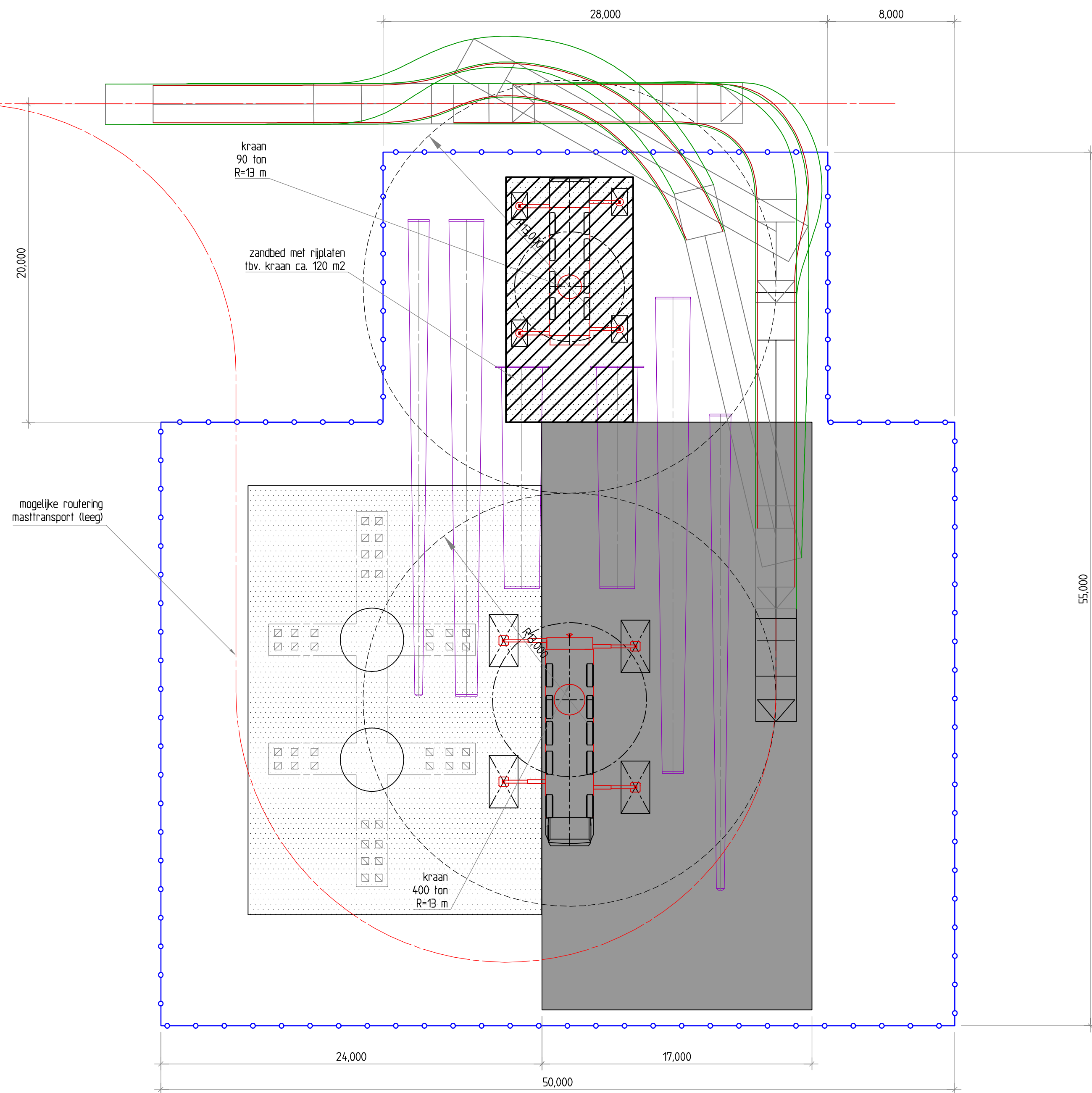
TYPICAL SITUATIE MASTLOCATIE TYPE A & B, FASE 2
Vóór aanvang plaatsing van de masten, variant A



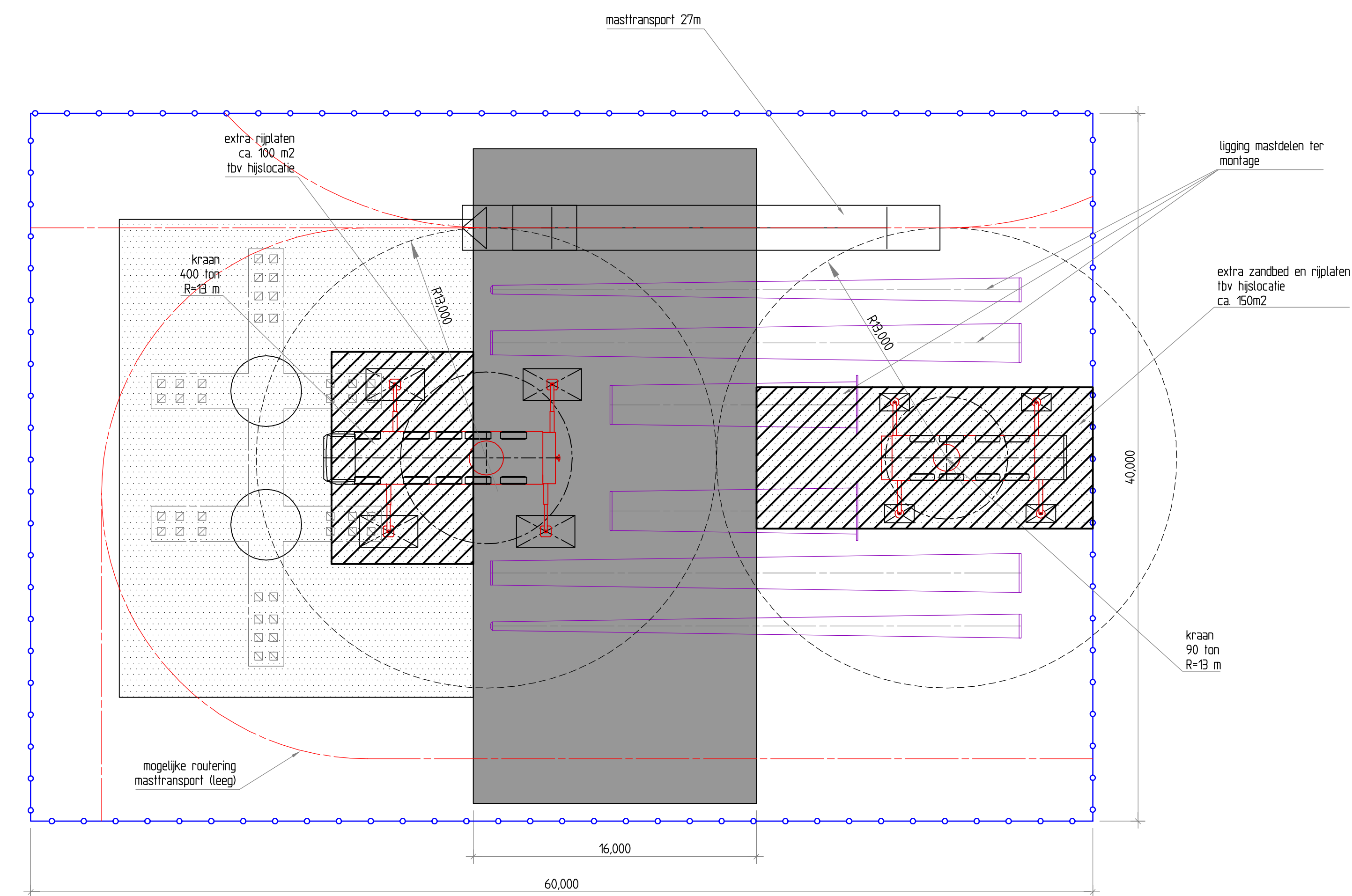
TYPICAL SITUATIE MASTLOCATIE TYPE A & B, FASE 2
Vóór aanvang plaatsing van de masten, variant B



TYPICAL SITUATIE MASTLOCATIE TYPE C, FASE 1
Vóór aanvang van het heikwerk, variant A



TYPICAL SITUATIE MASTLOCATIE TYPE C, FASE 2
Vóór aanvang plaatsing van de masten, variant A



TYPICAL SITUATIE MASTLOCATIE TYPE C, FASE 2
Vóór aanvang plaatsing van de masten, variant B

VERKLARING:

	Contour kraan draaibak		mogelijke routering masttransport 27m
	Grondwerk tbv. talud		indicatieve grens werkgebied
	Mast fundering		Aanbrengen zandbed met riplaten
	Rijplaatverharding		
	Grondverbetering (Zand)		

OPMERKINGEN:

Tekening is opgesteld naar tekening R3N-TEK-0133 rev. 00 te nu alleen voor mastfundaties type D en F)
In agrarisch gebied wordt p.v. zand onder de riplaten, huisrijgers toegepast.

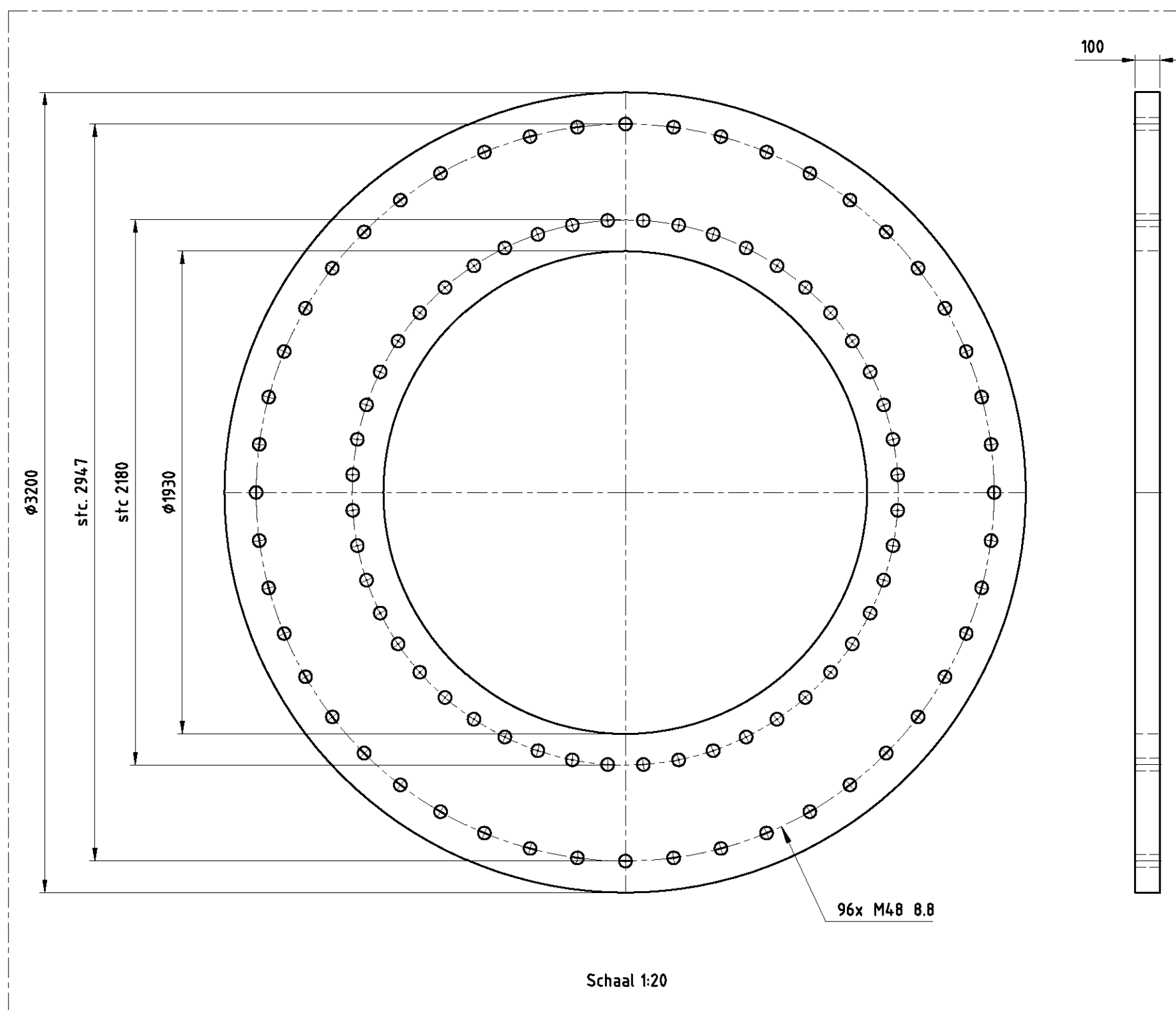
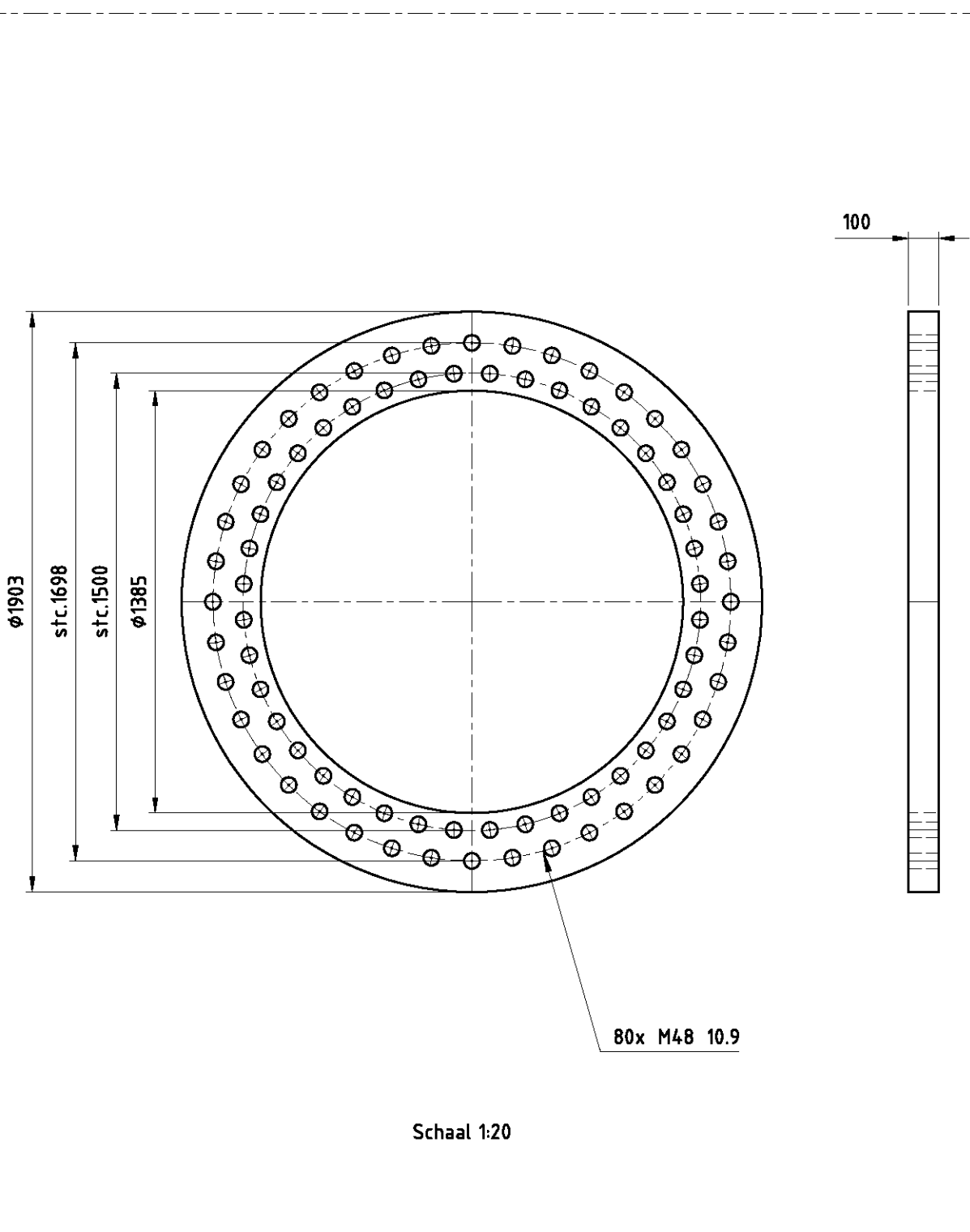
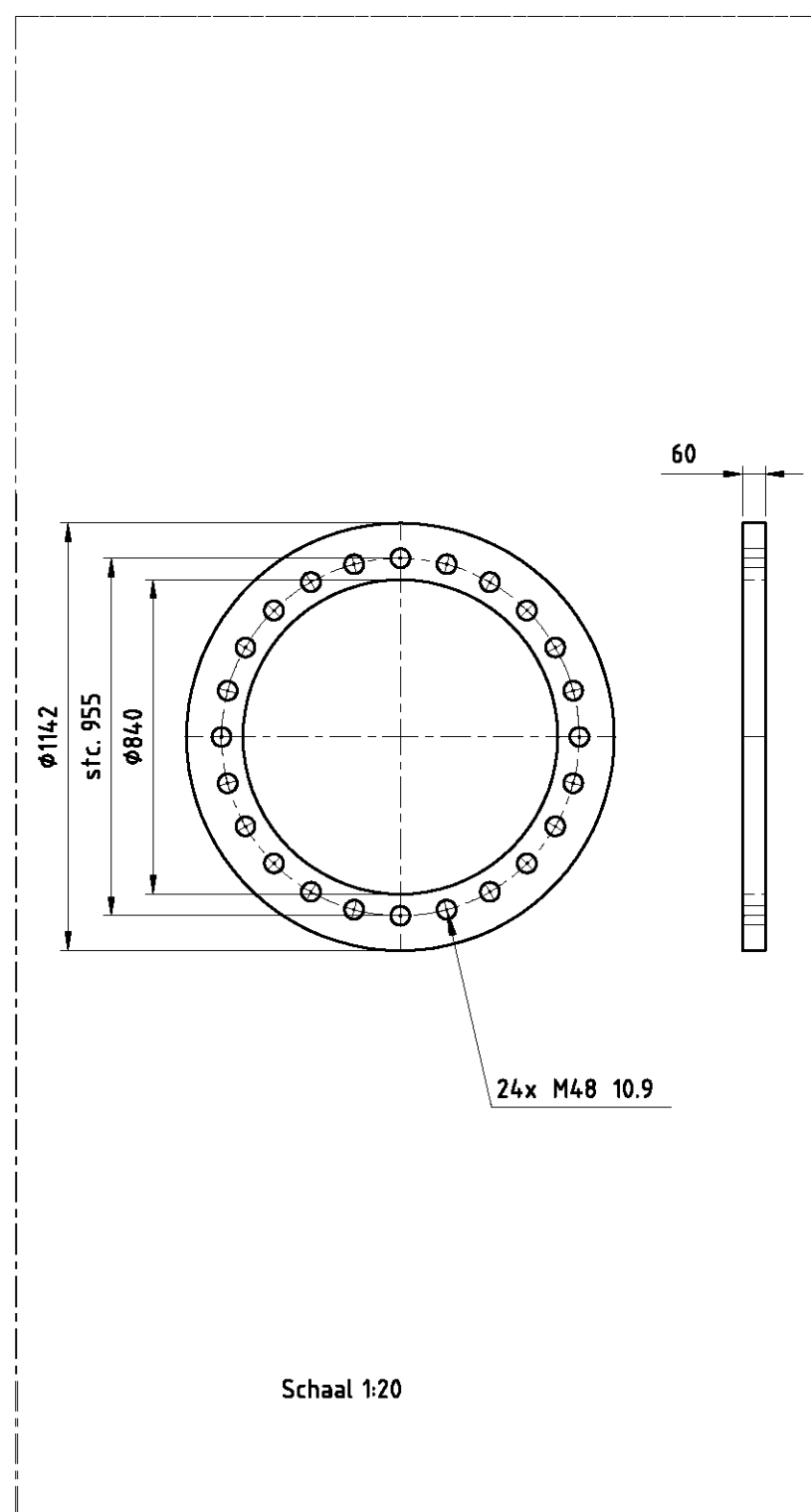
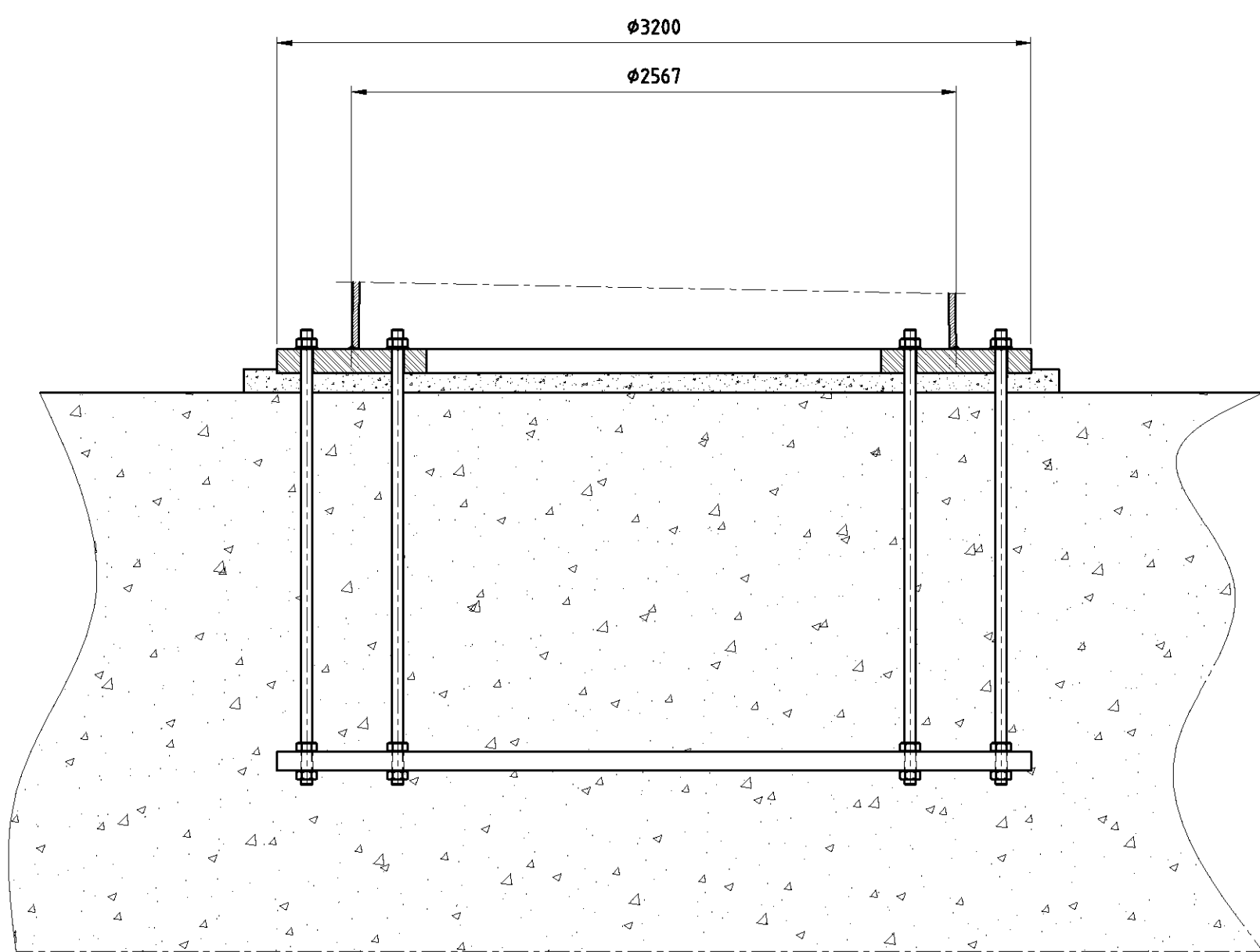
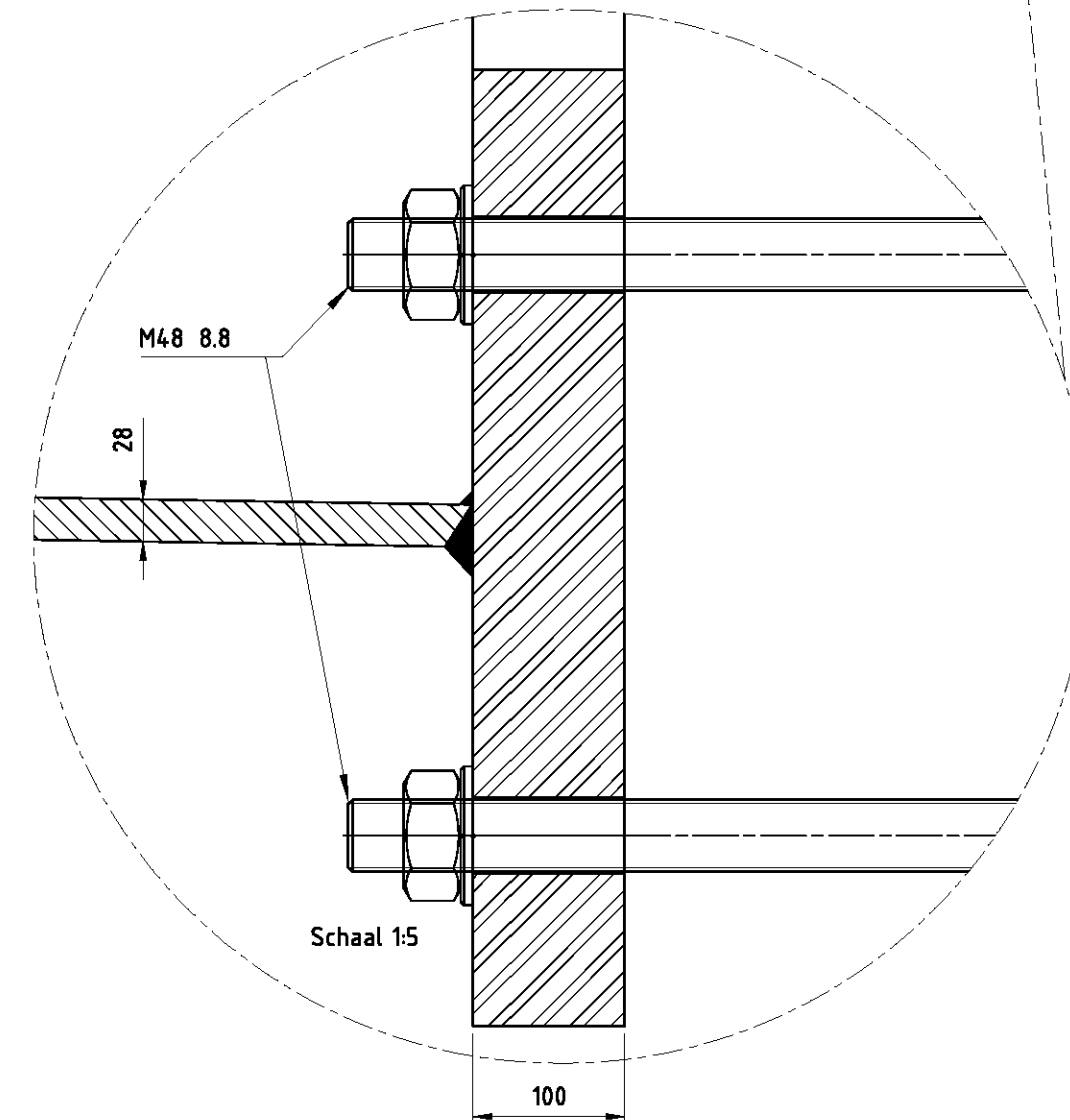
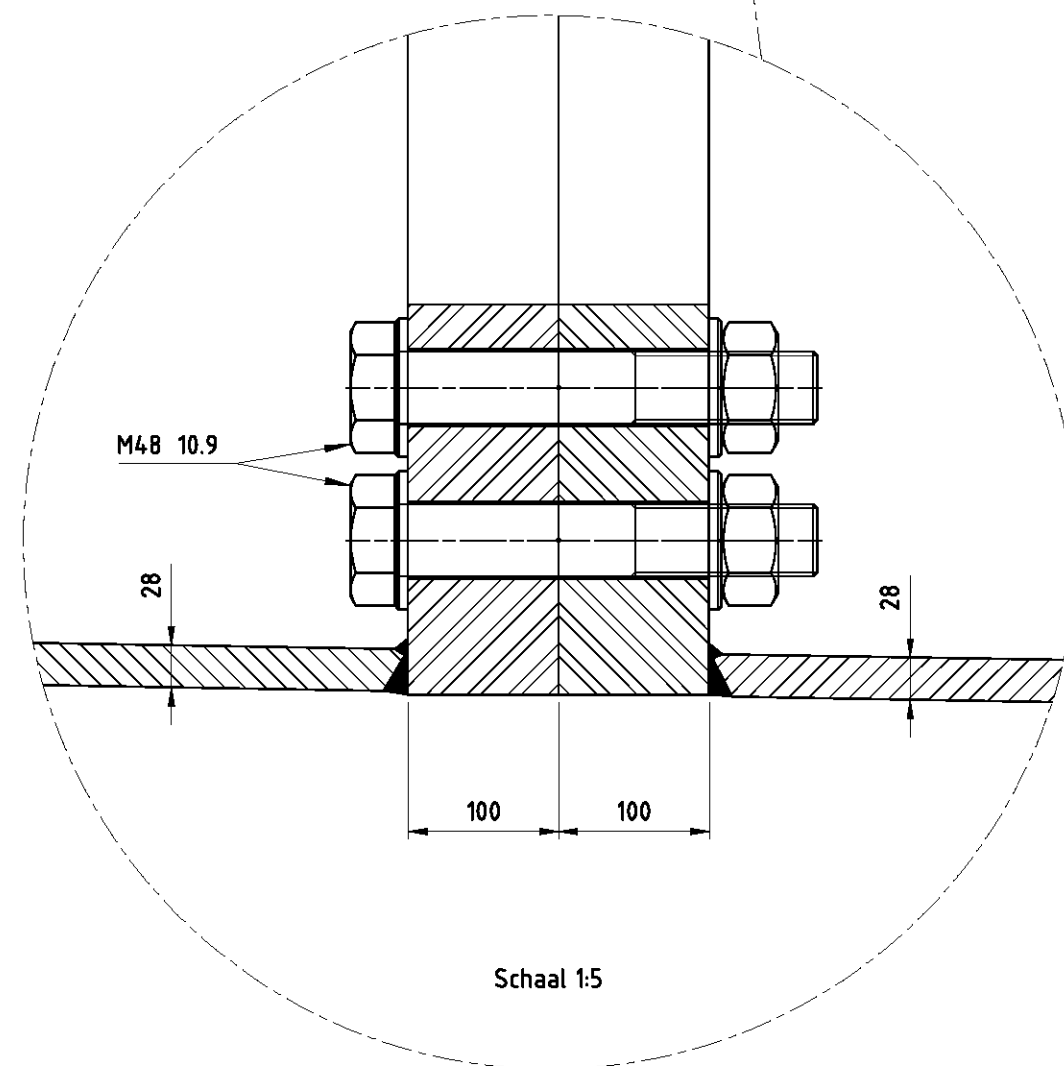
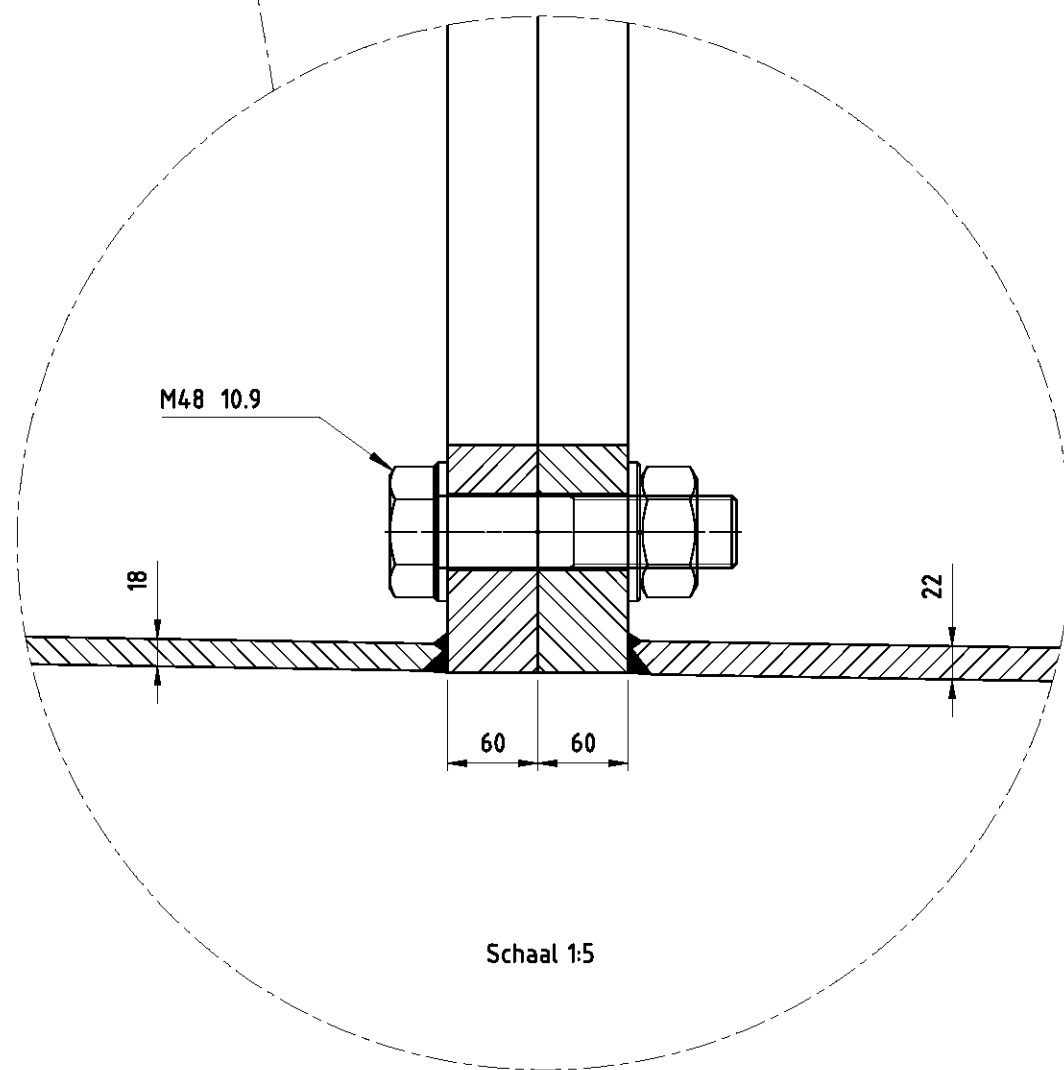
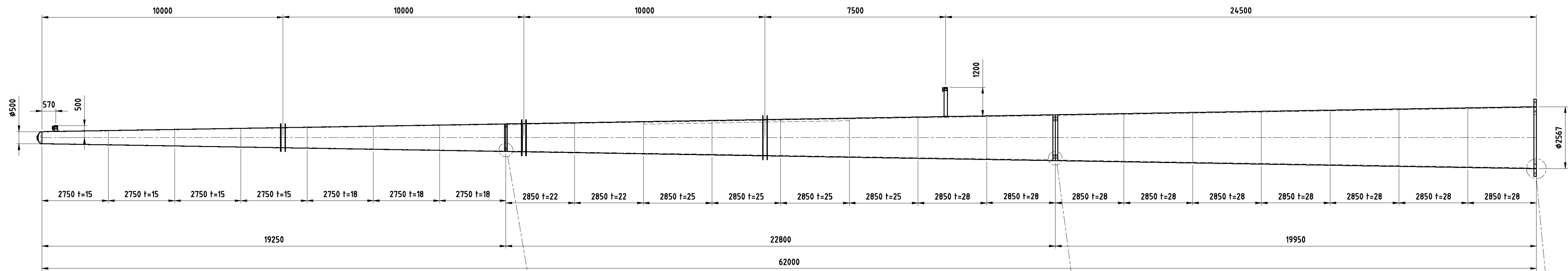
				P de Jager Contractor	A Hogendoorn Vigant de Bont
Definitief Ontwerp Tijdelijke en permanente toegangswegen Bouwplaatsinrichting mastlocaties type A, B en C		03. Algem. herzien. van masthoofd 01-11-2013 02. Ontgravingprofiel fund. 27-09-2013 01. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013		RSJ Caspers	W. Visser
Beschrijving 0m. Koppeling 1200 1200		04. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013 03. Algem. herzien. van masthoofd 01-11-2013 02. Ontgravingprofiel fund. 27-09-2013 01. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013		RSJ Caspers	W. Visser
Project Randstad 380kV Noordring		Tekening 04. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013 03. Algem. herzien. van masthoofd 01-11-2013 02. Ontgravingprofiel fund. 27-09-2013 01. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013		RSJ Caspers	W. Visser
Project Randstad 380kV Noordring		Tekening 04. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013 03. Algem. herzien. van masthoofd 01-11-2013 02. Ontgravingprofiel fund. 27-09-2013 01. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013		RSJ Caspers	W. Visser
Project Randstad 380kV Noordring		Tekening 04. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013 03. Algem. herzien. van masthoofd 01-11-2013 02. Ontgravingprofiel fund. 27-09-2013 01. Heikwerk, terreinprofiel, e.q. 06-08-2013		RSJ Caspers	W. Visser

Bijlage 5

Constructietekeningen masttypen

W2H400+5 (mast 132) en

W2H400A+10 (mast 133)



Toleranties volgens C DIN8570
Dit geeft: (maten in mm)

DIN 8570	klasse C
<30	+/-1
30-120	+/-3
120-315	+/-4
315-1000	+/-6
1000-2000	+/-8
2000-4000	+/-11
4000-8000	+/-14
8000-12000	+/-18
12000-16000	+/-21
16000-20000	+/-24
>20000	+/-27

-Onrondheid aan segment einden <0.2%
-Onrondheid bij overige secties (niet aan de segment einden) <0.5%
-Tolerantie in hoogte richting <0.05%

Ankers kwaliteit 8.8
Verbindingsbouten kwaliteit 10.9
Lasnorm: DIN 15614-1
Zie voor lasdetails tek. 07.81.940-01A/01B/02 t/m 07
Kleur mast: RAL 9018
Kleur uithouders, appendages : RAL 7021

Materiaal: S355J2G3 ≤ 15mm
S355K2G3 > 15mm
Aantal mastdelen: 3
Gewicht mastdeel 2: kg
Gewicht mastdeel 1: kg
Totaal gewicht WZE350+5: kg

Benaming: Mast type W2H400+5			
Uitg	Datum	Get	Oec
1	14-08-2012	WVL	
Schaal: 1:100		Plaats: NVT	
Maat eenheid: mm		Adres: NVT	
Materiaal:		Opatelpunt nr: NVT	
Finish:			
Projectie		Tek.nnr: MS20120025/06	
VolkerWessels Telecom		A1	
VolkerWessels Telecom. Netwerk Solutions. Kanaal Zuid 286 Lieren Postbus 676, 7300AR Apeldoorn. Tel: +31 (0)88 186 02 00 auteursrechten VolkerWessels Telecom. Netwerk Solutions, nadruk verboden			

Bijlage 6

Statische berekeningen masttypen

W2H400+5 (mast 132) en

W2H400A+10 (mast 133)

Postbus 676
7300 AR Apeldoorn
Tel: 088 - 1860200

Statische ontwerpberekening

Masttype "W2H400(+5)"

Tracé Vijfhuizen – Beverwijk

en

Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk

Revisie	Datum	Samensteller	Gecontroleerd
00	30 - 07 - 12	ing. Miko Hakhverdian	
01 – afmeting voetplaat gewijzigd	6 - 12 - 12	ing. Miko Hakhverdian	
02-detailberekening toegevoegd	22 - 33 - 13	ing. Miko Hakhverdian	
03-Mast nummer tracé VHZ-BWK toegevoegd	15 - 05 - 13	ing. Miko Hakhverdian	
04- Mast nummers verwijderd	07 - 02 - 14	ing. Miko Hakhverdian	<i>RV 7-2-14</i>

Inhoudsopgave.

	blz.
1.0 Uitgangspunten berekening	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Toegepaste normen	4
1.3 Randvoorwaarden	4
1.4 Constructie onderdelen	4
1.5 Toegepaste materiaal	5
1.6 Belastingen	6
2.0 Berekening masttype "W2H400(+5)"	7
2.1 Overzicht mast	8
2.2 Mast gegevens	9
2.3 Computerschema	11
3.0 Berekening Belastingen	12
3.1 Berekening stuwdruk	13
3.2 Berekening eigenfrequentie mast	14
3.3 Berekening bouwwerkfactor $C_s C_d$	16
3.4 Bepaling krachtcoëfficiënt C_f	17
3.5 Gewicht en horizontale belasting geleiders	18
3.6 Gewicht en windbelasting mastlichaam	19
3.7 Berekende belastingen	20
4.0 Resultaat berekeningen	23
4.1 Berekening verplaatsingen in SLS- toestand (belasting gevallen)	23
4.2 Maximale verplaatsingen in SLS- toestand	29
4.3 Toetsing maximale verplaatsingen	30
4.4 Berekening Krachten in ULS- toestand (belasting gevallen)	31
4.5 Maximale Krachten in ULS- toestand	37
4.6 Toetsing doorsnede	38
5.0 Berekening ankers, bouten en flensverbindingen	41
6.0 Controleberekening vortex shedding	44
7.0 Fundatie belastingen	52
8.0 Betonspanning onder voetplaat en instorting	53
9.0 Detailberekening	55

	blz.
9.1 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV	55
9.1.1 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV op 52m hoogte	56
9.1.2 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV op 42m hoogte	66
9.1.3 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV op 32m hoogte	71
9.2 Berekening draagarm bliksemdraad	76
9.2.1 Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast	78
9.2.2 Berekening clip bliksemdraad (clip 5.4)	79
9.3 Berekening draagarm " Retourstroomgeleider "	82
9.3.1 Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast	87
9.3.2 Berekening clip " Retourstroomgeleider "	88
9.4 Berekening Clip 17 - t.b.v. installatie geleiders (op 0,5m hoogte)	90
9.4.1 Controle capaciteit van de aansluiting	92
9.5 Berekening clip hulprail - clip 8	93
9.5.1 Controle capaciteit van de aansluiting	95
9.6 Ondersteuning hijsbalk op de top van de mast	97
9.7 Berekening versterking deur	100

Bijlage: KEMA rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 V10.0 - bijlage N, N1 en N2

1.0 - Uitgangspunten berekening.

1.1 - Inleiding.

In dit rapport wordt in opdracht van TenneT de statische ontwerpberekening van het masttype W2H400(+5) van het project "R380 Wintrack hoogspanningslijn" Noordring , tracé Beverwijk – Vijfhuizen & Vijfhuizen – Bleiswijk gepresenteerd.

1.2 – Toegepaste normen.

De berekening is gebaseerd op de volgende normen:

- NEN-EN 50341-1 – Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – Deel 1: Algemene eisen – Gemeenschappelijke specificaties, uitgave november 2001.
- NEN-EN 50341-3 – Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – Deel 3: Verzameling van nationale normatieve aspecten, uitgave november 2001 en correctieblad mei 2006.
- NEN-EN 1990 - Grondslagen van het constructief ontwerp, uitgave december 2007 (+NB).
- NEN-EN 1991 – Algemene belastingen, uitgave december 2007 (+NB)
- NEN-EN 1991-1-4 - Algemene belastingen – Windbelasting, uitgave december 2007.
- NEN-EN 1993-1-1 - Ontwerp en berekenen van staalconstructies, uitgave december 2007(+NB).
- NEN-EN 1993-1-8 - Ontwerp en berekenen van verbindingen, uitgave december 2007 (+NB).
- NEN-EN 1993-3-1 – Torens, maten en schoorstenen, uitgave juli 2007.
- NEN 2063 – Op vermoeiing belaste constructies- Het berekenen van gelaste verbindingen in ongelegeerd en zwakgelegeerd staal t/m S355.

De belastingopgave is volgens KEMA rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 V10.0 "Design Loads for Wintrack II – R380 BEV-VHZ & VHZ-BEV" 18 november 2013.

Voor het masttype W2H400(+5) zijn de bijlage N en N1 (berekening maststerkte) en bijlage N2 (berekening verplaatsingen) van het KEMA rapport van toepassing.

1.3 – Randvoorwaarden.

Volgens Eurocode 3, deel 3-1 wordt de constructie ingedeeld in ontwerp levensduurklasse 3, gevolgklasse CC3 en referentieperiode 50 jaar. Mast bevindt zich in het gebied (windgebied II – onbebouwd) dat de terreincategorie II is van toepassing.

In de bruikbaarheidsgrenstoestand (SLS- toestand) dient voldaan te worden aan de volgende randvoorwaarden:

- De maximale horizontale uitbuiging mag niet groter zijn dan 5,5% van de hoogte van de mast.
- De relatieve verplaatsing van mast mag niet groter zijn dan 1% van de hoogte van de mast.

1.4 – Constructieonderdelen.

A - Mast constructie.

De mast is een buismast met een totale hoogte van 62,0 meter. De basis diameter van de mast is 2,567 meter en verloopt conisch tot de top van de mast naar een diameter van 0,5 meter. De mast is opgebouwd uit drie segmenten. De segmenten zijn 19,95 meter, 22,80 meter en 19,25 meter lang. Deze segmenten worden door middel van een binnenflensaansluiting aan elkaar verbonden.

De mast is voorzien van een klimvoorziening aan de binnenkant van de mast.

B - Fundatie.

De berekening van de fundatie en draagkracht van de grond valt buiten deze berekening. Aan de hand van locatiegegevens en grondmechanisch onderzoek dient de fundatie van de mast alsnog te worden berekend.

1.5 – Toegepaste materialen.

A - Mastconstructie.

De materiaalkwaliteit is S355 ($f_{y;d} = 355 \text{ N/mm}^2$, $f_{t;d} = 510 \text{ N/mm}^2$), tenzij anders vermeld.

B - Bouten en moeren.

De toegepaste bouten zijn kwaliteit 10.9. De ankers zijn kwaliteit 8.8.

Alle bouten en moeren zijn thermisch verzinkt, ISO-passend en gerolde draad.

C - Lassen in de primaire constructie.

Alle lassen zijn voorbewerkte $\frac{1}{2}$ V las met een tegen las, klasse K35 of een voorbewerkte X las klasse K45. De lasdetails worden door de fabrikant opgegeven.

1.6 - Belastingen.

A – Geleiders (bliksemdraad, fasedraden en retourstroomgeleider) en isolatoren,

De belastingopgave is volgens KEMA rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 V10.0 “Design Loads for Wintrack II – R380 BEV-VHZ & VHZ-BEV” 18 november 2013.

Voor het masttype W2H400(+5) zijn de bijlage N en N1 (berekening maststerkte) en bijlage N2 (berekening verplaatsingen) van het KEMA rapport van toepassing.

In de bovengenoemde bijlagen zijn de krachten inclusief de belastingfactoren volgens NEN-EN 50341-3-15 paragraaf 4.2, tabel 4.2.11/NL.1 voor de ULS- toestand (Ultimate limit state), tabel 4.2.11/NL.3 voor de SPLS- toestand (Special limit state) en tabel 4.2.11/NL.4 voor de SLS-toestand (Serviceability limit state) aangegeven.

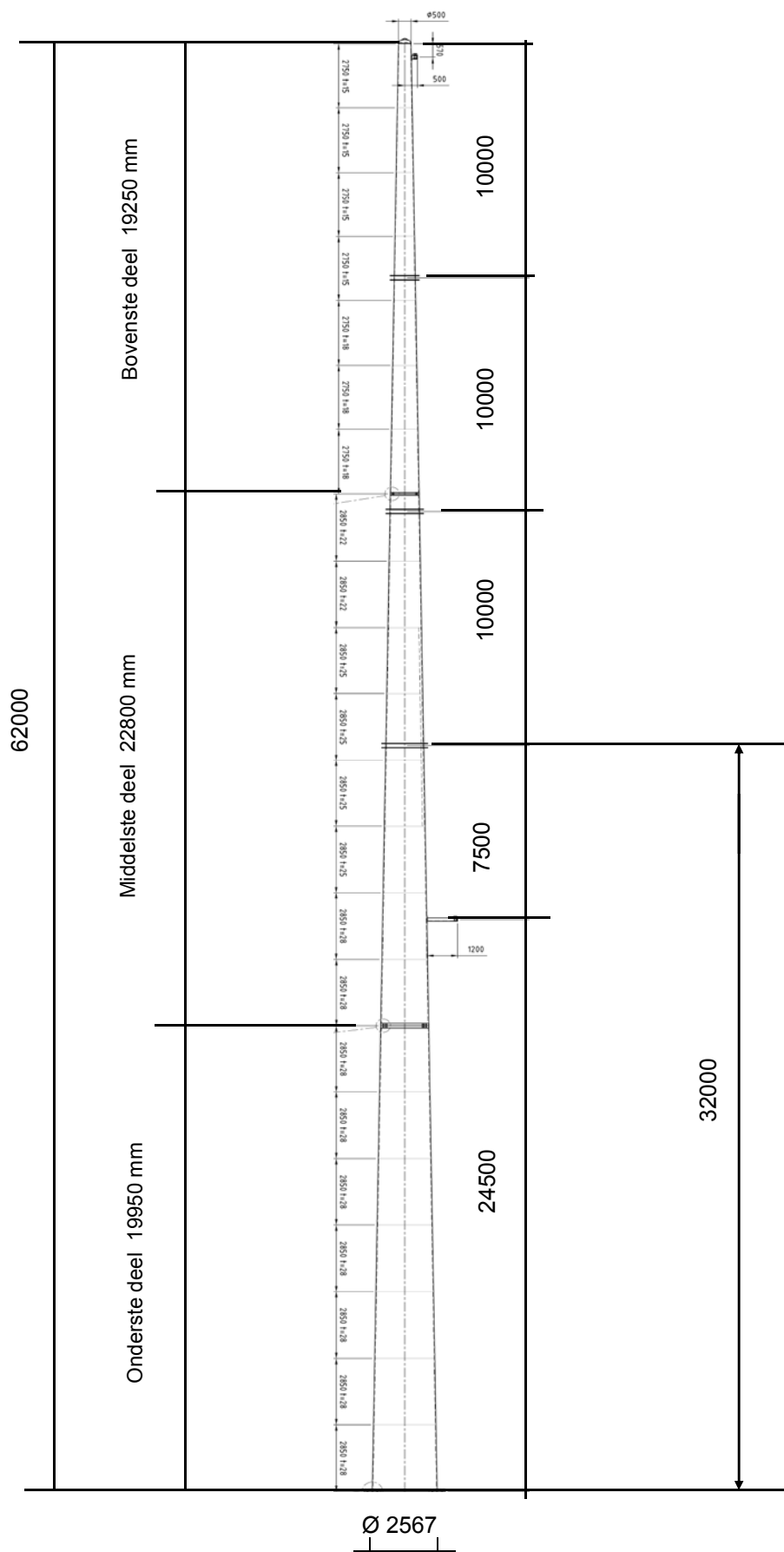
B – Mastlichaam

Het gewicht van de mast is een centrisk en gelijkmatig verdeelde belasting. Deze wordt gecombineerd met het gewicht van de geleiders en isolatoren. De belastingfactoren voor het eigengewicht zijn volgens NEN-EN 50341-3-15 en NEN-EN 1993-3-1, $\gamma_g = 1,2$ voor de ULS-toestand en $\gamma_g = 1,0$ voor de SLS- toestand.

De windbelasting van het mastlichaam is een horizontaal verdeelde belasting over de hele hoogte. Gezien het feit dat het windoppervlak van het mastlichaam in alle richtingen gelijk is, wordt deze eenmaal berekend en gecombineerd met de belasting van de geleiders in de verschillende windrichtingen. De belastingfactoren voor de windbelasting van het mastlichaam zijn volgens NEN-EN 1993-3-1, $\gamma_q = 1,6$ voor de ULS- toestand en $\gamma_q = 1,0$ voor de SLS-toestand.

2.0 - Berekening masttype "W2H400(+5)"**Berekening****W2H400+5****62,0 m - 2567 - 500****Tracé Beverwijk - Vijfhuizen****en****Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk**

2.1 - Overzicht mast



2.2 - Mast gegevens

Buismast type W2H400(+5)

Voet van de mast op : 0,00 meter

Wind gebied : II - onbebouwd

aantal staven 27

gem. breedte (m) 1,534

staaf nummer	staaf lengte mm	voet-breedte mm	top-breedte mm	diagonalen	aantal knopen	aantal staven	gem. hoogte m
1	570	519	500	n.v.t.	2	1	61,72
2	2180	592	519	n.v.t.	2	1	60,34
3	2750	683	592	n.v.t.	2	1	57,88
4	2750	775	683	n.v.t.	2	1	55,13
5	1750	833	775	n.v.t.	2	1	52,88
6	1000	867	833	n.v.t.	2	1	51,50
7	2750	958	867	n.v.t.	2	1	49,63
8	2750	1050	958	n.v.t.	2	1	46,88
9	2750	1142	1050	n.v.t.	2	1	44,13
10	750	1167	1142	n.v.t.	2	1	42,38
11	2100	1237	1167	n.v.t.	2	1	40,95
12	2850	1332	1237	n.v.t.	2	1	38,48
13	2850	1427	1332	n.v.t.	2	1	35,63
14	2200	1500	1427	n.v.t.	2	1	33,10
15	650	1522	1500	n.v.t.	2	1	31,68
16	2850	1617	1522	n.v.t.	2	1	29,93
17	2850	1712	1617	n.v.t.	2	1	27,08
18	1150	1750	1712	n.v.t.	2	1	25,08
19	1700	1807	1750	n.v.t.	2	1	23,65
20	2850	1902	1807	n.v.t.	2	1	21,38
21	2850	1997	1902	n.v.t.	2	1	18,53
22	2850	2092	1997	n.v.t.	2	1	15,68
23	2850	2187	2092	n.v.t.	2	1	12,83
24	2850	2282	2187	n.v.t.	2	1	9,98
25	2850	2377	2282	n.v.t.	2	1	7,13
26	2850	2472	2377	n.v.t.	2	1	4,28
27	2850	2567	2472	n.v.t.	2	1	1,43
62000					28	27	

Profielgegevens

profielgegevens buisprofiel - Staal kwaliteit : S 355							
staaf	D _{gem} (mm)	t (mm)	A (mm ²)	m(kg/m)	I (mm ⁴)	i (mm)	W _b (mm ³)
1	510	15,0	23303	182,93	7,13E+08	174,91	2,80E+06
2	555	15,0	25463	199,88	9,30E+08	191,11	3,35E+06
3	638	15,0	29336	230,28	1,42E+09	220,16	4,46E+06
4	729	15,0	33656	264,20	2,15E+09	252,56	5,89E+06
5	804	15,0	37191	291,95	2,90E+09	279,08	7,20E+06
6	850	15,0	39351	308,91	3,43E+09	295,28	8,07E+06
7	913	18,0	50587	397,10	5,06E+09	316,34	1,11E+07
8	1004	18,0	55771	437,80	6,78E+09	348,75	1,35E+07
9	1096	18,0	60955	478,50	8,86E+09	381,16	1,62E+07
10	1154	22,0	78257	614,32	1,25E+10	400,39	2,17E+07
11	1202	22,0	81541	640,09	1,42E+10	417,19	2,36E+07
12	1284	22,0	87243	684,86	1,74E+10	446,36	2,71E+07
13	1379	25,0	106367	834,98	2,44E+10	478,90	3,54E+07
14	1463	25,0	112979	886,88	2,92E+10	508,66	3,99E+07
15	1511	25,0	116710	916,17	3,22E+10	525,45	4,27E+07
16	1569	25,0	121292	952,14	3,62E+10	546,08	4,61E+07
17	1664	25,0	128755	1010,72	4,33E+10	579,67	5,20E+07
18	1731	28,0	149807	1175,98	5,43E+10	602,19	6,28E+07
19	1779	28,0	153985	1208,79	5,90E+10	618,99	6,63E+07
20	1854	28,0	160657	1261,16	6,70E+10	645,80	7,23E+07
21	1949	28,0	169015	1326,77	7,80E+10	679,39	8,00E+07
22	2044	28,0	177373	1392,38	9,02E+10	712,98	8,82E+07
23	2139	28,0	185731	1457,99	1,04E+11	746,57	9,68E+07
24	2234	28,0	194089	1523,60	1,18E+11	780,16	1,06E+08
25	2329	28,0	202447	1589,21	1,34E+11	813,75	1,15E+08
26	2424	28,0	210805	1654,82	1,51E+11	847,34	1,25E+08
27	2519	28,0	219163	1720,43	1,70E+11	880,93	1,35E+08

Elasticiteitsmodulus E-	N/mm ²	210000
Vloeigrens f _y	N/mm ²	355
Volumieke massa	kg/m ³	7850

2.3 - Computerschema

knoop nummer	knoop cord. "Z" - in mm	staaf i -- j	benaming staven	L _{staaf} mm	A _{eff} mm ²	I _x of I _y mm ⁴
1	62000	1 -- 2	1	570	2,33E+04	7,13E+08
2	61430	2 -- 3	2	2180	2,55E+04	9,30E+08
3	59250	3 -- 4	3	2750	2,93E+04	1,42E+09
4	56500	4 -- 5	4	2750	3,37E+04	2,15E+09
5	53750	5 -- 6	5	1750	3,72E+04	2,90E+09
6	52000	6 -- 7	6	1000	3,94E+04	3,43E+09
7	51000	7 -- 8	7	2750	5,06E+04	5,06E+09
8	48250	8 -- 9	8	2750	5,58E+04	6,78E+09
9	45500	9 -- 10	9	2750	6,10E+04	8,86E+09
10	42750	10 -- 11	10	750	7,83E+04	1,25E+10
11	42000	11 -- 12	11	2100	8,15E+04	1,42E+10
12	39900	12 -- 13	12	2850	8,72E+04	1,74E+10
13	37050	13 -- 14	13	2850	1,06E+05	2,44E+10
14	34200	14 -- 15	14	2200	1,13E+05	2,92E+10
15	32000	15 -- 16	15	650	1,17E+05	3,22E+10
16	31350	16 -- 17	16	2850	1,21E+05	3,62E+10
17	28500	17 -- 18	17	2850	1,29E+05	4,33E+10
18	25650	18 -- 19	18	1150	1,50E+05	5,43E+10
19	24500	19 -- 20	19	1700	1,54E+05	5,90E+10
20	22800	20 -- 21	20	2850	1,61E+05	6,70E+10
21	19950	21 -- 22	21	2850	1,69E+05	7,80E+10
22	17100	22 -- 23	22	2850	1,77E+05	9,02E+10
23	14250	23 -- 24	23	2850	1,86E+05	1,04E+11
24	11400	24 -- 25	24	2850	1,94E+05	1,18E+11
25	8550	25 -- 26	25	2850	2,02E+05	1,34E+11
26	5700	26 -- 27	26	2850	2,11E+05	1,51E+11
27	2850	27 -- 28	27	2850	2,19E+05	1,70E+11
28	0				0,00E+00	0,00E+00

3.0 - Berekening belastingen

3.1 - Berekening stuwdruk

Algemene gegevens:

Wind gebied :	II - onbebouwd	
Basiswindsnelheid $V_{b,0}$ =	27	m/s
Terreincategorie :	II - Onbebouwd gebied	
Richtingsfactor C_{dir} =	1,0	
Seizoensfactor C_{season} =	1,0	
Orografiefactor $C_o(z)$ =	1,0	
Veiligheidsklaas	2	
Volumieke massa van lucht; ρ =	1,25	kg/m ³
z_0 =	0,200	m
z_{min} =	4,0	m

$$\text{Gemiddelde windsnelheid } V_m(z) = (V_{b,0} * C_{dir} * C_{season}) * c_r(z)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\{z / z_0\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{voor } z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \ln\{z_0 / z_{0,II}\}^{0,07} \quad z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Extreme stuwdruk } q_p(z) = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho * V_m^2(z)$$

$$I_v(z) = k_I / \{c_o(z) * \ln(z / z_0)\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad ; \quad k_I = 1,0$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{voor } z \leq z_{min}$$

Sectie	hoogte z m	kr	$c_r(z)$	$V_m(z)$ m/s	$I_v(z)$	$q_p(z)$ N/m ²
1	61,72	0,21	1,20	32,40	0,17	1457
2	60,34	0,21	1,20	32,27	0,18	1449
3	57,88	0,21	1,19	32,04	0,18	1434
4	55,13	0,21	1,18	31,76	0,18	1416
5	52,88	0,21	1,17	31,53	0,18	1401
6	51,50	0,21	1,16	31,38	0,18	1391
7	49,63	0,21	1,15	31,17	0,18	1378
8	46,88	0,21	1,14	30,85	0,18	1358
9	44,13	0,21	1,13	30,50	0,19	1336
10	42,38	0,21	1,12	30,28	0,19	1322
11	40,95	0,21	1,11	30,08	0,19	1310
12	38,48	0,21	1,10	29,73	0,19	1288
13	35,63	0,21	1,09	29,30	0,19	1261
14	33,10	0,21	1,07	28,88	0,20	1236
15	31,68	0,21	1,06	28,63	0,20	1220
16	29,93	0,21	1,05	28,31	0,20	1201
17	27,08	0,21	1,03	27,74	0,20	1167
18	25,08	0,21	1,01	27,31	0,21	1142
19	23,65	0,21	1,00	26,98	0,21	1122
20	21,38	0,21	0,98	26,41	0,21	1089
21	18,53	0,21	0,95	25,60	0,22	1043
22	15,68	0,21	0,91	24,65	0,23	990
23	12,83	0,21	0,87	23,52	0,24	927
24	9,98	0,21	0,82	22,10	0,26	852
25	7,13	0,21	0,75	20,20	0,28	754
26	4,28	0,21	0,64	17,31	0,33	615
27	1,43	0,21	0,63	16,93	0,33	598

3.2 - Berekening eigenfrequentie mast en meewerkende massa

Verplaatsing van de mast t.g.v e.g mast en toplast

knoop nummer	staaf nummer	gewicht mast N	gewicht flenzen+ ge- leiders-N	dwarskr. kN	moment kNm	hoekver.φ rad.	verpl. δ mm
1	1 -- 2	1128	400	0,40	0,00	2,28E-02	816,69
2	2 -- 3	4684	3710	5,24	0,55	2,28E-02	803,68
3	3 -- 4	6745		9,92	17,07	2,27E-02	754,01
4	4 -- 5	7678		16,67	53,64	2,24E-02	691,86
5	5 -- 6	5372		24,35	110,03	2,19E-02	630,82
6	6 -- 7	3239	29694	59,41	157,34	2,15E-02	592,76
7	7 -- 8	11333		62,65	218,37	2,13E-02	571,34
8	8 -- 9	12452		73,98	406,24	2,05E-02	513,80
9	9 -- 10	13571		86,44	626,81	1,95E-02	458,74
10	10 -- 11	4720	4425	104,43	883,17	1,84E-02	406,58
11	11 -- 12	13757	30138	139,29	963,26	1,81E-02	392,89
12	12 -- 13	19946		153,05	1270,22	1,73E-02	355,64
13	13 -- 14	24224		172,99	1734,82	1,62E-02	307,82
14	14 -- 15	19841		197,22	2262,36	1,51E-02	263,27
15	15 -- 16	6053	30582	247,64	2718,06	1,42E-02	231,11
16	16 -- 17	27564		253,69	2881,00	1,39E-02	221,99
17	17 -- 18	29233		281,26	3643,30	1,27E-02	184,07
18	18 -- 19	13696		310,49	4486,53	1,14E-02	149,71
19	19 -- 20	20804	7694	331,88	4851,47	1,09E-02	136,87
20	20 -- 21	36371		352,68	5433,35	1,02E-02	118,88
21	21 -- 22	38240	20997	410,05	6490,32	9,02E-03	91,41
22	22 -- 23	40110		448,29	7713,46	7,78E-03	67,42
23	23 -- 24	41980		488,40	9048,24	6,52E-03	46,99
24	24 -- 25	43850		530,38	10500,00	5,24E-03	30,18
25	25 -- 26	45720		574,23	12074,08	3,95E-03	17,04
26	26 -- 27	47590		619,95	13775,79	2,64E-03	7,61
27	27 -- 28	49460		667,54	15610,46	1,32E-03	1,92
28			40090	757,09	17583,43	0,00E+00	0,00

Voor de berekening van de eigenfrequentie is de Rayleigh-Ritz methode toegepast.

Bij benadering kan eigenfrequentie bepaald worden door alle massa's m_i van het dynamische model dezelfde versnelling g in de richting van de beweging te geven en vervolgens eigen-trillingsvorm te berekenen onder invloed van krachten $F_i = m_i * g$

De eigenfrequentie van de eerste trillingsvorm kan berekend worden door:

$$n_{1,x} = 1 / 2\pi * \{ g * \sum m_i * \delta_i / \sum m_i * \delta_i^2 \}^{0,5}$$

m_i : de geconcentreerde massa in kg.

δ_i : de verplaatsing van het punt (i) in meter

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - versnelling van de zwaartekracht

knoop nummer	staaf nummer	gewicht mast N	gewicht flenzen+ ge- leiders-kg	verpl. δ m	$g \sum m_i \cdot \delta_i$	$\sum m_i \cdot \delta_i^2$
1	1 -- 2	112,8	40,0	0,817	1217,14	100,733
2	2 -- 3	468,4	371,0	0,804	6504,17	523,791
3	3 -- 4	674,5		0,754	4783,79	352,536
4	4 -- 5	767,8		0,692	4981,29	335,813
5	5 -- 6	537,2		0,631	3223,84	201,051
6	6 -- 7	323,9	2969,4	0,593	19116,23	1153,060
7	7 -- 8	1133,3		0,571	6032,04	333,619
8	8 -- 9	1245,2		0,514	5940,01	294,439
9	9 -- 10	1357,1		0,459	5760,19	254,047
10	10 -- 11	472,0	442,5	0,407	3615,64	148,561
11	11 -- 12	1375,7	3013,8	0,393	16666,87	657,924
12	12 -- 13	1994,6		0,356	6491,01	219,497
13	13 -- 14	2422,4		0,308	6785,87	197,523
14	14 -- 15	1984,1		0,263	4811,45	121,239
15	15 -- 16	605,3	3058,2	0,231	8278,56	194,405
16	16 -- 17	2756,4		0,222	5489,90	113,620
17	17 -- 18	2923,3		0,184	4785,97	81,419
18	18 -- 19	1369,6		0,150	1925,21	28,120
19	19 -- 20	2080,4	769,4	0,137	3642,79	48,430
20	20 -- 21	3637,1		0,119	3751,48	40,208
21	21 -- 22	3824,0	2099,7	0,091	4862,01	41,662
22	22 -- 23	4011,0		0,067	2250,87	13,125
23	23 -- 24	4198,0		0,047	1588,90	6,249
24	24 -- 25	4385,0		0,030	1015,50	2,444
25	25 -- 26	4572,0		0,017	552,74	0,694
26	26 -- 27	4759,0		0,008	222,53	0,108
27	27 -- 28	4946,0		0,002	46,66	0,005
28			4009,0	0,000	0,00	0,000
				Som	134343	5464

$$n_{1,x} = 1 / 2\pi * \{ g * \sum m_i * \delta_i / \sum m_i * \delta_i^2 \}^{0,5}$$

$n_{1,x}$	=	0,79	Hz
-----------	---	------	----

Meewerkende massa

$m_{i,e}$ is de equivalente massa m_e per lengte eenheid, in kg/m, gewogen naar de trillingsvorm :

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) * \phi_i^2(s) ds}{\int_0^l \phi_i^2(s) ds}$$

staaf nummer	massa m kg/m	ϕ_i	s m	$\phi_i^2 * (s)$	$\phi_i^2 * (s) * m$	$\phi_i * (s)$
1 -- 2	919	0,992	0,570	0,56	515,51	0,57
2 -- 3	215	0,954	2,180	1,98	426,04	2,08
3 -- 4	245	0,885	2,750	2,15	528,56	2,43
4 -- 5	279	0,810	2,750	1,80	503,48	2,23
5 -- 6	2004	0,749	1,750	0,98	1967,74	1,31
6 -- 7	324	0,713	1,000	0,51	164,52	0,71
7 -- 8	412	0,664	2,750	1,21	500,20	1,83
8 -- 9	453	0,595	2,750	0,97	441,45	1,64
9 -- 10	654	0,530	2,750	0,77	505,08	1,46
10 -- 11	4648	0,489	0,750	0,18	835,10	0,37
11 -- 12	655	0,458	2,100	0,44	288,92	0,96
12 -- 13	700	0,406	2,850	0,47	329,09	1,16
13 -- 14	850	0,350	2,850	0,35	296,15	1,00
14 -- 15	2292	0,303	2,200	0,20	461,94	0,67
15 -- 16	931	0,277	0,650	0,05	46,58	0,18
16 -- 17	967	0,249	2,850	0,18	170,35	0,71
17 -- 18	1026	0,204	2,850	0,12	122,07	0,58
18 -- 19	1860	0,175	1,150	0,04	65,84	0,20
19 -- 20	1224	0,157	1,700	0,04	51,00	0,27
20 -- 21	2013	0,129	2,850	0,05	95,09	0,37
21 -- 22	1342	0,097	2,850	0,03	36,16	0,28
22 -- 23	1407	0,070	2,850	0,01	19,68	0,20
23 -- 24	1473	0,047	2,850	0,01	9,37	0,13
24 -- 25	1539	0,029	2,850	0,00	3,66	0,08
25 -- 26	1604	0,015	2,850	0,00	1,04	0,04
26 -- 27	1670	0,006	2,850	0,00	0,16	0,02
27 -- 28	3142	0,001	2,850	0,00	0,01	0,00
		Σ	62,00	13,11	8384,80	21,46

$$m_e = 8384,8 / 13,1 = 639,4 \text{ kg/m}$$

3.3 - Berekening bouwwerkfactor $c_s c_d$

Eurocode 1- 4 : 6.3.1 - Procedure volgens bijlage C

$$c_s c_d = 1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * (B^2 + R^2)^{0,5} / (1 + 7 * I_v(z_s))$$

$$n = n_{1,x} = 0,79 \quad \text{Hz}$$

$$b = 1,53 \quad \text{m}$$

$$h = 62,00 \quad \text{m}$$

$$z_s = h_0 + 0,6 * h = 37,20 \quad \text{m}$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 * \ln(z_0) = 0,59$$

$$\text{De referentiehoogte } z_t = 200 \quad \text{m}$$

$$\text{De referentielengteschaal } L_t = 300 \quad \text{m}$$

$$L(z) = L_t * (z / z_t)^\alpha = 111,30$$

$$B^2 = 1 / \{1 + 1,5 * [(b/L(z_s))^2 + (h/L(z_s))^2 + (b * h / L(z_s) * L(z_s))^2]^{0,5}\}$$

$$B^2 = 0,54$$

$$\delta_s = 0,012 \quad (\text{buis mast})$$

$$\delta_a = c_f * \rho * b * v_m(z_s) / (2 * n_1 * m_e) = 0,067$$

$$\delta_d = 0 \quad \text{nvt, geen dempinstallatie}$$

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,079$$

$$v_m(z_s) = 29,54 \quad \text{m/s}$$

$$v_m(z) = 32,43 \quad \text{m/s}$$

$$I_v(z_s) = 0,19$$

$$S_L(z, n) = 6,8 * f_L(z, n) / \{1 + 10,2 * f_L(z, n)\}^{5/3} = 0,07$$

$$f_L(z, n) = n * L(z) / v_m(z) = 2,71$$

$$c_y = c_z = 11,5$$

$$\phi_y = c_y * b * n / V_m(z_s) = 0,47$$

$$\phi_z = c_y * h * n / V_m(z_s) = 19,05$$

$$G_y = 0,5$$

$$G_z = 0,28$$

$$K_s(n) = 1 / \{1 + [(G_y * \phi_y)_2 + G_z * \phi_z]^2 + (2 * G_y * \phi_y * G_z * \phi_z / \pi)^2\}^{0,5}$$

$$K_s(n) = 0,16$$

$$R^2 = 0,67$$

$$T = 600 \quad \text{s}$$

$$v = n_{1,x} * (R^2 / (B^2 + R^2))^{0,5} = 0,59 \quad \text{Hz}$$

$$k_p = \{2 * \ln(v * T)\}^{0,5} + 0,6 / \{(2 * \ln(v * T))^{0,5}\} = 3,60$$

$$c_s c_d = 1,08$$

3.4 - Bepaling krachtcoëfficiënt C_f

$$C_f = C_{f,0} * \psi_\lambda \quad \text{doorsnede : Cirkelvormige doorsnede}$$

$$R_e = b * v(z_e) / \nu \quad ; \quad v(z_e) = \{ 2 * q_p / \rho \}^{0,5}$$

b is de diameter

ν is de kinematische viscositeit van de lucht $\nu = 15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$C_{f,0} = 1,2 + [(0,18 * \log(10*k/b)) / (1 + 0,4 * \log(R_e / 10^6))]$$

k = 0,20 (gegalvaniseerd staal)

ψ_λ conform EN-1991-1-4 - 7,13

member number	$v(z_e)$ m/s	R_e	$C_{f,0}$	ψ_λ	C_f
1	48,3	1,64E+06	0,80	0,81	0,65
2	48,2	1,78E+06	0,80	0,81	0,65
3	47,9	2,04E+06	0,80	0,81	0,65
4	47,6	2,31E+06	0,80	0,81	0,65
5	47,3	2,54E+06	0,80	0,81	0,65
6	47,2	2,67E+06	0,80	0,81	0,65
7	47,0	2,86E+06	0,80	0,81	0,65
8	46,6	3,12E+06	0,79	0,81	0,65
9	46,2	3,38E+06	0,79	0,81	0,64
10	46,0	3,54E+06	0,79	0,81	0,64
11	45,8	3,67E+06	0,79	0,81	0,64
12	45,4	3,89E+06	0,79	0,81	0,64
13	44,9	4,13E+06	0,79	0,81	0,64
14	44,5	4,34E+06	0,79	0,81	0,64
15	44,2	4,45E+06	0,79	0,81	0,64
16	43,8	4,59E+06	0,79	0,81	0,64
17	43,2	4,80E+06	0,79	0,81	0,64
18	42,7	4,93E+06	0,79	0,81	0,64
19	42,4	5,02E+06	0,79	0,81	0,64
20	41,7	5,16E+06	0,78	0,81	0,64
21	40,8	5,31E+06	0,78	0,81	0,64
22	39,8	5,42E+06	0,78	0,81	0,63
23	38,5	5,49E+06	0,78	0,81	0,63
24	36,9	5,50E+06	0,78	0,81	0,63
25	34,7	5,40E+06	0,77	0,81	0,63
26	31,4	5,07E+06	0,77	0,81	0,62
27	30,9	5,20E+06	0,77	0,81	0,62

3.5 - Gewicht, windoppervlak en windlast per staaf.

Gewicht (verticale belasting) bliksem en fase draden

	opstel hoogte m	aantal	gewicht / ophanging N	gewicht bevestiging N	totaal gewicht N
Bliksem	61,43	1	} Vlg. KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-00138 V10.0 (18 - 11 - 2013) Appendix - N, N1 en N2		
1e traverse - 380C1F1	52,00	1			
2e traverse - 380C1F2	42,00	1			
3e traverse - 380C1F3	32,00	1			
Retourstroomgeleider	24,50	1			
				Σ Gew (kg)	0

Excentriciteit ophanging t.o.v hart mast

	opstel hoogte m	excet. in m
Bliksem	61,43	0,760
1e traverse - 380C1F1	52,00	0,000
2e traverse - 380C1F2	42,00	0,000
3e traverse - 380C1F3	32,00	0,000
Retourstroomgeleider	24,50	2,075

Windlast (horizontale belasting) bliksem en fase draden

	opstel hoogte m	aantal	F _{hor} ophanging N	F _{hor} bevestiging N	totaal F _{hor.} N
Bliksem	61,43	1	} Vlg. KEMA rapport		
1e traverse - 380C1F1	52,00	1			
2e traverse - 380C1F2	42,00	1			
3e traverse - 380C1F3	32,00	1			
Retourstroomgeleider	24,50	1			

3.6 - Gewicht en windbelasting van het mastlichaam

$$F_{\text{wind}} = q_p(z) * C_s C_d * A$$

staaf nummer	gewicht staven in N.	gewicht kab/ladder in N.	totaal gewicht in N.	windopp. staven in m².	windopp. ladder in m².	windlast in N	windlast in kN/m'.
1	1043	86	1128	0,189	0,068	404	0,709
2	4357	327	4684	0,787	0,262	1637	0,751
3	6333	413	6745	1,138	0,330	2267	0,824
4	7266	413	7678	1,299	0,330	2485	0,904
5	5109	263	5372	0,911	0,210	1691	0,966
6	3089	150	3239	0,550	0,120	1004	1,004
7	10920	413	11333	1,621	0,330	2896	1,053
8	12040	413	12452	1,781	0,330	3088	1,123
9	13159	413	13571	1,941	0,330	3269	1,189
10	4607	113	4720	0,557	0,090	921	1,229
11	13442	315	13757	1,623	0,252	2646	1,260
12	19519	428	19946	2,352	0,342	3737	1,311
13	23797	428	24224	2,523	0,342	3891	1,365
14	19511	330	19841	2,064	0,264	3098	1,408
15	5955	98	6053	0,629	0,078	930	1,430
16	27136	428	27564	2,863	0,342	4146	1,455
17	28806	428	29233	3,032	0,342	4242	1,488
18	13524	173	13696	1,271	0,138	1733	1,507
19	20549	255	20804	1,929	0,204	2578	1,517
20	35943	428	36371	3,367	0,342	4351	1,527
21	37813	428	38240	3,533	0,342	4353	1,527
22	39683	428	40110	3,698	0,342	4306	1,511
23	41553	428	41980	3,859	0,342	4197	1,473
24	43423	428	43850	4,018	0,342	4000	1,404
25	45292	428	45720	4,169	0,342	3666	1,286
26	47162	428	47590	4,305	0,342	3081	1,081
27	49032	428	49460	4,469	0,342	3099	1,087
	580063	9300	589363	inkl. C _t	inkl. C _t	Σ F _{mast} =	77717

Gewicht ladder = 15 kg / m'

Windoppervlak ladder = 0,12 m² / m'

3.7 - Berekende belastingen

1 - Eigen gewichten (Ultimate limit state)

knoop nummer	staaf i--j	eg mast inc. Ladder in N/m'	eg draden BG - 1a in N	eg draden BG - 1b in N	eg draden BG - 3 in N	eg draden BG - 4 in N
1	1 -- 2	2375	480	480	480	480
2	2 -- 3	2579	4452	4450	18488	5956
3	3 -- 4	2943				
4	4 -- 5	3350				
5	5 -- 6	3683				
6	6 -- 7	3887	35640	35620	60300	41654
7	7 -- 8	4945				
8	8 -- 9	5434				
9	9 -- 10	5922				
10	10 -- 11	7552	5309	5309	5309	5309
11	11 -- 12	7861	36172	36152	60832	42186
12	12 -- 13	8398				
13	13 -- 14	10200				
14	14 -- 15	10823				
15	15 -- 16	11174	36703	36685	61365	42719
16	16 -- 17	11606				
17	17 -- 18	12309				
18	18 -- 19	14292				
19	19 -- 20	14685	9234	9230	37352	12244
20	20 -- 21	15314				
21	21 -- 22	16101	25196	25196	25196	25196
22	22 -- 23	16889				
23	23 -- 24	17676				
24	24 -- 25	18463				
25	25 -- 26	19251				
26	26 -- 27	20038				
27	27 -- 28	20825				
28			48108	48108	48108	48108

KEMA rapport - bijlage N - windhoek 90 graden

eg flenzen + ringen * γ_g ($\gamma_g = 1,2$)

eg mast * γ_g ($\gamma_g = 1,2$)

Berekende gewichten voor voetplaat, flenzen en ringen

Voetplaat : rond 3180 / 1900 , t = 100 mm ; G = 4009 kg

Flenzen op 19,95m : 2 * rond 1903 / 1385 , t = 100 mm ; G = 2100 kg

Flenzen op 42,75m : 2 * rond 1142 / 840 , t = 60 mm ; G = 442 kg

Topplaat / Hijsplaat + kap : rond 500 / 300 , t = 30 mm ; G = 40 kg

Bevestigingsringen op 52m : 2 * rond 1103 / 833 , t = 20 mm ; G = 129 kg

Bevestigingsringen op 42m : 2 * rond 1437 / 1167 , t = 20 mm ; G = 173 kg

Bevestigingsringen op 27m : 2 * rond 1770 / 1500 , t = 20 mm ; G = 218 kg

2 - Horizontale belasting (Serviceability limit state)

knoop nummer	staaf i--j	wind belasting mast in N/m'	hor. Bel. draden BG - 1a in N	hor. Bel. draden BG - 1b in N	hor. Bel. draden BG - 3 in N	hor. Bel. draden BG - 4 in N
1	1 -- 2	709				
2	2 -- 3	751	30124	17972	49018	19140
3	3 -- 4	824				
4	4 -- 5	904				
5	5 -- 6	966				
6	6 -- 7	1004	188346	134720	193882	131344
7	7 -- 8	1053				
8	8 -- 9	1123				
9	9 -- 10	1189				
10	10 -- 11	1229				
11	11 -- 12	1260	180120	133816	190890	130514
12	12 -- 13	1311				
13	13 -- 14	1365				
14	14 -- 15	1408				
15	15 -- 16	1430	169778	132702	187214	129488
16	16 -- 17	1455				
17	17 -- 18	1488				
18	18 -- 19	1507				
19	19 -- 20	1517	48330	35300	91506	37994
20	20 -- 21	1527				
21	21 -- 22	1527				
22	22 -- 23	1511				
23	23 -- 24	1473				
24	24 -- 25	1404				
25	25 -- 26	1286				
26	26 -- 27	1081				
27	27 -- 28	1087				
28						

KEMA rapport - bijlage N2 - windhoek 90 graden

wind mast * γ_q ($\gamma_q = 1,0$)

3 - Horizontale belasting (Ultimate limit state)

knoop nummer	staaf i--j	wind belasting mast in N/m'	hor. Bel. draden BG - 1a in N	hor. Bel. draden BG - 1b in N	hor. Bel. draden BG - 3 in N	hor. Bel. draden BG - 4 in N
1	1 -- 2	1134				
2	2 -- 3	1201	40858	21496	64900	23680
3	3 -- 4	1319				
4	4 -- 5	1446				
5	5 -- 6	1546				
6	6 -- 7	1606	249960	158060	246154	158668
7	7 -- 8	1685				
8	8 -- 9	1796				
9	9 -- 10	1902				
10	10 -- 11	1966				
11	11 -- 12	2016	237744	156606	241614	157360
12	12 -- 13	2098				
13	13 -- 14	2184				
14	14 -- 15	2253				
15	15 -- 16	2288	222234	154820	236024	155744
16	16 -- 17	2328				
17	17 -- 18	2382				
18	18 -- 19	2411				
19	19 -- 20	2427	63902	41552	120024	46474
20	20 -- 21	2443				
21	21 -- 22	2444				
22	22 -- 23	2418				
23	23 -- 24	2356				
24	24 -- 25	2246				
25	25 -- 26	2058				
26	26 -- 27	1729				
27	27 -- 28	1740				
28						

KEMA rapport - bijlage N - windhoek 90 graden

wind mast * γ_q ($\gamma_q = 1,6$)

4.0 - Resultaat berekeningen

4.1 - Berekenen verplaatsingen in SLS-toestand (Serviceability limit state)

A - Wind belasting mastlichaam (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2	404		0	0,00E+00	3,69E-03	123
2	2 -- 3	1637		404	1,26E+05	3,69E-03	120
3	3 -- 4	2267		2041	2,87E+06	3,68E-03	112
4	4 -- 5	2485		4308	1,18E+07	3,61E-03	102
5	5 -- 6	1691		6793	2,73E+07	3,50E-03	93
6	6 -- 7	1004		8484	4,10E+07	3,40E-03	87
7	7 -- 8	2896		9488	5,02E+07	3,34E-03	83
8	8 -- 9	3088		12384	8,09E+07	3,17E-03	74
9	9 -- 10	3269		15472	1,20E+08	2,98E-03	66
10	10 -- 11	921		18741	1,68E+08	2,77E-03	58
11	11 -- 12	2646		19662	1,82E+08	2,72E-03	56
12	12 -- 13	3737		22308	2,27E+08	2,58E-03	50
13	13 -- 14	3891		26045	2,97E+08	2,37E-03	43
14	14 -- 15	3098		29936	3,79E+08	2,19E-03	37
15	15 -- 16	930		33034	4,49E+08	2,04E-03	32
16	16 -- 17	4146		33964	4,71E+08	1,99E-03	31
17	17 -- 18	4242		38110	5,75E+08	1,80E-03	25
18	18 -- 19	1733		42352	6,91E+08	1,60E-03	20
19	19 -- 20	2578		44085	7,42E+08	1,53E-03	19
20	20 -- 21	4351		46663	8,20E+08	1,42E-03	16
21	21 -- 22	4353		51014	9,60E+08	1,24E-03	12
22	22 -- 23	4306		55367	1,11E+09	1,06E-03	9
23	23 -- 24	4197		59673	1,28E+09	8,80E-04	6
24	24 -- 25	4000		63871	1,46E+09	7,01E-04	4
25	25 -- 26	3666		67871	1,64E+09	5,24E-04	2
26	26 -- 27	3081		71537	1,84E+09	3,47E-04	1
27	27 -- 28	3099		74618	2,05E+09	1,72E-04	0
28				77717	2,27E+09	0,00E+00	0

B - Horizontale belasting - belastinggeval 1a (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	5,03E-02	1662
2	2 -- 3		30124	30124	1,48E+05	5,03E-02	1634
3	3 -- 4			30124	6,69E+07	4,99E-02	1524
4	4 -- 5			30124	1,52E+08	4,89E-02	1388
5	5 -- 6			30124	2,38E+08	4,78E-02	1255
6	6 -- 7		188346	218470	2,96E+08	4,70E-02	1172
7	7 -- 8			218470	5,17E+08	4,64E-02	1125
8	8 -- 9			218470	1,13E+09	4,43E-02	1000
9	9 -- 10			218470	1,74E+09	4,16E-02	882
10	10 -- 11			218470	2,35E+09	3,86E-02	771
11	11 -- 12		180120	398590	2,52E+09	3,79E-02	743
12	12 -- 13			398590	3,37E+09	3,58E-02	665
13	13 -- 14			398590	4,52E+09	3,27E-02	567
14	14 -- 15			398590	5,67E+09	2,99E-02	478
15	15 -- 16		169778	568368	6,56E+09	2,77E-02	414
16	16 -- 17			568368	6,94E+09	2,71E-02	397
17	17 -- 18			568368	8,58E+09	2,42E-02	323
18	18 -- 19			568368	1,02E+10	2,12E-02	259
19	19 -- 20		48330	616698	1,09E+10	2,01E-02	235
20	20 -- 21			616698	1,19E+10	1,86E-02	202
21	21 -- 22			616698	1,37E+10	1,60E-02	153
22	22 -- 23			616698	1,55E+10	1,34E-02	111
23	23 -- 24			616698	1,73E+10	1,10E-02	76
24	24 -- 25			616698	1,90E+10	8,60E-03	48
25	25 -- 26			616698	2,08E+10	6,31E-03	27
26	26 -- 27			616698	2,26E+10	4,12E-03	12
27	27 -- 28			616698	2,43E+10	2,01E-03	3
28	28 -- 29			616698	2,61E+10	0,00E+00	0

C - Horizontale belasting - belastinggeval 1b (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	3,53E-02	1188
2	2 -- 3		17972	17972	1,04E+05	3,53E-02	1168
3	3 -- 4			17972	4,00E+07	3,51E-02	1091
4	4 -- 5			17972	9,10E+07	3,45E-02	995
5	5 -- 6			17972	1,43E+08	3,37E-02	901
6	6 -- 7		134720	152692	1,78E+08	3,33E-02	843
7	7 -- 8			152692	3,32E+08	3,29E-02	809
8	8 -- 9			152692	7,59E+08	3,15E-02	721
9	9 -- 10			152692	1,19E+09	2,97E-02	636
10	10 -- 11			152692	1,61E+09	2,76E-02	557
11	11 -- 12		133816	286508	1,73E+09	2,71E-02	537
12	12 -- 13			286508	2,34E+09	2,57E-02	481
13	13 -- 14			286508	3,17E+09	2,36E-02	411
14	14 -- 15			286508	4,00E+09	2,16E-02	347
15	15 -- 16		132702	419210	4,64E+09	2,00E-02	301
16	16 -- 17			419210	4,92E+09	1,96E-02	288
17	17 -- 18			419210	6,13E+09	1,75E-02	235
18	18 -- 19			419210	7,33E+09	1,54E-02	188
19	19 -- 20		35300	454510	7,82E+09	1,46E-02	171
20	20 -- 21			454510	8,60E+09	1,35E-02	147
21	21 -- 22			454510	9,91E+09	1,16E-02	111
22	22 -- 23			454510	1,12E+10	9,78E-03	81
23	23 -- 24			454510	1,25E+10	7,99E-03	55
24	24 -- 25			454510	1,38E+10	6,26E-03	35
25	25 -- 26			454510	1,51E+10	4,60E-03	19
26	26 -- 27			454510	1,64E+10	3,00E-03	9
27	27 -- 28			454510	1,77E+10	1,47E-03	2
28				454510	1,90E+10	0,00E+00	0

D - Horizontale belasting - belastinggeval 3 (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	5,93E-02	1896
2	2 -- 3		49018	49018	1,75E+05	5,93E-02	1862
3	3 -- 4			49018	1,08E+08	5,87E-02	1733
4	4 -- 5			49018	2,46E+08	5,71E-02	1574
5	5 -- 6			49018	3,84E+08	5,52E-02	1419
6	6 -- 7		193882	242900	4,76E+08	5,40E-02	1324
7	7 -- 8			242900	7,22E+08	5,31E-02	1270
8	8 -- 9			242900	1,40E+09	5,04E-02	1127
9	9 -- 10			242900	2,08E+09	4,70E-02	993
10	10 -- 11			242900	2,76E+09	4,35E-02	868
11	11 -- 12		190890	433790	2,95E+09	4,27E-02	836
12	12 -- 13			433790	3,87E+09	4,03E-02	749
13	13 -- 14			433790	5,13E+09	3,68E-02	639
14	14 -- 15			433790	6,38E+09	3,36E-02	538
15	15 -- 16		187214	621004	7,35E+09	3,11E-02	467
16	16 -- 17			621004	7,76E+09	3,04E-02	447
17	17 -- 18			621004	9,56E+09	2,71E-02	365
18	18 -- 19			621004	1,13E+10	2,39E-02	292
19	19 -- 20		91506	712510	1,21E+10	2,27E-02	266
20	20 -- 21			712510	1,33E+10	2,09E-02	228
21	21 -- 22			712510	1,53E+10	1,80E-02	173
22	22 -- 23			712510	1,74E+10	1,52E-02	125
23	23 -- 24			712510	1,94E+10	1,24E-02	86
24	24 -- 25			712510	2,15E+10	9,74E-03	54
25	25 -- 26			712510	2,35E+10	7,16E-03	30
26	26 -- 27			712510	2,56E+10	4,67E-03	13
27	27 -- 28			712510	2,76E+10	2,28E-03	3
28				712510	2,97E+10	0,00E+00	0

E - Horizontale belasting - belastinggeval 4 (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	3,50E-02	1172
2	2 -- 3		19140	19140	1,03E+05	3,50E-02	1152
3	3 -- 4			19140	4,26E+07	3,48E-02	1076
4	4 -- 5			19140	9,68E+07	3,41E-02	981
5	5 -- 6			19140	1,52E+08	3,34E-02	888
6	6 -- 7		131344	150484	1,89E+08	3,29E-02	830
7	7 -- 8			150484	3,41E+08	3,25E-02	798
8	8 -- 9			150484	7,61E+08	3,11E-02	710
9	9 -- 10			150484	1,18E+09	2,93E-02	627
10	10 -- 11			150484	1,60E+09	2,72E-02	549
11	11 -- 12		130514	280998	1,72E+09	2,67E-02	529
12	12 -- 13			280998	2,32E+09	2,53E-02	474
13	13 -- 14			280998	3,13E+09	2,32E-02	405
14	14 -- 15			280998	3,94E+09	2,12E-02	341
15	15 -- 16		129488	410486	4,57E+09	1,97E-02	296
16	16 -- 17			410486	4,84E+09	1,92E-02	283
17	17 -- 18			410486	6,03E+09	1,72E-02	231
18	18 -- 19			410486	7,21E+09	1,51E-02	185
19	19 -- 20		37994	448480	7,69E+09	1,44E-02	168
20	20 -- 21			448480	8,46E+09	1,33E-02	145
21	21 -- 22			448480	9,75E+09	1,14E-02	109
22	22 -- 23			448480	1,10E+10	9,63E-03	79
23	23 -- 24			448480	1,23E+10	7,87E-03	54
24	24 -- 25			448480	1,36E+10	6,17E-03	34
25	25 -- 26			448480	1,49E+10	4,53E-03	19
26	26 -- 27			448480	1,62E+10	2,95E-03	8
27	27 -- 28			448480	1,75E+10	1,45E-03	2
28				448480	1,88E+10	0,00E+00	0

F - Excentriciteit moment t.g.v. eigengewicht draden

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2				0,00E+00	1,36E-04	2
2	2 -- 3				2,82E+06	1,36E-04	2
3	3 -- 4				2,82E+06	1,04E-04	2
4	4 -- 5				2,82E+06	7,83E-05	1
5	5 -- 6				2,82E+06	6,12E-05	1
6	6 -- 7				2,82E+06	5,30E-05	1
7	7 -- 8				2,82E+06	4,91E-05	1
8	8 -- 9				2,82E+06	4,18E-05	1
9	9 -- 10				2,82E+06	3,64E-05	1
10	10 -- 11				2,82E+06	3,22E-05	1
11	11 -- 12				2,82E+06	3,14E-05	1
12	12 -- 13				2,82E+06	2,95E-05	1
13	13 -- 14				2,82E+06	2,73E-05	1
14	14 -- 15				2,82E+06	2,57E-05	0
15	15 -- 16				2,82E+06	2,47E-05	0
16	16 -- 17				2,82E+06	2,44E-05	0
17	17 -- 18				2,82E+06	2,33E-05	0
18	18 -- 19				2,82E+06	2,25E-05	0
19	19 -- 20				1,88E+07	2,22E-05	0
20	20 -- 21				1,88E+07	1,96E-05	0
21	21 -- 22				1,88E+07	1,58E-05	0
22	22 -- 23				1,88E+07	1,25E-05	0
23	23 -- 24				1,88E+07	9,71E-06	0
24	24 -- 25				1,88E+07	7,24E-06	0
25	25 -- 26				1,88E+07	5,08E-06	0
26	26 -- 27				1,88E+07	3,18E-06	0
27	27 -- 28				1,88E+07	1,50E-06	0
28					1,88E+07	0,00E+00	0

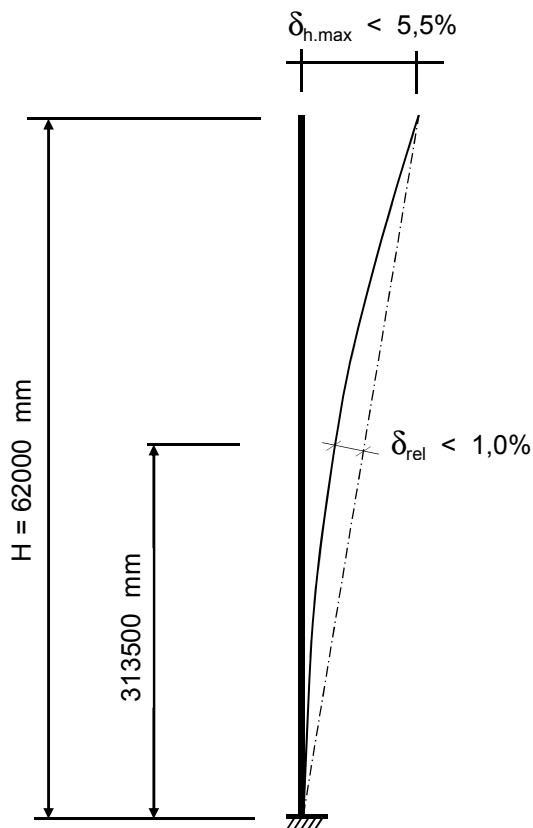
4.2 - Maximale horizontale verplaatsingen in SLS-toestand

Maatgevende combinatie - Serviceability limit state:

Eigengewicht conductors, insulators	$Q_k =$	1,00
Windbelasting mastlichaam	$Q_{wk} =$	0,30
Belasting geval 1a	$Q_{wk} =$	0,00
Belasting geval 1b	$Q_{wk} =$	0,00
Belasting geval 3	$Q_{ik} =$	1,00
Belasting geval 4	$Q_{pk} =$	0,00

knoop nummer	staaf i--j	hoekver. ϕ radian	verpl. δ_{hor} mm
1	1 -- 2	6,1E-02	1935
2	2 -- 3	6,1E-02	1900
3	3 -- 4	6,0E-02	1768
4	4 -- 5	5,8E-02	1606
5	5 -- 6	5,6E-02	1448
6	6 -- 7	5,5E-02	1351
7	7 -- 8	5,4E-02	1296
8	8 -- 9	5,1E-02	1150
9	9 -- 10	4,8E-02	1013
10	10 -- 11	4,4E-02	886
11	11 -- 12	4,4E-02	853
12	12 -- 13	4,1E-02	764
13	13 -- 14	3,7E-02	652
14	14 -- 15	3,4E-02	550
15	15 -- 16	3,2E-02	477
16	16 -- 17	3,1E-02	457
17	17 -- 18	2,8E-02	373
18	18 -- 19	2,4E-02	299
19	19 -- 20	2,3E-02	271
20	20 -- 21	2,1E-02	233
21	21 -- 22	1,8E-02	177
22	22 -- 23	1,6E-02	128
23	23 -- 24	1,3E-02	88
24	24 -- 25	1,0E-02	56
25	25 -- 26	7,3E-03	31
26	26 -- 27	4,8E-03	14
27	27 -- 28	2,3E-03	3
28	28 -- 29	0,0E+00	0

4.3 - Toetsing maximale horizontale verplaatsingen



Controle verplaatsingen

$$\delta_h = 1935 \text{ mm} \rightarrow \delta_h * 100 / 62000$$

Percentage uitbuig. = 3,12 % voldoet , max verpl. < 5,5 %

max. relatieve verplaatsing mast, t.p.v knoop x :

$$\delta_{rel} = [\{ \delta_{hor} * (\text{hoogte knoop x}) / (\text{totale hoogte}) \} - \delta_{knoop x}] * \cos \alpha$$

$$\text{Knoop } 16 ; \text{ Hoogte } = 31350 \text{ mm}$$

$$\delta_{knoop x} = 457 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1,79 \text{ graden}$$

$$\delta_{rel} = 521 \text{ mm} \rightarrow \delta_h * 100 / 62000$$

Percentage uitbuig. = 0,84 % voldoet , max verpl. < 1 %

De maximale verplaatsing voldoet aan stijfheidseisen volgen NEN -EN 50341-3 (november 2001) .

4.4 - Berekening krachten in ULS-toestand - (Ultimate limit state)

A - Wind belasting mastlichaam

knoop nummer	staaf i-j	$Q_{last,hor}$ N	normaalkr. N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2	606	480	0	0,00E+00	5,82E-03	193
2	2 -- 3	2455	6286	647	1,84E+05	5,82E-03	190
3	3 -- 4	3401	11907	3266	4,45E+06	5,80E-03	177
4	4 -- 5	3728	20002	6893	1,84E+07	5,70E-03	162
5	5 -- 6	2537	29215	10869	4,28E+07	5,52E-03	146
6	6 -- 7	1505	71301	13575	6,42E+07	5,36E-03	137
7	7 -- 8	4344	75188	15181	7,86E+07	5,27E-03	131
8	8 -- 9	4632	88787	19814	1,27E+08	5,00E-03	117
9	9 -- 10	4904	103729	24755	1,88E+08	4,70E-03	104
10	10 -- 11	1382	125324	29985	2,63E+08	4,37E-03	91
11	11 -- 12	3969	167161	31460	2,86E+08	4,29E-03	88
12	12 -- 13	5605	183669	35693	3,57E+08	4,06E-03	79
13	13 -- 14	5837	207604	41672	4,67E+08	3,74E-03	68
14	14 -- 15	4647	236674	47897	5,95E+08	3,45E-03	58
15	15 -- 16	1394	297186	52854	7,06E+08	3,22E-03	51
16	16 -- 17	6219	304450	54342	7,40E+08	3,15E-03	48
17	17 -- 18	6363	337526	60976	9,05E+08	2,84E-03	40
18	18 -- 19	2599	372606	67763	1,09E+09	2,53E-03	32
19	19 -- 20	3868	398275	70535	1,17E+09	2,41E-03	29
20	20 -- 21	6527	423240	74661	1,29E+09	2,24E-03	25
21	21 -- 22	6529	492081	81623	1,51E+09	1,96E-03	19
22	22 -- 23	6460	537969	88587	1,76E+09	1,68E-03	14
23	23 -- 24	6296	586102	95477	2,02E+09	1,39E-03	10
24	24 -- 25	6000	636478	102193	2,30E+09	1,11E-03	6
25	25 -- 26	5499	689098	108594	2,60E+09	8,29E-04	4
26	26 -- 27	4621	743962	114460	2,92E+09	5,50E-04	2
27	27 -- 28	4649	801070	119389	3,25E+09	2,73E-04	0
28			908529	124347	3,60E+09	0,00E+00	0

B - Horizontale belasting - belastinggeval 1a

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	6,60E-02	2175
2	2 -- 3		40858	40858	0,00E+00	6,60E-02	2138
3	3 -- 4			40858	8,91E+07	6,55E-02	1994
4	4 -- 5			40858	2,01E+08	6,41E-02	1816
5	5 -- 6			40858	3,14E+08	6,25E-02	1642
6	6 -- 7		249960	290818	3,85E+08	6,15E-02	1533
7	7 -- 8			290818	6,76E+08	6,08E-02	1472
8	8 -- 9			290818	1,48E+09	5,80E-02	1308
9	9 -- 10			290818	2,28E+09	5,44E-02	1153
10	10 -- 11			290818	3,08E+09	5,04E-02	1009
11	11 -- 12		237744	528562	3,29E+09	4,95E-02	971
12	12 -- 13			528562	4,40E+09	4,68E-02	870
13	13 -- 14			528562	5,91E+09	4,28E-02	742
14	14 -- 15			528562	7,42E+09	3,91E-02	625
15	15 -- 16		222234	750796	8,58E+09	3,62E-02	542
16	16 -- 17			750796	9,07E+09	3,54E-02	519
17	17 -- 18			750796	1,12E+10	3,16E-02	423
18	18 -- 19			750796	1,33E+10	2,77E-02	338
19	19 -- 20		63902	814698	1,42E+10	2,63E-02	307
20	20 -- 21			814698	1,56E+10	2,43E-02	264
21	21 -- 22			814698	1,79E+10	2,09E-02	200
22	22 -- 23			814698	2,02E+10	1,76E-02	145
23	23 -- 24			814698	2,26E+10	1,44E-02	99
24	24 -- 25			814698	2,49E+10	1,12E-02	63
25	25 -- 26			814698	2,72E+10	8,26E-03	35
26	26 -- 27			814698	2,95E+10	5,39E-03	15
27	27 -- 28			814698	3,18E+10	2,63E-03	4
28				814698	3,42E+10	0,00E+00	0

C - Horizontale belasting - belastinggeval 1b

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	4,09E-02	1375
2	2 -- 3		21496	21496	0,00E+00	4,09E-02	1352
3	3 -- 4			21496	4,69E+07	4,06E-02	1263
4	4 -- 5			21496	1,06E+08	3,99E-02	1152
5	5 -- 6			21496	1,65E+08	3,91E-02	1044
6	6 -- 7		158060	179556	2,03E+08	3,85E-02	976
7	7 -- 8			179556	3,82E+08	3,81E-02	937
8	8 -- 9			179556	8,76E+08	3,65E-02	834
9	9 -- 10			179556	1,37E+09	3,43E-02	737
10	10 -- 11			179556	1,86E+09	3,20E-02	645
11	11 -- 12		156606	336162	2,00E+09	3,14E-02	622
12	12 -- 13			336162	2,70E+09	2,97E-02	557
13	13 -- 14			336162	3,66E+09	2,73E-02	476
14	14 -- 15			336162	4,62E+09	2,50E-02	401
15	15 -- 16		154820	490982	5,36E+09	2,32E-02	348
16	16 -- 17			490982	5,68E+09	2,26E-02	334
17	17 -- 18			490982	7,08E+09	2,02E-02	272
18	18 -- 19			490982	8,48E+09	1,78E-02	218
19	19 -- 20		41552	532534	9,04E+09	1,69E-02	198
20	20 -- 21			532534	9,95E+09	1,56E-02	170
21	21 -- 22			532534	1,15E+10	1,35E-02	129
22	22 -- 23			532534	1,30E+10	1,13E-02	93
23	23 -- 24			532534	1,45E+10	9,26E-03	64
24	24 -- 25			532534	1,60E+10	7,26E-03	40
25	25 -- 26			532534	1,75E+10	5,33E-03	22
26	26 -- 27			532534	1,91E+10	3,48E-03	10
27	27 -- 28			532534	2,06E+10	1,70E-03	2
28				532534	2,21E+10	0,00E+00	0

D - Horizontale belasting - belastinggeval 3

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	7,51E-02	2392
2	2 -- 3		64900	64900	0,00E+00	7,51E-02	2349
3	3 -- 4			64900	1,41E+08	7,43E-02	2186
4	4 -- 5			64900	3,20E+08	7,22E-02	1984
5	5 -- 6			64900	4,98E+08	6,97E-02	1789
6	6 -- 7		246154	311054	6,12E+08	6,81E-02	1668
7	7 -- 8			311054	9,23E+08	6,71E-02	1600
8	8 -- 9			311054	1,78E+09	6,36E-02	1420
9	9 -- 10			311054	2,63E+09	5,93E-02	1251
10	10 -- 11			311054	3,49E+09	5,48E-02	1094
11	11 -- 12		241614	552668	3,72E+09	5,38E-02	1053
12	12 -- 13			552668	4,88E+09	5,07E-02	943
13	13 -- 14			552668	6,46E+09	4,63E-02	805
14	14 -- 15			552668	8,03E+09	4,23E-02	678
15	15 -- 16		236024	788692	9,25E+09	3,92E-02	589
16	16 -- 17			788692	9,76E+09	3,83E-02	564
17	17 -- 18			788692	1,20E+10	3,42E-02	460
18	18 -- 19			788692	1,43E+10	3,01E-02	368
19	19 -- 20		120024	908716	1,52E+10	2,86E-02	335
20	20 -- 21			908716	1,67E+10	2,64E-02	288
21	21 -- 22			908716	1,93E+10	2,27E-02	218
22	22 -- 23			908716	2,19E+10	1,92E-02	158
23	23 -- 24			908716	2,45E+10	1,57E-02	108
24	24 -- 25			908716	2,71E+10	1,23E-02	68
25	25 -- 26			908716	2,97E+10	9,02E-03	38
26	26 -- 27			908716	3,22E+10	5,89E-03	17
27	27 -- 28			908716	3,48E+10	2,88E-03	4
28				908716	3,74E+10	0,00E+00	0

E - Horizontale belasting - belastinggeval 4

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	4,18E-02	1399
2	2 -- 3		23680	23680	0,00E+00	4,18E-02	1376
3	3 -- 4			23680	5,16E+07	4,16E-02	1285
4	4 -- 5			23680	1,17E+08	4,08E-02	1171
5	5 -- 6			23680	1,82E+08	3,99E-02	1060
6	6 -- 7		158668	182348	2,23E+08	3,93E-02	991
7	7 -- 8			182348	4,06E+08	3,88E-02	952
8	8 -- 9			182348	9,07E+08	3,71E-02	847
9	9 -- 10			182348	1,41E+09	3,49E-02	748
10	10 -- 11			182348	1,91E+09	3,25E-02	655
11	11 -- 12		157360	339708	2,05E+09	3,19E-02	631
12	12 -- 13			339708	2,76E+09	3,02E-02	566
13	13 -- 14			339708	3,73E+09	2,77E-02	483
14	14 -- 15			339708	4,70E+09	2,53E-02	407
15	15 -- 16		155744	495452	5,44E+09	2,35E-02	354
16	16 -- 17			495452	5,77E+09	2,30E-02	338
17	17 -- 18			495452	7,18E+09	2,05E-02	276
18	18 -- 19			495452	8,59E+09	1,81E-02	221
19	19 -- 20		46474	541926	9,16E+09	1,72E-02	201
20	20 -- 21			541926	1,01E+10	1,59E-02	173
21	21 -- 22			541926	1,16E+10	1,37E-02	131
22	22 -- 23			541926	1,32E+10	1,15E-02	95
23	23 -- 24			541926	1,47E+10	9,40E-03	65
24	24 -- 25			541926	1,63E+10	7,37E-03	41
25	25 -- 26			541926	1,78E+10	5,41E-03	23
26	26 -- 27			541926	1,93E+10	3,53E-03	10
27	27 -- 28			541926	2,09E+10	1,73E-03	2
28				541926	2,24E+10	0,00E+00	0

F - Excentriciteit moment t.g.v. eigengewicht draden

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2				0,00E+00	1,63E-04	2
2	2 -- 3				3,38E+06	1,63E-04	2
3	3 -- 4				3,38E+06	1,25E-04	2
4	4 -- 5				3,38E+06	9,40E-05	2
5	5 -- 6				3,38E+06	7,34E-05	1
6	6 -- 7				3,38E+06	6,37E-05	1
7	7 -- 8				3,38E+06	5,90E-05	1
8	8 -- 9				3,38E+06	5,02E-05	1
9	9 -- 10				3,38E+06	4,37E-05	1
10	10 -- 11				3,38E+06	3,87E-05	1
11	11 -- 12				3,38E+06	3,77E-05	1
12	12 -- 13				3,38E+06	3,53E-05	1
13	13 -- 14				3,38E+06	3,27E-05	1
14	14 -- 15				3,38E+06	3,08E-05	1
15	15 -- 16				3,38E+06	2,96E-05	0
16	16 -- 17				3,38E+06	2,93E-05	0
17	17 -- 18				3,38E+06	2,80E-05	0
18	18 -- 19				3,38E+06	2,70E-05	0
19	19 -- 20				2,25E+07	2,66E-05	0
20	20 -- 21				2,25E+07	2,35E-05	0
21	21 -- 22				2,25E+07	1,90E-05	0
22	22 -- 23				2,25E+07	1,50E-05	0
23	23 -- 24				2,25E+07	1,16E-05	0
24	24 -- 25				2,25E+07	8,69E-06	0
25	25 -- 26				2,25E+07	6,10E-06	0
26	26 -- 27				2,25E+07	3,82E-06	0
27	27 -- 28				2,25E+07	1,80E-06	0
28					2,25E+07	0,00E+00	0

4.5 - Maximale krachten in ULS-toestand

Eigengewicht conductors, insulators	$Q_k =$	1,20	1,20
Eigengewicht mast	$Q_k =$	1,20	1,20
Windbelasting mastlichaam	$Q_{wk} =$	1,60	0,45
Belasting geval 1a	$Q_{wk} =$	1,50	0,00
Belasting geval 1b	$Q_{wk} =$	0,00	0,00
Belasting geval 3	$Q_{ik} =$	0,00	1,50
Belasting geval 4	$Q_{pk} =$	0,00	0,00

knoop nummer	staaf i-j	normaal kr. kN	dwars kr. kN	moment kNm
1	1 -- 2	0,48	0,00	0,00
2	2 -- 3	20,32	65,08	14,09
3	3 -- 4	25,94	65,82	156,77
4	4 -- 5	34,04	66,84	339,18
5	5 -- 6	43,25	67,96	524,52
6	6 -- 7	110,00	314,87	644,11
7	7 -- 8	113,88	315,32	959,21
8	8 -- 9	127,48	316,63	1828,14
9	9 -- 10	142,43	318,02	2700,78
10	10 -- 11	164,02	320,80	3577,34
11	11 -- 12	230,52	561,52	3817,11
12	12 -- 13	247,02	564,25	4997,55
13	13 -- 14	270,96	570,23	6603,66
14	14 -- 15	300,03	576,46	8214,66
15	15 -- 16	385,20	803,65	9461,70
16	16 -- 17	392,47	805,14	9984,15
17	17 -- 18	425,54	811,77	12278,14
18	18 -- 19	460,62	818,56	14577,51
19	19 -- 20	514,41	928,55	15584,38
20	20 -- 21	539,38	929,71	17163,90
21	21 -- 22	608,22	931,67	19816,38
22	22 -- 23	654,11	933,63	22474,44
23	23 -- 24	702,24	935,57	25138,05
24	24 -- 25	752,61	937,46	27807,11
25	25 -- 26	805,23	939,26	30481,43
26	26 -- 27	860,10	940,91	33160,67
27	27 -- 28	917,21	942,29	35844,23
28		1024,67	943,69	38531,76

)** - Maatgevende belastingcombinatie voor alle staven

4.6 - Toetsing van de doorsnede

Elasticiteitsmodulus E-	N/mm ²	210000	
Vloeigrens f _y	N/mm ²	355	Voor wanddikte t < 40
Vloeigrens f _y	N/mm ²	335	Voor wanddikte t >= 40

A- Controle buigspanning

Toetsingregel :

$$N_{Ed} / N_{Rd} + M_{y,Ed} / M_{y,Rd} \leq 1$$

waarin: $M_{y,Ed} = M_{1,y,Ed} + \sum N_{Ed,i} * \delta_{rel,i}$

$M_{1,y,Ed}$ = buigende moment uit komputer

$N_{Ed,i}$ = normaal kracht uit komputer uitvoer ter plaatse knoop i

$\delta_{rel,i}$ = maximale horizontale verplaatsing t.p.v. knoop i = $\delta_{i,max} - \delta_{j,max}$

$$M_{y,el,Rd} = W_{y,el} * f_y ; N_{Rd} = A * f_y$$

staaf nummer	profiel D _{voet} - D _{top} mm	moment M _{1,y,Ed} kNm	drukkracht N _{c,Rd} kN	rel.verpl. δ _{rel.} mm	M _{y,Ed} in kNm	M _{y,el,Rd} in kNm	toetsings- regel
1	500 / 867	14,09	20,32	35	14,8	1032,6	0,02
2	500 / 867	156,77	25,94	132	160,9	1356,5	0,12
3	500 / 867	339,18	34,04	163	348,8	1828,2	0,19
4	500 / 867	524,52	43,25	158	541,0	2370,1	0,23
5	500 / 867	644,11	110,00	97	671,3	2751,6	0,25
6	500 / 867	959,21	113,88	55	992,6	2982,4	0,34
7	867 / 1142	1828,14	127,48	146	1880,1	4356,6	0,44
8	867 / 1142	2700,78	142,43	137	2772,2	5255,9	0,53
9	867 / 1142	3577,34	164,02	127	3669,7	6239,6	0,60
10	1142 / 1332	3817,11	230,52	33	3917,0	7889,9	0,50
11	1142 / 1332	4997,55	247,02	89	5119,4	8893,8	0,58
12	1142 / 1332	6603,66	270,96	112	6755,9	10352,4	0,66
13	1332/ 1712	8214,66	300,03	102	8397,7	13461,7	0,63
14	1332/ 1712	9461,70	385,20	73	9672,7	14919,8	0,66
15	1332/ 1712	9984,15	392,47	20	10203,1	15365,0	0,67
16	1332/ 1712	12278,14	425,54	84	12532,8	17394,0	0,73
17	1332/ 1712	14577,51	460,62	74	14866,4	19549,0	0,77
18	1750/ 2567	15584,38	514,41	27	15887,3	22790,6	0,71
19	1750/ 2567	17163,90	539,38	38	17487,3	24327,3	0,73
20	1750/ 2567	19816,38	608,22	57	20174,3	27016,0	0,76
21	1750/ 2567	22474,44	654,11	48	22864,1	29845,7	0,78
22	1750/ 2567	25138,05	702,24	40	25556,0	32816,4	0,79
23	1750/ 2567	27807,11	752,61	32	28249,4	35928,0	0,80
24	1750/ 2567	30481,43	805,23	25	30943,6	39180,6	0,80
25	1750/ 2567	33160,67	860,10	17	33637,7	42574,2	0,80
26	1750/ 2567	35844,23	917,21	10	36330,6	46108,7	0,80
27	1750/ 2567	38531,76	1024,67	3	39021,6	49784,2	0,80

B- Controle plooistabiliteit

Toetsing regel :volgens NEN -EN 50341-3 (NEN 1060).

$$(\sigma_{N;Ed} / \sigma_{N;plooi}) + (\sigma_{MEd} / \sigma_{M;plooi}) \leq 1$$

Plooispanning t.g.v normaalkracht

Indien $d/t < 90 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = f_y$; $a_y = (f_{ref} / f_y)^{0,5}$; $f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$

Indien $90 \cdot a_y^2 < d/t < 315 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = 0,3 \cdot f_{y;d} + 14805 / (d/t)$

Plooispanning t.g.v moment

Indien $d/t < 157,5 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = f_{y;d}$

Indien $157,5 \cdot a_y^2 < d/t < 315 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = 0,6 \cdot f_{y;d} + 14805 / (d/t)$

d mm	t mm	d/t	a_y	$\sigma_{N;plooi;d}$ N/mm ²	$\sigma_{M;plooi;d}$ N/mm ²
519	15,0	34,60	0,81	355	355
592	15,0	39,45	0,81	355	355
683	15,0	45,56	0,81	355	355
775	15,0	51,67	0,81	355	355
833	15,0	55,56	0,81	355	355
867	15,0	57,78	0,81	355	355
958	18,0	53,24	0,81	355	355
1050	18,0	58,34	0,81	355	355
1142	18,0	63,43	0,81	340	355
1167	22,0	53,04	0,81	355	355
1237	22,0	56,22	0,81	355	355
1332	22,0	60,54	0,81	351	355
1427	25,0	57,07	0,81	355	355
1500	25,0	60,01	0,81	353	355
1522	25,0	60,87	0,81	350	355
1617	25,0	64,67	0,81	335	355
1712	25,0	68,47	0,81	323	355
1750	28,0	62,51	0,81	343	355
1807	28,0	64,53	0,81	336	355
1902	28,0	67,92	0,81	324	355
1997	28,0	71,32	0,81	314	355
2092	28,0	74,71	0,81	305	355
2187	28,0	78,10	0,81	296	355
2282	28,0	81,50	0,81	288	355
2377	28,0	84,89	0,81	281	355
2472	28,0	88,29	0,81	274	355
2567	28,0	91,68	0,81	268	355

staaf nummer	profiel D _{voet} - D _{top}	σ_{MEd} N/mm ²	σ_{NEd} N/mm ²	$\sigma_{M;plooi;d}$ N/mm ²	$\sigma_{N;plooi;d}$ N/mm ²	toetsings- regel
1	500 / 867	5,29	0,87	355	355	0,02
2	500 / 867	48,04	1,02	355	355	0,14
3	500 / 867	78,20	1,16	355	355	0,22
4	500 / 867	91,88	1,29	355	355	0,26
5	500 / 867	93,19	2,96	355	355	0,27
6	500 / 867	122,96	2,89	355	355	0,35
7	867 / 1142	169,46	2,52	355	355	0,48
8	867 / 1142	205,21	2,55	355	355	0,59
9	867 / 1142	227,07	2,69	355	340	0,65
10	1142 / 1332	180,19	2,95	355	355	0,52
11	1142 / 1332	216,76	3,03	355	355	0,62
12	1142 / 1332	249,59	3,11	355	351	0,71
13	1332/ 1712	237,40	2,82	355	355	0,68
14	1332/ 1712	242,13	3,41	355	353	0,69
15	1332/ 1712	239,22	3,36	355	350	0,68
16	1332/ 1712	271,89	3,51	355	335	0,78
17	1332/ 1712	285,96	3,58	355	323	0,82
18	1750/ 2567	253,12	3,43	355	343	0,72
19	1750/ 2567	263,58	3,50	355	336	0,75
20	1750/ 2567	279,17	3,79	355	324	0,80
21	1750/ 2567	285,67	3,87	355	314	0,82
22	1750/ 2567	289,73	3,96	355	305	0,83
23	1750/ 2567	291,91	4,05	355	296	0,84
24	1750/ 2567	292,65	4,15	355	288	0,84
25	1750/ 2567	292,25	4,25	355	281	0,84
26	1750/ 2567	290,98	4,35	355	274	0,84
27	1750/ 2567	289,03	4,68	355	268	0,83

5.0 - Berekening ankers, bouten en flensverbindingen

uitgangspunt: gerolde draad

bouten	A_s in mm ²	f_{ub} in N/mm ²	$F_{t,Rd}$ in kN	$F_{v,Rd}$ in kN
M 48 - 8,8	1473	800	848,45	565,63
M 48 - 10,9	1473	1000	1060,56	589,20
M 45 - 8,8	1306	800	752,26	501,50
M 45 - 10,9	1306	1000	940,32	522,40
M 42 - 8,8	1121	800	645,64	430,43
M 42 - 10,9	1121	1000	807,05	448,36
M 39 - 8,8	976	800	562,04	374,70
M 39 - 10,9	976	1000	702,55	390,31
M 39 - 12,9	976	1200	843,07	468,37
M 36 - 8,8	817	800	470,59	313,73
M 36 - 10,9	817	1000	588,24	326,80
M 33 - 8,8	694	800	399,49	266,33
M 33 - 10,9	694	1000	499,36	277,42
M 30 - 8,8	561	800	322,90	215,27
M 30 - 10,9	561	1000	403,62	224,24

Max. trekkracht in de ankers en boutverbindingen :

$$F_{Ed} = M_{y,Ed} * a / I_p - N_{Ed} / n$$

Waarin :

$M_{y,Ed}$ = max. moment t.p.v aansluiting t.g.v rekenbelasting

N_{Ed} = max. normaal kracht t.p.v aansluiting t.g.v rekenbelasting

a = max. afstand bout tot zwaartepunt boutenpatroon = diameter stc. / 2

n = aantal bouten en $I_p = \sum (I_x^2 + I_y^2) = (n / 2) * (d_{stc.} / 2)^2$

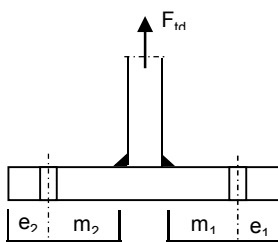
Flensverbinding met één boutrij : $I_p = (n / 2) * (d_{stc.} / 2)^2$

Flensverbinding met twee boutrij : $I_p = (n / 4) * [(d_{stc1} / 2)^2 + (d_{stc2} / 2)^2]$

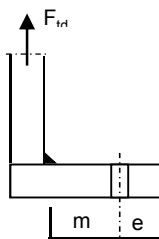
Flensverbinding met twee boutrij symmetrisch (voetplaat) :

$$I_p = (n / 2) * (d_{stc.gemiddeld.} / 2)^2$$

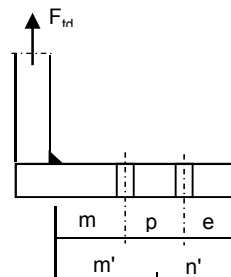
Flenzen en voetplaat:



1 -Voetplaat



2 -Flens met 1 rij bouten



3 -Flens met 2 rij bouten

1 - Voetplaat :
 $m = \max. (m_1; m_2)$
 $e = \max. (e_1; e_2)$
 $n = \min. (1,25 * m; e)$

Bezwijkvorm 1 : $F_{t,Rd} = 4 * M_{pl} / m$
 Bezwijkvorm 2 : $F_{t,Rd} = (2 * M_{pl} + n * 2 * F_{t,u;d}) / (m + n)$
 Bezwijkvorm 3 : $F_{t,Rd} = 2 * F_{t,u;d}$

2 - Flens met 1 rij bouten :
 m, n en e zoals bij voetplaat

Bezwijkvorm 1 : $F_{t,Rd} = 2 * M_{pl} / m$
 Bezwijkvorm 2 : $F_{t,Rd} = (M_{pl} + n * F_{t,u;d}) / (m + n)$
 Bezwijkvorm 3 : $F_{t,Rd} = F_{t,u;d}$

3 - Flens met 2 rij bouten :
 $m' = m + p / 2$
 $n' = n + p / 3$
 $n = \min. (1,25 * m; e)$

Bezwijkvorm 1 : $F_{t,Ed} = M_{pl} * (1 + n'/n) / m'$
 Bezwijkvorm 2 : $F_{t,Ed} = (M_{pl} + n' * F_{t,u;d}) / (m' + n')$
 Bezwijkvorm 3 : $F_{t,Ed} = 2 * F_{t,u;d}$

$M_{pl} = (1/4) * L_{eff} * t_{fl}^2 * f_y$
 $L_{eff} = \min(p ; 4 * m + 1,25 * e ; 2 * \pi * m)$

Bouten en ankers

st.c in mm	aantal bouten	$F_{t,Ed}$ kN	$F_{v,Ed}$ kN	knoop nummer	aanwezig bout	$F_{t,Rd}$ kN	toetsing- regel
Ankers							
st.c buitenkant		2927,00					
st.c binnenkant		2151,00					
2539	96	621,66	9,83	28	M 48 - 8,8	848,4	0,73
flenzen op 19,95 m hoogte.							
st.c buitenkant		1698,00					
st.c binnenkant		1500,00					
	80	647,90	11,65	22	M 48 - 10,9	1060,6	0,61
flenzen op 42,75 m hoogte.							
st.c buitenkant		955,00					
955,00	24	617,48	13,37	10	M 48 - 10,9	1060,6	0,58

Dikte voetplaat en flenzen - conform NEN - EN 1993-1-8,

Stc1	Stc2 mm	m mm	e mm	n mm	m' mm	n' mm	l _{ef} mm
voetplaat							
2927,00	2151,00	173,2	125,0	125,0			140,8
2927,00	2151,00	173,2	126,5	126,5			191,6
flenzen op 19,95 m hoogte.							
1698,00	1500,0	67,2	57,5	57,5	116,7	107	117,8
1698,00	1500,0	67,2	57,5	57,5	116,7	107	117,8
flenzen op 42,75 m hoogte.							
955,00	955,0	64,6	57,5	57,5			125,0
955,00	955,0	68,6	57,5	57,5			125,0

flens dikte mm	M _{pl;d} Nmm	bezwijk- vorm 1	bezwijk- vorm 2	bezwijk- vorm 3	maatgev. F _{t,Rd}	F _{t,Ed} kN	toetsing- regel
voetplaat							
100	1,18E+08	2722,80	1502,03	1696,90	1502,03	1243,32	0,83
100	1,60E+08	3705,09	1786,85	1696,90	1696,90	1243,32	0,73
flenzen op 19,95 m hoogte.							
100	9,87E+07	2419,63	1455,91	2121,12	1455,91	1295,80	0,89
100	9,87E+07	2419,63	1455,91	2121,12	1455,91	1295,80	0,89
flenzen op 42,75 m hoogte.							
60	3,77E+07	1166,94	808,15	1060,56	808,15	617,48	0,76
60	3,77E+07	1098,89	782,51	1060,56	782,51	617,48	0,79
Krachten in kN							

Lassen

A - Flenzen

Alle lassen: voorberekt 1/2 V- las met een tegenlas (K35 , lasdetail 301 van NEN 2063).

B - Buizen

Alle lassen: voorberekt X- las

Bij gelijke wanddikte (K50 , lasdetail 102 van NEN 2063).

Bij dikte overgang asymmetrisch (K45 , lasdetail 112 van NEN 2063).

Bouten

Alle bouten: Voorspanning 70% van de trekkracht met betrekking tot de capaciteit van de bout in de uiterste grenstoestand

6.0 - Controle berekening vortex shedding

Belasting loodrecht op windrichting (respons door wervelvorming) - Eurocode 1

De respons is bepaald volgens Eurocode 1, Deel 1 - 4 ,bijlage E

De kritische windsnelheid $v_{crit,1} = b * n_{i,y} / St$

b is de referentiebreedte van de doorsnede waarbij resonantie met de wervelvorming optreedt voor cirkelvormige cilinders is de referentiebreedte de uitwendige diameter.

St is de Strouhal getal conform E.1.3.2 ; voor cirkelcilinders $St = 0,18$

buis	$n_{1,y}$ Hz	$d_{buis;gem}$ m	St	$v_{krit,1}$ m/s
500 / 2567	0,79	1,534	0,18	6,72

Scrutongetal Sc

De Scrutongetal Sc word bepaald met:

$$Sc = 2 * \delta_s * m_{i,e} / \rho * b^2$$

ρ is de dichtheid van lucht: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

b is de referentiebreedte van de doorsnede waarbij resonantie met de wervelvorming optreedt

$$b = d_{w;gem}$$

δ_s is het logaritmische decrement van de constructieve demping

$$\delta_s = 0,030$$

Opmerking:

In Eurocode 1, Tabel F.2 is geen waarde gegeven voor de constructieve demping voor een hoogspanningsmast met een enkel buisprofiel. In de tabel wordt alleen de benaderde waarde van de constructieve demping van een stalen schoorsteen (met of zonder isolatie) aangegeven. In de NEN 1060 (Bovengrondse hoogspanningslijnen – voorloper van NEN-EN 50341) art. 9.2.6.5 wordt het logaritmisch decrement beschreven als $\delta = 2.\pi.D$. D is de dempingsmaat bij responsie loodrecht op de windrichting en is gelijk aan 0.005. Dit resulteert $\delta = 2.\pi.0.005 = 0.0314$. Deze formule is ook aangegeven in de DIN 4133 (Schornsteine aus Stahl) en als benaderde waarde van de constructieve demping van een stalen schoorsteen met 2 of 3 koppelingen is 0.025 en 0.03 aangegeven. Daarom wordt in deze berekening voor de constructieve demping 0.03 aangehouden.

$m_{i,e}$ is de equivalente massa m_e per lengte eenheid, in kg/m, gewogen naar de trillingsvorm :

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) * \phi_i^2(s) ds}{\int_0^l \phi_i^2(s) ds}$$

Zie berekening eigenfrequentie

knoop nummer	verpl. δ mm	$\phi_{i,1}$	staaf nummer	ϕ_i	gewicht mast kg	gewicht traverse kg	massa m kg/m
1	817	1,000		1,000			
2	804	0,984	1 -- 2	0,992	113	411	919,0
3	754	0,923	2 -- 3	0,954	468		214,9
4	692	0,847	3 -- 4	0,885	675		245,3
5	631	0,772	4 -- 5	0,810	768		279,2
6	593	0,726	5 -- 6	0,749	537	2969	2003,7
7	571	0,700	6 -- 7	0,713	324		323,9
8	514	0,629	7 -- 8	0,664	1133		412,1
9	459	0,562	8 -- 9	0,595	1245		452,8
10	407	0,498	9 -- 10	0,530	1357	442	654,4
11	393	0,481	10 -- 11	0,489	472	3014	4647,7
12	356	0,435	11 -- 12	0,458	1376		655,1
13	308	0,377	12 -- 13	0,406	1995		699,9
14	263	0,322	13 -- 14	0,350	2422		850,0
15	231	0,283	14 -- 15	0,303	1984	3058	2292,0
16	222	0,272	15 -- 16	0,277	605		931,2
17	184	0,225	16 -- 17	0,249	2756		967,1
18	150	0,183	17 -- 18	0,204	2923		1025,7
19	137	0,168	18 -- 19	0,175	1370	769	1860,0
20	119	0,146	19 -- 20	0,157	2080		1223,8
21	91	0,112	20 -- 21	0,129	3637	2100	2012,9
22	67	0,083	21 -- 22	0,097	3824		1341,8
23	47	0,058	22 -- 23	0,070	4011		1407,4
24	30	0,037	23 -- 24	0,047	4198		1473,0
25	17	0,021	24 -- 25	0,029	4385		1538,6
26	8	0,009	25 -- 26	0,015	4572		1604,2
27	2	0,002	26 -- 27	0,006	4759		1669,8
28	0	0,000	27 -- 28	0,001	4946	4009	3142,1

staaf nummer	massa m kg/m	ϕ_i	s m	$\phi_i^2 * (s)$	$\phi_i^2 * (s) * m$	$\phi_i * (s)$
1 -- 2	919	0,992	0,570	0,56	515,51	0,57
2 -- 3	215	0,954	2,180	1,98	426,04	2,08
3 -- 4	245	0,885	2,750	2,15	528,56	2,43
4 -- 5	279	0,810	2,750	1,80	503,48	2,23
5 -- 6	2004	0,749	1,750	0,98	1967,74	1,31
6 -- 7	324	0,713	1,000	0,51	164,52	0,71
7 -- 8	412	0,664	2,750	1,21	500,20	1,83
8 -- 9	453	0,595	2,750	0,97	441,45	1,64
9 -- 10	654	0,530	2,750	0,77	505,08	1,46
10 -- 11	4648	0,489	0,750	0,18	835,10	0,37
11 -- 12	655	0,458	2,100	0,44	288,92	0,96
12 -- 13	700	0,406	2,850	0,47	329,09	1,16
13 -- 14	850	0,350	2,850	0,35	296,15	1,00
14 -- 15	2292	0,303	2,200	0,20	461,94	0,67
15 -- 16	931	0,277	0,650	0,05	46,58	0,18
16 -- 17	967	0,249	2,850	0,18	170,35	0,71
17 -- 18	1026	0,204	2,850	0,12	122,07	0,58
18 -- 19	1860	0,175	1,150	0,04	65,84	0,20
19 -- 20	1224	0,157	1,700	0,04	51,00	0,27
20 -- 21	2013	0,129	2,850	0,05	95,09	0,37
21 -- 22	1342	0,097	2,850	0,03	36,16	0,28
22 -- 23	1407	0,070	2,850	0,01	19,68	0,20
23 -- 24	1473	0,047	2,850	0,01	9,37	0,13
24 -- 25	1539	0,029	2,850	0,00	3,66	0,08
25 -- 26	1604	0,015	2,850	0,00	1,04	0,04
26 -- 27	1670	0,006	2,850	0,00	0,16	0,02
27 -- 28	3142	0,001	2,850	0,00	0,01	0,00
		Σ	62,00	13,11	8384,80	21,46

$$m_e = 8384,8 / 13,1 = 639,4 \text{ kg/m}$$

$$Sc = 2 * \delta_s * m_{i,e} / \rho * b^2$$

buis	$m_{1,e}$ kg/m	δ_s	ρ kg/m ³	b = d _w in m	Sc
500 / 2567	639,4	0,030	1,25	1,534	13,1

Berekening van verplaatsingen

de grootste $y_{f,max}$ verplaatsing kan berekend worden met:

$$y_{F,max} / b = (1/St^2) * (1/Sc) * K * K_w * C_{lat}$$

St is de Strouhal getal = 0,18

Sc is de Scrutongetal = 13,1

K is trillingsvormfactor en is gelijk aan

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m \int_{l_i} |\phi_i(s)| ds}{4 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n \int_{l_i} \phi_i^2(s) ds}$$

Voor $i = 1$ (eerste trillingsvorm) is $m = n = 1$

$$K = 21,46 / (4 \cdot \pi \cdot 13,11) = 0,130 \quad (\text{tabel E.5})$$

C_{lat} is de laterale krachtcoëfficiënt gegeven in E.1.5/2.5

$$C_{lat} : R_e(V_{crit}) < 3 \cdot 10^5 ; C_{lat} = 0,7$$

$$5 \cdot 10^5 < R_e(V_{crit}) < 5 \cdot 10^6 ; C_{lat} = 0,2$$

$$R_e(V_{crit}) > 7 \cdot 10^7 ; C_{lat} = 0,3$$

$$R_e(V_{crit}) = b \cdot v_{crit} / \nu ;$$

ν is de kinematische viscositeit van de lucht $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$R_e(V_{crit}) = 1,534 \cdot 6,72 / 15 \cdot 10^{-6} = 6,9 \text{E}+05$$

$$C_{lat} = 0,20$$

K_w is de effectieve correlatiefactor gegeven in E.1.5.2.4

$$K_w = \frac{\sum_{i=1}^m \int_{L_j} |\phi_i(s)| ds}{\sum_{i=1}^n \int_{l_i} |\phi_i(s)| ds} \leq 0,6$$

Voor $i = 1$ (eerste trillingsvorm) is $m = n = 1$

$$L_j / b = 6$$

$$L_j = 9,20 \quad m - (\text{effectieve correlatielengte})$$

$$K_w = 8,02 / 21,46 = 0,37$$

$$y_{F,max} / b = 30,86 \cdot 0,077 \cdot 0,130 \cdot 0,37 \cdot 0,2 = 0,023$$

$$y_{F,max} = 1,534 \cdot 0,023 = 0,035 \quad m$$

$$\Delta \sigma_{dyn} = 2 \cdot C_{rd} \cdot y_{F,max}$$

De factor C_{rd} volgt uit de spanning door een opgelegde verplaatsing volgens de eerste eigentrilling.

Opgelegde verplaatsing van 1000 mm

knoop nummer	staaf i--j	q_{last} N	F_{last} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	verpl. mm
1	1 -- 2		134278	134278	0,00E+00	5,1E-02	1000
2	2 -- 3			134278	7,65E+07	5,1E-02	971
3	3 -- 4			134278	3,69E+08	4,8E-02	863
4	4 -- 5			134278	7,39E+08	4,3E-02	737
5	5 -- 6			134278	1,11E+09	3,7E-02	626
6	6 -- 7			134278	1,34E+09	3,4E-02	564
7	7 -- 8			134278	1,48E+09	3,2E-02	531
8	8 -- 9			134278	1,85E+09	2,8E-02	449
9	9 -- 10			134278	2,22E+09	2,4E-02	379
10	10 -- 11			134278	2,58E+09	2,0E-02	319
11	11 -- 12			134278	2,69E+09	1,9E-02	304
12	12 -- 13			134278	2,97E+09	1,7E-02	265
13	13 -- 14			134278	3,35E+09	1,5E-02	219
14	14 -- 15			134278	3,73E+09	1,3E-02	180
15	15 -- 16			134278	4,03E+09	1,1E-02	153
16	16 -- 17			134278	4,12E+09	1,1E-02	146
17	17 -- 18			134278	4,50E+09	9,5E-03	116
18	18 -- 19			134278	4,88E+09	8,0E-03	91
19	19 -- 20			134278	5,04E+09	7,5E-03	82
20	20 -- 21			134278	5,26E+09	6,8E-03	70
21	21 -- 22			134278	5,65E+09	5,7E-03	52
22	22 -- 23			134278	6,03E+09	4,7E-03	37
23	23 -- 24			134278	6,41E+09	3,8E-03	25
24	24 -- 25			134278	6,79E+09	2,9E-03	16
25	25 -- 26			134278	7,18E+09	2,1E-03	9
26	26 -- 27			134278	7,56E+09	1,3E-03	4
27	27 -- 28			134278	7,94E+09	6,5E-04	1
28	28 -- 29			134278	8,33E+09	0,0E+00	0

Wissel spanning

$$\Delta\sigma_{\text{dyn}} = 2 * C_{\text{rd}} * y_{\text{F,max}}$$

staaf nummer	profiel		W _{y,el} mm ³	σ _{buiging} (C _{rd}) N/mm ²	y _{F,max} m	Δσ _{dyn} MPa
	D (mm)	t (mm)				
1	519	15,0	2908675	26	0,0353	1,9
2	592	15,0	3821157	97	0,0353	6,8
3	683	15,0	5149742	143	0,0353	10,1
4	775	15,0	6676372	166	0,0353	11,7
5	833	15,0	7750979	173	0,0353	12,2
6	867	15,0	8401049	176	0,0353	12,4
7	958	18,0	12272111	150	0,0353	10,6
8	1050	18,0	14805380	150	0,0353	10,6
9	1142	18,0	17576306	147	0,0353	10,4
10	1167	22,0	22225196	121	0,0353	8,5
11	1237	22,0	25052979	118	0,0353	8,4
12	1332	22,0	29161614	115	0,0353	8,1
13	1427	25,0	37920420	98	0,0353	6,9
14	1500	25,0	42027656	96	0,0353	6,8
15	1522	25,0	43281586	95	0,0353	6,7
16	1617	25,0	48997274	92	0,0353	6,5
17	1712	25,0	55067484	89	0,0353	6,3
18	1750	28,0	64198753	78	0,0353	5,5
19	1807	28,0	68527498	77	0,0353	5,4
20	1902	28,0	76101468	74	0,0353	5,2
21	1997	28,0	84072503	72	0,0353	5,1
22	2092	28,0	92440605	69	0,0353	4,9
23	2187	28,0	101205773	67	0,0353	4,7
24	2282	28,0	110368007	65	0,0353	4,6
25	2377	28,0	119927309	63	0,0353	4,4
26	2472	28,0	129883677	61	0,0353	4,3
27	2567	28,0	140237112	59	0,0353	4,2

Bepaling van het aantal spanningscycli

Het aantal spanningswisseling N veroorzaakt door trilling door wervelvorming wordt berekend met:

$$N = 2 * T * n_{1,y} * \epsilon_o * [V_{crit} / V_o]^2 * \exp[-(V_{crit} / V_o)^2] \geq 10^4$$

$$n_y = n_{1,y} = 0,79 \quad \text{Hz} \quad \text{eigenfrequentie van trillingsvorm loodrecht op wind}$$

T is levensduur in seconden = $3,2 * 10^7$ maal de vervachte levensduur in jaren

$$V_{crit,1} = 6,72 \quad \text{m/s} \quad \text{De kritische windsnelheid}$$

$$\epsilon_o \text{ is bandbreedtefactor} = 0,3$$

V_o is wortel(2) maal de modus van de Weibull waarschijnlijkheidsverdeling van de windsnelheid in m/s

$V_o = 20\%$ van de karakteristieke gemiddelde windsnelheid op hoogte waar wervelvorming plaatsvindt

$$z_s = 57,3995 \quad \text{m} \quad \text{- hoogte waar wervelvorming plaatsvindt} = L_{mast} - L_j / 2$$

Wedgebied II - onbebouwd

$$\text{Basiswindsnelheid } V_{b,0} = 27 \quad \text{m/s}$$

Terreincategorie : II - Onbebouwd gebied

$$\text{Richtingsfactor } C_{dir} = 1,0$$

$$\text{Seizoensfactor } C_{season} = 1,0$$

$$\text{Orografiefactor } C_o(z) = 1,0$$

$$z_0 = 0,200 \quad \text{m}$$

$$\text{Gemiddelde windsnelheid } V_m(z) = (V_{b,0} * C_{dir} * C_{season}) * c_r(z)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\{z / z_0\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{voor } z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \ln\{z_0 / z_{0,II}\}^{0,07} \quad z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \ln\{0,200 / 0,05\}^{0,07} = 0,21$$

$$c_r(z) = 0,21 * \ln\{28,5 / 0,200\} = 1,18$$

$$V_m(z) = 32,0 \quad \text{m/s}$$

$$V_o = 32,0 * 20 / 100 = 6,40 \quad \text{m/s}$$

$$N = 2 * 50 * 3,2 \cdot 10^7 * 0,3 * 0,79 * [6,72 / 6,40]^2 * \exp[-(6,72 / 6,40)^2] = 2,77E+08$$

Vermoeiingsschade t.g.v. dwarstrilling

De vermoeiingsschade vindt plaats door het belastingspectrum te toetsen aan de bij het detail behorende $\Delta\sigma$ -N lijn conform NEN 2063.

$$\Delta\sigma < 0,55 \Delta\sigma_k \rightarrow N = \infty$$

$$0,55 \Delta\sigma_k < \Delta\sigma < \Delta\sigma_k \rightarrow N \cdot \Delta\sigma^5 = N_k \cdot \Delta\sigma_k^5$$

$$\Delta\sigma > \Delta\sigma_k \rightarrow N \cdot \Delta\sigma^3 = N_k \cdot \Delta\sigma_k^3$$

$$N_k = 10^7$$

$\Delta\sigma_i$ is het i^e spanningsniveau

$\Delta\sigma_k$ is het spanningsinterval behorende bij 10^7 wisselingen op de $\Delta\sigma_i$ -N lijn.

$$\gamma * \Delta\sigma = 1,2 * \Delta\sigma$$

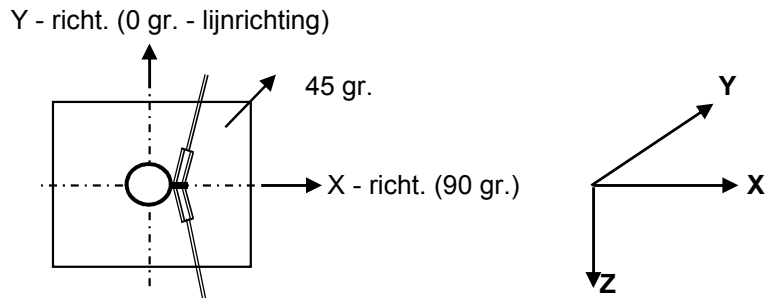
$\Delta\sigma_k = 45$ MPa Voorbewerkt X- las (K45 , lasdetail 112 van NEN 2063).

$\Delta\sigma_k = 35$ MPa Voorbewerkt 1/2V- las (K35 , lasdetail 301 van NEN 2063).

Plaats van trilling		$\gamma * \Delta\sigma =$	$\Delta\sigma_k$	$0,55 \Delta\sigma_k$	N - wissel.	N	D
Knoop		in MPa	in MPa	in MPa	$\Delta\sigma_i$ -N lijn	span.wissl.	beschadiging < 1
3	Lasnaad	8,18	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
4	Lasnaad	12,15	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
5	Lasnaad	14,05	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
7	Lasnaad	14,89	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
8	Lasnaad	12,74	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
9	Lasnaad	12,67	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
10	flenzen	12,46	35	19,25	1,000E+10	2,77E+08	0,03
12	Lasnaad	10,03	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
13	Lasnaad	9,73	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
14	Lasnaad	8,34	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
16	Lasnaad	8,05	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
17	Lasnaad	7,78	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
18	Lasnaad	7,51	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
20	Lasnaad	6,51	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
21	flenzen	6,28	35	19,25	1,000E+10	2,77E+08	0,03
22	Lasnaad	6,07	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
23	Lasnaad	5,87	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
24	Lasnaad	5,69	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
25	Lasnaad	5,51	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
26	Lasnaad	5,34	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
27	Lasnaad	5,18	45	24,75	1,000E+10	2,77E+08	0,03
28	voetplaat	5,03	35	19,25	1,000E+10	2,77E+08	0,03

7.0 - Fundatie belastingen

Fundatie belastingen in ULS-toestand - (Ultimate limit state)



Belasting geval / comb	X - reactie kN	Y - reactie kN	Z - reactie kN	M _x - reactie kNm	M _y - reactie kNm	M _z - reactie kNm
Windrich. 90 graden						
1 - EG mast			793			
2 - Windbelasting mast	124				3599	
3 - Belasting geval 1a	815		116		34193	
4 - Belasting geval 1b	533		116		22112	
5 - Belasting geval 3	909		232		37520	
6 - Belasting geval 4	542		139		22467	
Combinatie 1 : BG1 * 1,2 + BG2 * 1,6 + BG3 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	939		909		37792	
Combinatie 2 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG4 * (1,2 eg, 0,3 windbel.)	556		908		22787	
Combinatie 3 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,45 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	944		1025		38532	
Combinatie 4 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	565		931		23142	

Samenvatting Fundatiebelastingen

	B.C. 1 - SLS $\gamma_{eg}=1.0$, $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 - ULS $\gamma_{eg}=1.2$, $\gamma_q=1.6$	B.C. 3 - ULS $\gamma_{eg}=0.9$, $\gamma_q=1.6$
Voetmoment	31611 kNm	38532 kNm	38532 kNm
Dwarskracht	790 kN	944 kN	944 kN
Verticale kracht	757 kN	1025 kN	681 kN

8.0 - Betonspanning onder voetplaat en instorting

st.c in mm	aantal ankers	$F_{t,Ed}$ kN	$F_{v,Ed}$ kN	knoop nummer	aanwezig anker	$F_{t,Rd}$ kN	Percentage belasting
Ankers krachten in ULS-toestand							
st.c buitenkant		2927,00					
st.c binnenkant		2151,00					
2539	96	621,66	9,83	28	M 48 - 8,8	848,45	0,73
Voorspanning ankers in SLS-toestand (100%)							
st.c buitenkant		2927,00					
st.c binnenkant		2151,00					
2539	96	510,88	8,23	28	M 48 - 8,8	848,45	0,60

Maximale trekkracht in de anker :

$$F_{t,Ed} = 621,7 \text{ kN}$$

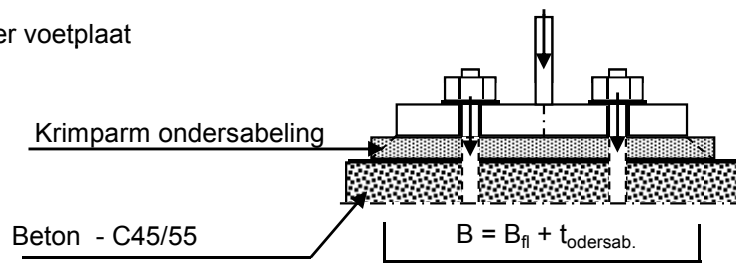
Maximale voorspanning in de anker :

$$F_{t,Ed} = 510,9 \text{ kN}$$

Maximale drukkracht :

$$F_{c,Ed} = 643,0 + 1,00 * 510,9 = 1153,9 \text{ kN}$$

A - drukspanning onder voetplaat



Toetsing :

$$\sigma_b < 0,7 * f_{cd} = 0,7 * 45 / 1,5 = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

$$B_{fl} = 640,0 \text{ mm} \quad D = 2539 \text{ mm}$$

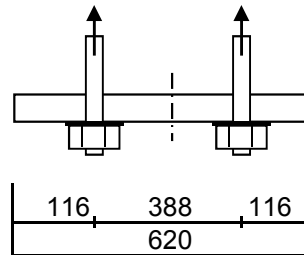
$$t_{ondersab} = 40,0 \text{ mm} \quad n = 96$$

$$B = 680,0 \text{ mm}$$

$$A_{voetpl} = 680 * 2 * \pi * D / n = 113000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{b,voet} = 2 * F_{c,Ed} / A = 20,4 \text{ N/mm}^2 < 21,0 \text{ -- Voldoet}$$

B - drukspanning onder instorting



$$D = 2539 \text{ mm}$$

$$n = 96$$

$$A_{\text{storting}} = 620 * 2 * \pi * D / n = 103030 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{b;\text{stortr.}} = 2 * F_{c,Ed} / A = 12,1 \text{ N/mm}^2 < 21,0 \text{ -- Voldoet}$$

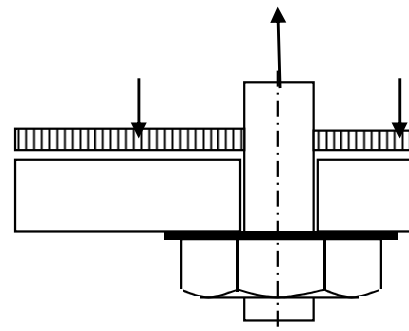
Dikte instorting

$$L_{\text{uitkr.}} = 116 \text{ mm}$$

$$L_{\text{veld}} = 388 \text{ mm}$$

$$t = 45 \text{ mm}$$

$$f_{y;d} = 355 \text{ N/mm}^2$$



$$M_{Ed;st} = 81190 \text{ Nmm/mm}' ; V_{z;Ed;st} = 2341 \text{ N/mm}'$$

of $M_{Ed;veld} = 145896 \text{ Nmm/mm}' ; V_{z;Ed;st} = 0 \text{ N/mm}'$

$$M_{Ed;max} = 145896 \text{ Nmm/mm}' ; V_{z;Ed;st} = 2341 \text{ N/mm}'$$

$$M_{Rd} = (1/4) * 1,0 * t^2 * f_y = 179719 \text{ Nmm/mm}'$$

$$V_{Rd} = 1,0 * t * f_y / 3^{0,5} = 9223 \text{ N/mm}'$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 145896 / 179718,8 = 0,81 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 288,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Ed} / V_{Rd} = 2341 / 9223 = 0,25 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 52,0 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

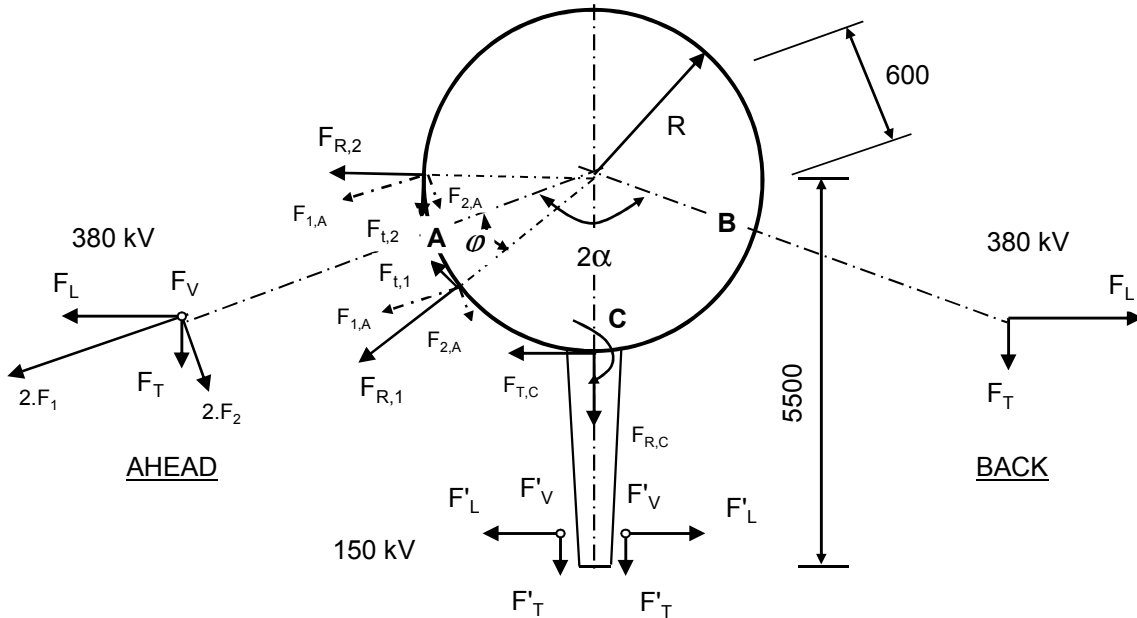
$$\sigma_{vlg} = (288,2^2 + 3 * 52,0^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 302 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ MPa -- Voldoet}$$

9.0 - Detailberekeningen

9.1 - Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV

Schema



F_V en F'_V : Verticale kracht resp. 380kV en 150kV

F_T en F'_T : Transverse kracht resp. 380kV en 150kV

F_L en F'_L : Longitudinale kracht resp. 380kV en 150kV

2α is hoek tussen lijnen en α is bissectrice van hoek tussen de lijnen

380 kV: Per bevevestigingsring

$$F_{1,A} = (F_{L,Ah} \cdot \sin \alpha + F_{T,Ah} \cdot \cos \alpha) / 4 ; F_{1,B} = (F_{L,Ba} \cdot \sin \alpha + F_{T,Ba} \cdot \cos \alpha) / 4$$

$$F_{2,A} = (F_{L,Ah} \cdot \cos \alpha - F_{T,Ah} \cdot \sin \alpha) / 4 ; F_{2,B} = (F_{L,Ba} \cdot \cos \alpha - F_{T,Ba} \cdot \sin \alpha) / 4$$

$$F_{3,A} = F_{V,ah} / 4 ; F_{3,B} = F_{V,bh} / 4 ;$$

$$F_{R;1,A} = F_{1,A} \cdot \cos \varphi + F_{2,A} \cdot \sin \varphi ; F_{T;1,A} = F_{1,A} \cdot \sin \varphi - F_{2,A} \cdot \cos \varphi$$

$$F_{R;2,A} = F_{1,A} \cdot \cos \varphi - F_{2,A} \cdot \sin \varphi ; F_{T;2,A} = F_{1,A} \cdot \sin \varphi + F_{2,A} \cdot \cos \varphi$$

$$M_w = I F_{T;1,A} + F_{T;2,A} I \cdot R$$

$$F_{R;1,B} = F_{1,B} \cdot \cos \varphi + F_{2,B} \cdot \sin \varphi ; F_{T;1,B} = F_{1,B} \cdot \sin \varphi - F_{2,B} \cdot \cos \varphi$$

$$F_{R;2,B} = F_{1,B} \cdot \cos \varphi - F_{2,B} \cdot \sin \varphi ; F_{T;2,B} = F_{1,B} \cdot \sin \varphi + F_{2,B} \cdot \cos \varphi$$

$$M_w = I F_{T;1,B} + F_{T;2,B} I \cdot R$$

150 kV: Per bevevestigingsring

$$F_{T;C} = \sum F'_L / 2 \quad M_{T;C} = F_{T;C} \cdot (5500 - R)$$

$$F_{R;C} = \sum F'_T / 2$$

$$F_{V;C} = \sum F'_V / 2 \quad M_{V;C} = 2 \cdot F_{V;C} \cdot (5500 - R)$$

$$F'_{R;C} = \pm M_{C;L} / (2 \cdot z)$$

$$z = 2 \cdot (d_{uit}^3 - d_{inw}^3) / 3 \cdot \pi \cdot (d_{uit}^2 - d_{inw}^2)$$

$$F_{R;C;max} = F_{R;C} + F'_{R;C}$$

Opmerking:

In mast W2H400+5 zijn de geleiders van de 150 kV niet aanwezig.

9.1.1 - Afspanpunt trekisolatoren op 52,0 meter hoogte

Ring gegevens:

$t_{\text{buis;nom}} = 15 \text{ mm}$

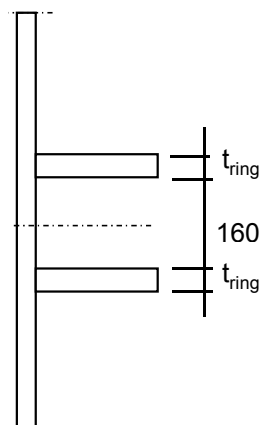
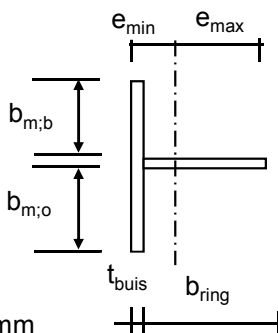
$t_{\text{buis;reken}} = 15 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;nom}} = 20 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;reken}} = 20 \text{ mm}$

$b_{\text{ring}} = 135 \text{ mm}$

Afstand tussen ringen = 160 mm



Mee werkende breedte :DIN 18801

$$b_m = 0,138 * t * \lambda_a$$

$$\lambda_a = \pi * (E / f_y)^{0,5}$$

Staal S355 ; $f_y = 355,0 \text{ N/mm}^2$

$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$

$b_{m;b} = 158,2 \text{ mm}$

$b_{m;o} = 80 \text{ mm}$

$A = 6573 \text{ mm}^2$

$e_{\text{min}} = 38,3 \text{ mm}$

$e_{\text{max}} = 111,7 \text{ mm}$

$I = 13121674 \text{ mm}^4$

$W_{\text{min}} = 117483 \text{ mm}^3$

$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

$N_{Rd} = 1555 \text{ kN}$

$M_{y;Rd} = 28 \text{ kNm}$

$M_{w;Rd} = 3669 \text{ kNm}$ (torsieweerstand mast)

$V_{Rd} = 369 \text{ kN}$

Belastingen op 52,0 meter

Zie KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-001 38 V10.0 - Appendix N en N1

Belastingen - geleiders 380 kV

	Ahead			Back		
	F_V N	F_T N	F_L N	F_V N	F_T N	F_L N
BG 1a - (wind (90 gr))	17056	124980	205651	17056	124980	-205651
BG 3 - (wind (90) + ijs)	29380	123077	229108	29380	123077	-229108
BG 1a - (wind (45 gr))	17045	67119	135061	17057	130900	-213662
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	29376	103058	216048	29381	125336	-231339
1a- Bundelbr.-(90 gr)	17049	88694	157786	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	19805	94794	175433	0,0	0,0	0,0
1a- Bundelbr.-(45 gr)	17045	64613	133947	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	19802	76696	160509	0,0	0,0	0,0

Diameter mast t.p.v ringen $D = 833$ mm
 $R = 416,7$ mm

Mast 8 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 130,1$ graden

Mast 7 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 161,1$ graden

Mast 15 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 180$ graden

Mast 176 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 139,3$ graden

Mast 149 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 169,2$ graden

Mast 148 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 173,4$ graden

Mast 132 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 180$ graden

Mast 106 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 130,4$ graden

Mast 105 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 155,2$ graden

Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 180$ graden maatgevend
hoek $\phi = \arcsin(300 / (417+80)) = 37,2$ graden

	A		B		C	
	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;max;Ed}$ kN	$M_{T;Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	59,8	22,1	59,8	22,1		
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,2	27,1	64,2	27,1		
BG 1a - (wind (45 gr))	37,0	16,8	62,3	22,8		
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	58,6	27,5	65,0	27,2		
1a- Bundelbr.-(90 gr)	44,8	18,0	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	49,3	20,6	0,0	0,0		
1a- Bundelbr.-(45 gr)	36,4	16,9	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	43,6	20,4	0,0	0,0		

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 20

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 19

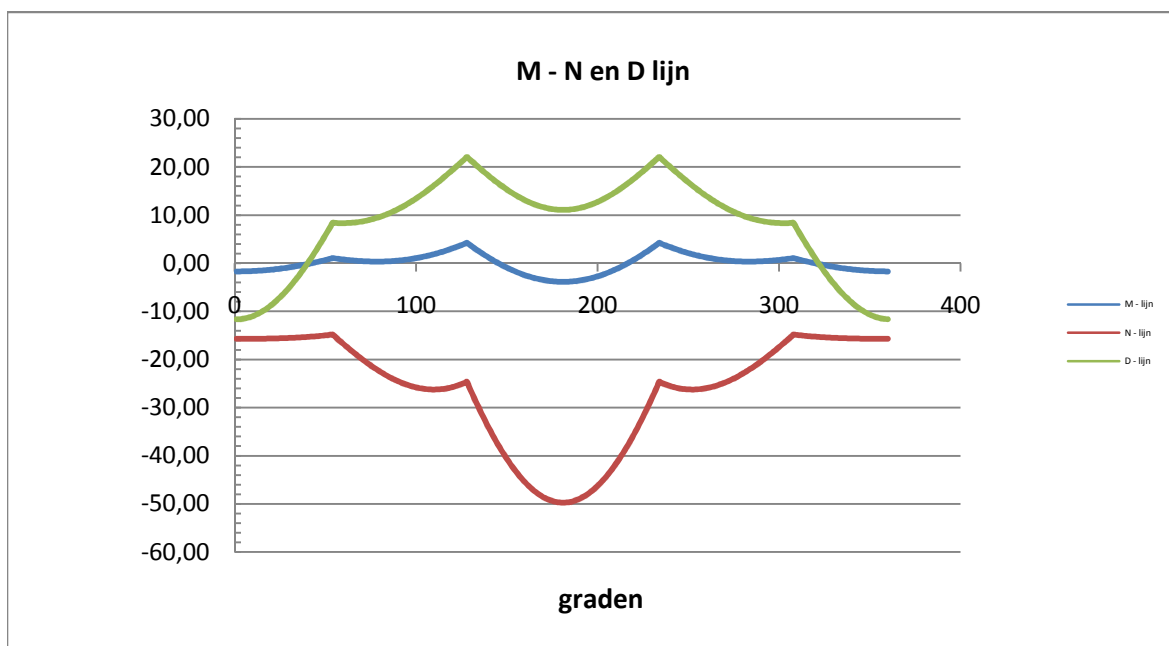
Belastinggeval : BG 1a - wind 90 gr.

φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-1,69	-15,68	-11,64	0,22	3,11
15,0	-1,47	-15,64	-9,83	0,67	9,31
30,0	-0,80	-15,47	-4,62	1,11	15,44
45,0	0,31	-15,10	3,34	0,42	5,83
60,0	0,73	-17,09	8,32	0,38	5,22
75,0	0,36	-21,48	9,16	0,24	3,27
90,0	0,59	-24,66	11,42	0,94	12,99
105,0	1,53	-26,16	15,04	1,68	23,30
120,0	3,21	-25,62	19,68	1,07	14,82
135,0	2,14	-31,17	19,40	3,22	44,76
150,0	-1,08	-41,21	15,05	2,05	28,53
165,0	-3,14	-47,58	12,11	0,71	9,80
180,0	-3,84	-49,77	11,08	0,71	9,80
195,0	-3,14	-47,58	12,11	2,05	28,53
210,0	-1,08	-41,21	15,05	3,22	44,76
225,0	2,14	-31,17	19,40	1,07	14,82
240,0	3,21	-25,62	19,68	1,68	23,30
255,0	1,53	-26,16	15,04	0,94	12,99
270,0	0,59	-24,66	11,42	0,24	3,27
285,0	0,36	-21,48	9,16	0,38	5,22
300,0	0,73	-17,09	8,32	0,42	5,83
315,0	0,31	-15,10	3,34	1,11	15,44
330,0	-0,80	-15,47	-4,62	0,67	9,31
345,0	-1,47	-15,64	-9,83	0,22	3,10
360,0	-1,69	-15,68	-11,63	0,00	0,01

$$F_{s,d,langs} = \Delta M_{s,d} * S / I$$

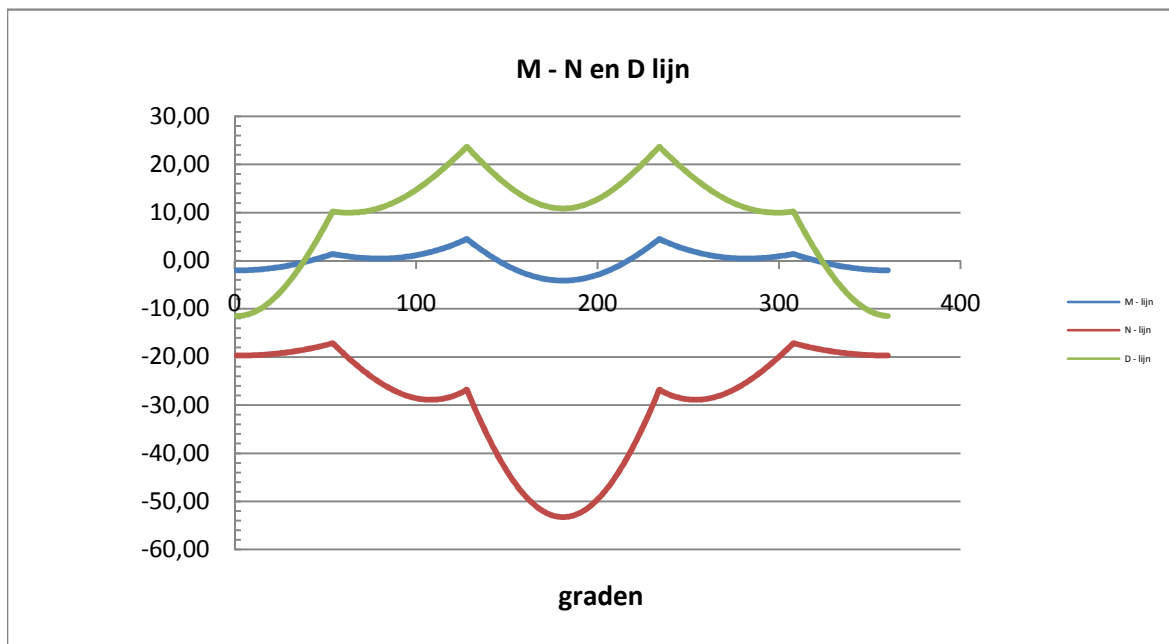
$$S = 182250 \text{ mm}^3$$

$$I = 13121674 \text{ mm}^4$$



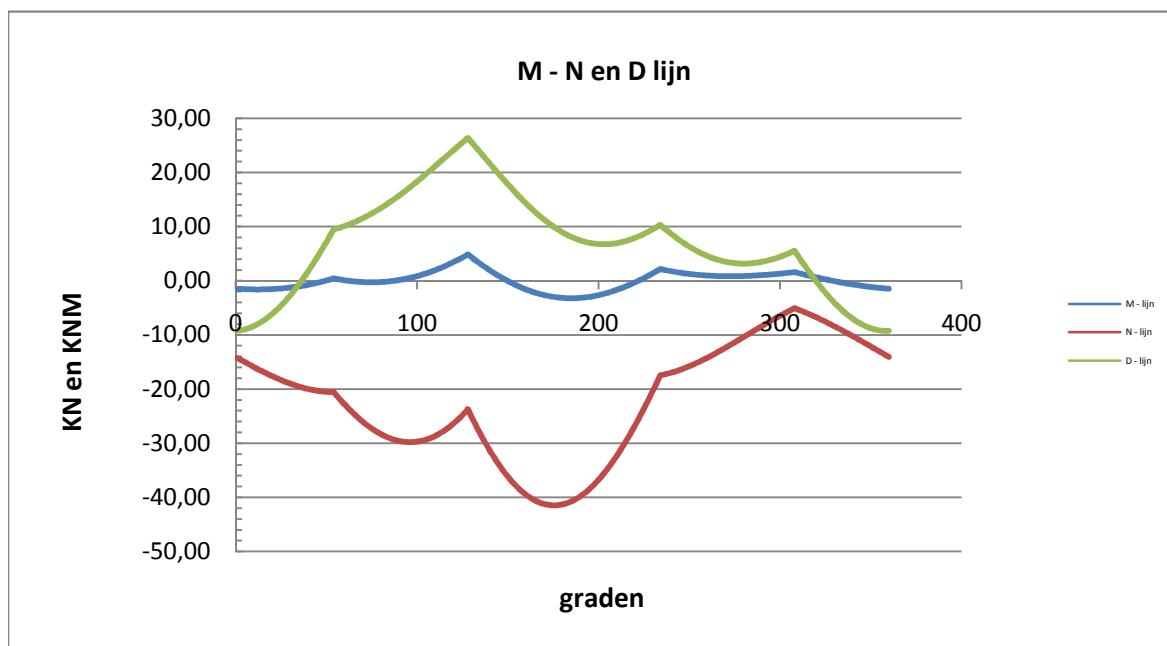
Belastinggeval : BG 3 - wind 90 gr + ijs.

φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-2,02	-19,67	-11,49	0,28	3,90
15,0	-1,74	-19,49	-9,53	0,84	11,61
30,0	-0,91	-18,90	-3,88	1,37	19,10
45,0	0,47	-17,87	4,76	0,51	7,08
60,0	0,98	-19,59	10,01	0,50	6,98
75,0	0,48	-24,23	10,58	0,19	2,59
90,0	0,66	-27,47	12,72	0,97	13,42
105,0	1,63	-28,84	16,37	1,78	24,79
120,0	3,41	-27,99	21,19	1,15	15,93
135,0	2,27	-33,69	20,58	3,45	47,97
150,0	-1,19	-44,24	15,49	2,20	30,54
165,0	-3,39	-50,94	12,08	0,75	10,48
180,0	-4,14	-53,24	10,87	0,75	10,48
195,0	-3,39	-50,94	12,08	2,20	30,54
210,0	-1,19	-44,24	15,49	3,45	47,97
225,0	2,27	-33,69	20,58	1,15	15,93
240,0	3,41	-27,99	21,19	1,78	24,79
255,0	1,63	-28,84	16,37	0,97	13,42
270,0	0,66	-27,47	12,72	0,19	2,59
285,0	0,48	-24,23	10,58	0,50	6,98
300,0	0,98	-19,59	10,01	0,51	7,08
315,0	0,47	-17,87	4,76	1,37	19,10
330,0	-0,91	-18,90	-3,88	0,84	11,61
345,0	-1,74	-19,49	-9,53	0,28	3,88
360,0	-2,02	-19,67	-11,49	0,00	0,02



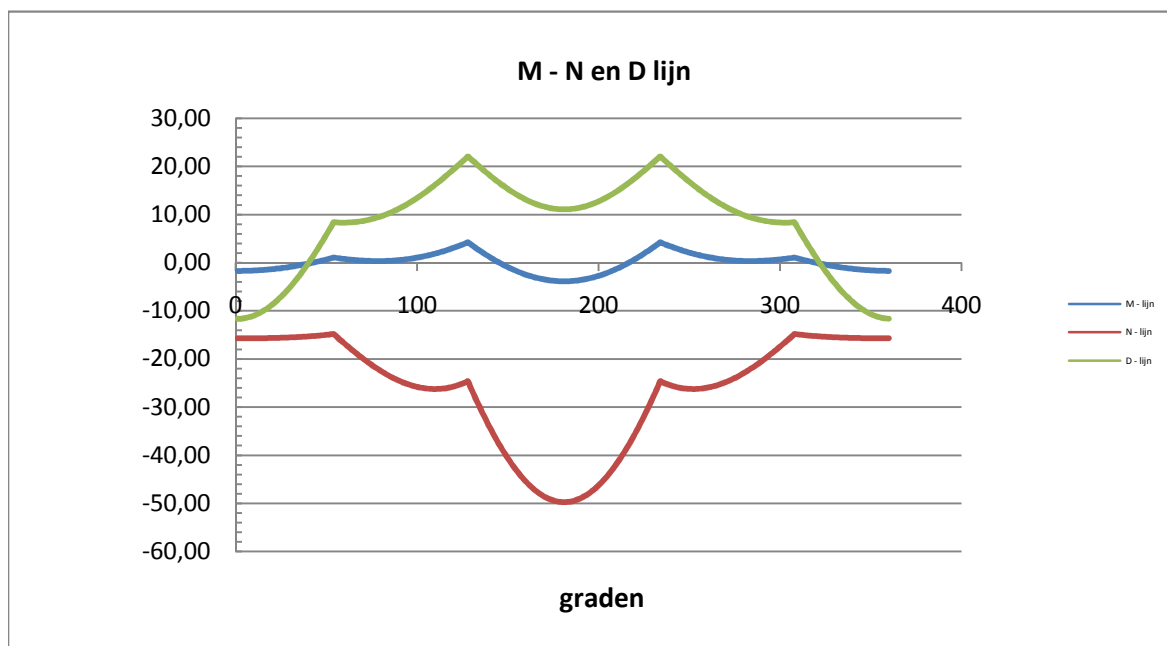
Belastinggeval : BG 1a - wind 45 gr.

φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-1,49	-14,25	-9,23	0,11	1,46
15,0	-1,60	-16,95	-7,22	0,38	5,24
30,0	-1,22	-19,11	-2,33	0,92	12,79
45,0	-0,30	-20,37	4,91	0,34	4,75
60,0	0,04	-23,18	10,21	0,32	4,48
75,0	-0,28	-27,52	12,59	0,46	6,36
90,0	0,18	-29,65	15,94	1,30	18,04
105,0	1,48	-29,23	20,00	2,13	29,54
120,0	3,60	-26,09	24,36	0,75	10,40
135,0	2,85	-29,00	23,22	3,09	42,96
150,0	-0,24	-36,59	17,43	2,06	28,56
165,0	-2,30	-40,75	12,39	0,90	12,52
180,0	-3,20	-41,25	8,76	0,27	3,72
195,0	-2,93	-38,15	6,93	1,35	18,75
210,0	-1,58	-31,85	7,00	2,25	31,30
225,0	0,67	-22,97	8,79	1,02	14,22
240,0	1,70	-16,87	8,38	0,65	8,96
255,0	1,05	-14,86	5,17	0,22	3,09
270,0	0,83	-12,16	3,43	0,12	1,73
285,0	0,96	-9,17	3,26	0,39	5,37
300,0	1,34	-6,27	4,53	0,41	5,64
315,0	0,94	-6,14	1,65	1,08	15,02
330,0	-0,15	-8,56	-4,41	0,84	11,61
345,0	-0,98	-11,35	-8,23	0,49	6,80
360,0	-1,47	-14,05	-9,26	0,02	0,31



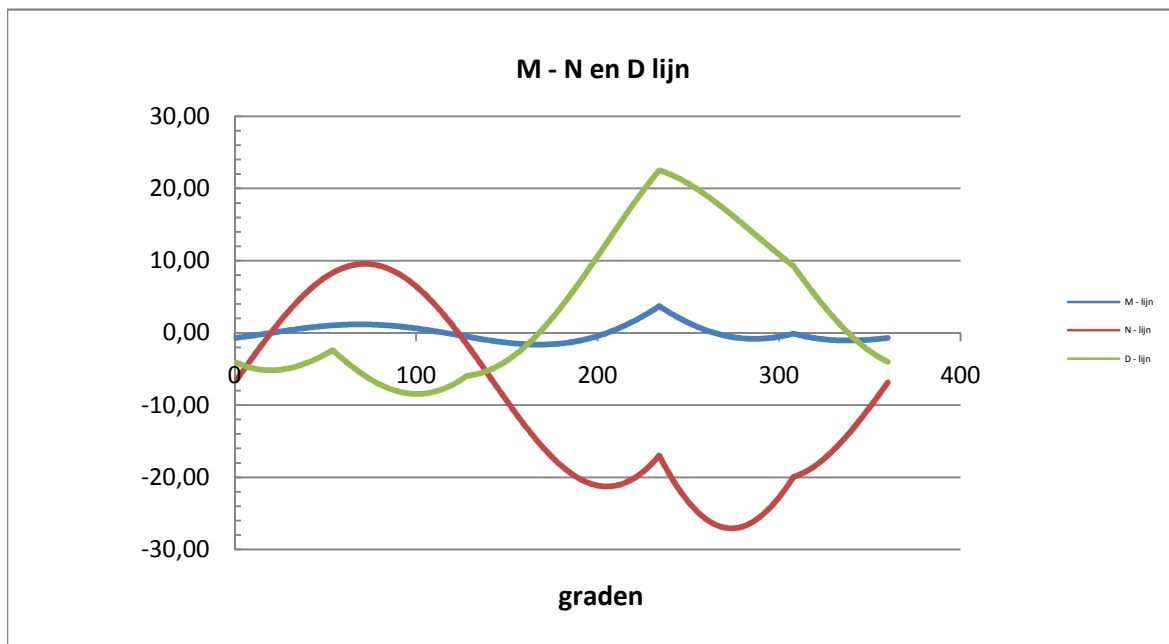
Belastinggeval : BG 3 - wind 45 gr + ijs.

φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-1,69	-15,68	-11,64	0,22	3,11
15,0	-1,47	-15,64	-9,83	0,67	9,31
30,0	-0,80	-15,47	-4,62	1,11	15,44
45,0	0,31	-15,10	3,34	0,42	5,83
60,0	0,73	-17,09	8,32	0,38	5,22
75,0	0,36	-21,48	9,16	0,24	3,27
90,0	0,59	-24,66	11,42	0,94	12,99
105,0	1,53	-26,16	15,04	1,68	23,30
120,0	3,21	-25,62	19,68	1,07	14,82
135,0	2,14	-31,17	19,40	3,22	44,76
150,0	-1,08	-41,21	15,05	2,05	28,53
165,0	-3,14	-47,58	12,11	0,71	9,80
180,0	-3,84	-49,77	11,08	0,71	9,80
195,0	-3,14	-47,58	12,11	2,05	28,53
210,0	-1,08	-41,21	15,05	3,22	44,76
225,0	2,14	-31,17	19,40	1,07	14,82
240,0	3,21	-25,62	19,68	1,68	23,30
255,0	1,53	-26,16	15,04	0,94	12,99
270,0	0,59	-24,66	11,42	0,24	3,27
285,0	0,36	-21,48	9,16	0,38	5,22
300,0	0,73	-17,09	8,32	0,42	5,83
315,0	0,31	-15,10	3,34	1,11	15,44
330,0	-0,80	-15,47	-4,62	0,67	9,31
345,0	-1,47	-15,64	-9,83	0,22	3,10
360,0	-1,69	-15,68	-11,63	0,00	0,01



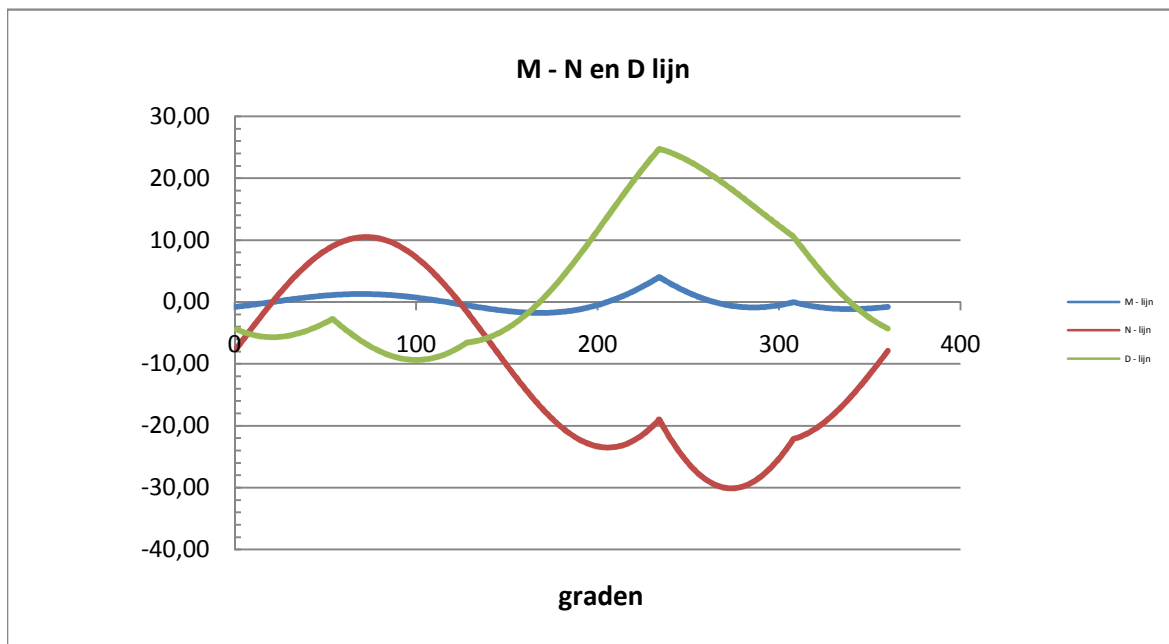
Belastinggeval : BG 1a - Bundelbreuk 90 gr

φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-0,68	-6,51	-4,14	0,52	7,21
15,0	-0,16	-1,30	-5,15	0,56	7,74
30,0	0,40	3,38	-4,86	0,46	6,44
45,0	0,86	6,99	-3,48	0,27	3,72
60,0	1,13	9,11	-3,93	0,01	0,16
75,0	1,14	9,50	-6,61	0,26	3,55
90,0	0,88	8,10	-8,17	0,48	6,71
105,0	0,40	5,07	-8,36	0,62	8,67
120,0	-0,22	0,73	-7,07	0,64	8,94
135,0	-0,87	-4,41	-5,55	0,52	7,18
150,0	-1,38	-9,78	-3,69	0,24	3,31
165,0	-1,62	-14,72	-0,47	0,18	2,49
180,0	-1,44	-18,60	3,92	0,71	9,81
195,0	-0,74	-20,87	9,13	1,30	18,02
210,0	0,56	-21,10	14,67	1,89	26,32
225,0	2,46	-19,04	19,98	0,16	2,17
240,0	2,61	-20,15	21,84	1,87	26,03
255,0	0,74	-25,00	19,73	1,17	16,21
270,0	-0,43	-27,02	16,94	0,40	5,58
285,0	-0,83	-26,11	13,81	0,34	4,68
300,0	-0,49	-22,47	10,65	0,07	1,02
315,0	-0,57	-19,04	6,50	0,45	6,25
330,0	-1,02	-16,00	1,88	0,00	0,05
345,0	-1,01	-11,62	-1,75	0,30	4,22
360,0	-0,71	-6,86	-4,02	0,03	0,41



Belastinggeval : BG 3 - Bundelbreuk 90 gr + ijs

φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-0,77	-7,50	-4,43	0,56	7,81
15,0	-0,21	-1,73	-5,63	0,61	8,51
30,0	0,40	3,48	-5,38	0,52	7,17
45,0	0,92	7,53	-3,91	0,31	4,24
60,0	1,23	9,95	-4,44	0,03	0,36
75,0	1,25	10,46	-7,39	0,27	3,72
90,0	0,98	9,00	-9,09	0,52	7,23
105,0	0,46	5,73	-9,26	0,68	9,46
120,0	-0,22	1,00	-7,79	0,71	9,82
135,0	-0,93	-4,66	-6,13	0,57	7,97
150,0	-1,50	-10,59	-4,13	0,27	3,78
165,0	-1,77	-16,08	-0,62	0,18	2,56
180,0	-1,59	-20,42	4,19	0,76	10,60
195,0	-0,82	-23,00	9,92	1,41	19,65
210,0	0,59	-23,35	16,04	2,08	28,83
225,0	2,67	-21,17	21,92	0,17	2,39
240,0	2,84	-22,45	24,04	2,05	28,48
255,0	0,79	-27,82	21,80	1,26	17,55
270,0	-0,48	-30,04	18,83	0,41	5,74
285,0	-0,89	-29,01	15,48	0,41	5,67
300,0	-0,48	-24,93	12,08	0,08	1,16
315,0	-0,56	-21,17	7,52	0,53	7,38
330,0	-1,10	-17,89	2,37	0,02	0,34
345,0	-1,12	-13,12	-1,72	0,32	4,40
360,0	-0,80	-7,88	-4,29	0,03	0,44



Maatgevende belastinggeval : BG 1a - wind 45 gr.

Controle spanningen :

$N_{Ed,max} =$	41,5	kN	$N_{Rd} =$	1555	kN
$M_{y,Ed,max} =$	4,86	kNm	$M_{Rd} =$	28	kNm
$M_{w,Ed,max} =$	20,8	kNm	$M_{Rd} =$	3669	kNm
$V_{Ed,max} =$	26,3	kN	$V_{Rd} =$	369	kN

$$N_{Ed,max} / N_{Rd} = 41,49 / 1555 = 0,03 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 6,3 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} = 4,86 / 27,8 = 0,17 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 41,3 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd} = 26,34 / 369 = 0,07 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

Bij maximale moment : $N_{Ed} = 23,71$
 $V_{Ed} = 26,34$

$$\sigma_b + \sigma_N = 41,3 + 3,6 = 44,9 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = \{ (\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_z^2 \}^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 48 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las.

Per bevestiging (2 * bevestigingspunten en 2 * ringen)

$F_{R,1,h} =$	64,23	kN
$F_{T,1,h} =$	59,12	kN
$F_z =$	14,69	kN
$F_{Langs,Ed} =$	47,97	kN

$$L_{las} = b_{m,ring} = 0,138 \cdot t \cdot \pi \cdot (E/f_y)^{0,5} = 210 \text{ mm}$$

of

$$L_{las} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 160 \text{ mm} - \text{maatgevend}$$

$$\text{lasdikte } a = 5 \text{ mm} - \text{hoeklas}$$

t.g.v. $F_{R,1,h}$:

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{R,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 28,4 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{T,1,h}$:

$$\tau_2 = F_{T,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 36,95 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{Langs,Ed}$:

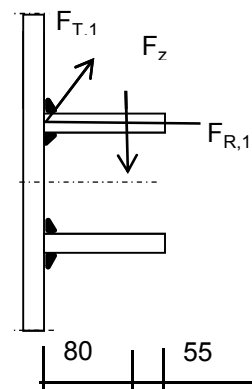
$$\tau_2 = F_{Langs,Ed,max} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 29,98 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. F_z :

$$\sigma_1 = \tau_1 = [(F_z \cdot 1000 \cdot 80) / (t_{ring} + 2 \cdot a / 3)] / (a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 44,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 72,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 186,3 \text{ N/mm}^2$$



Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{m;extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \quad \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 186,3 / 302,2 = 0,62 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 72,9 / 244,8 = 0,30 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.1.2 - Afspanpunt trekisolatoren op 42,0 meter hoogte

Ring gegevens:

$$t_{\text{buis;nom}} = 22 \text{ mm}$$

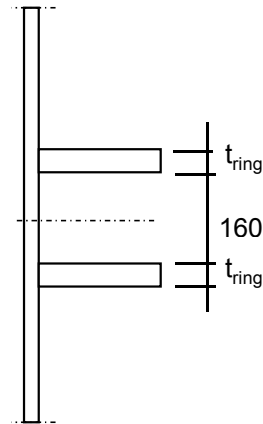
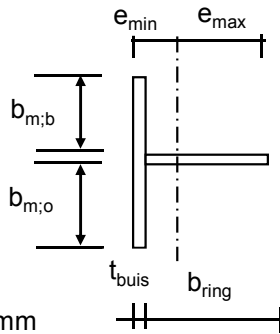
$$t_{\text{buis;reken}} = 22 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ring;nom}} = 20 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ring;reken}} = 20 \text{ mm}$$

$$b_{\text{ring}} = 135 \text{ mm}$$

$$\text{Afstand tussen ringen} = 160 \text{ mm}$$



Mee werkende breedte :DIN 18801

$$b_m = 0,138 * t * \lambda_a$$

$$\lambda_a = \pi * (E / f_y)^{0,5}$$

$$\text{Staal S355 ; } f_y = 355,0 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{m;b} = 232,0 \text{ mm}$$

$$b_{m;o} = 80 \text{ mm}$$

$$A = 10004 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{min}} = 32,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 124,8 \text{ mm}$$

$$I = 16542576 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{min}} = 132539 \text{ mm}^3$$

$$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$N_{\text{Rd}} = 2367 \text{ kN}$$

$$M_{y;\text{Rd}} = 31 \text{ kNm}$$

$$M_{w;\text{Rd}} = 10520 \text{ kNm} \text{ (torsieweerstand mast)}$$

$$V_{\text{Rd}} = 369 \text{ kN}$$

Belastingen op 42,0 meter (gelijkgesteld aan de belastingen van de geleiders op 52 m)

Belastingen - geleiders 380 kV

	Ahead			Back		
	F_V N	F_T N	F_L N	F_V N	F_T N	F_L N
BG 1a - (wind (90 gr))	17056	124980	205651	17056	124980	-205651
BG 3 - (wind (90) + ijs)	29380	123077	229108	29380	123077	-229108
BG 1a - (wind (45 gr))	17045	67119	135061	17057	130900	-213662
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	29376	103058	216048	29381	125336	-231339
1a- Bundelbr.-(90 gr)	17049	88694	157786	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	19805	94794	175433	0,0	0,0	0,0
1a- Bundelbr.-(45 gr)	17045	64613	133947	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	19802	76696	160509	0,0	0,0	0,0

Diameter mast t.p.v ringen $D = 1167$ mm

$R = 583,4$ mm

Mast 8 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 130,1$ graden

Mast 7 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 161,1$ graden

Mast 15 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 180$ graden

Mast 176 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 139,3$ graden

Mast 149 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 169,2$ graden

Mast 148 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 173,4$ graden

Mast 132 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 180$ graden

Mast 106 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 130,4$ graden

Mast 105 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 155,2$ graden

Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 169,2$ graden maatgevend

hoek $\phi = \arcsin(300 / (583+80)) = 26,9$ graden

	A		B		C	
	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;max;Ed}$ kN	$M_{T;Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	60,2	36,4	60,2	36,4		
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,9	42,0	64,9	42,0		
BG 1a - (wind (45 gr))	37,5	25,3	62,6	37,7		
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	59,4	40,8	65,6	42,3		
1a- Bundelbr.-(90 gr)	45,2	28,6	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	49,7	32,1	0,0	0,0		
1a- Bundelbr.-(45 gr)	36,9	25,2	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	44,2	30,3	0,0	0,0		

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 20

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 19

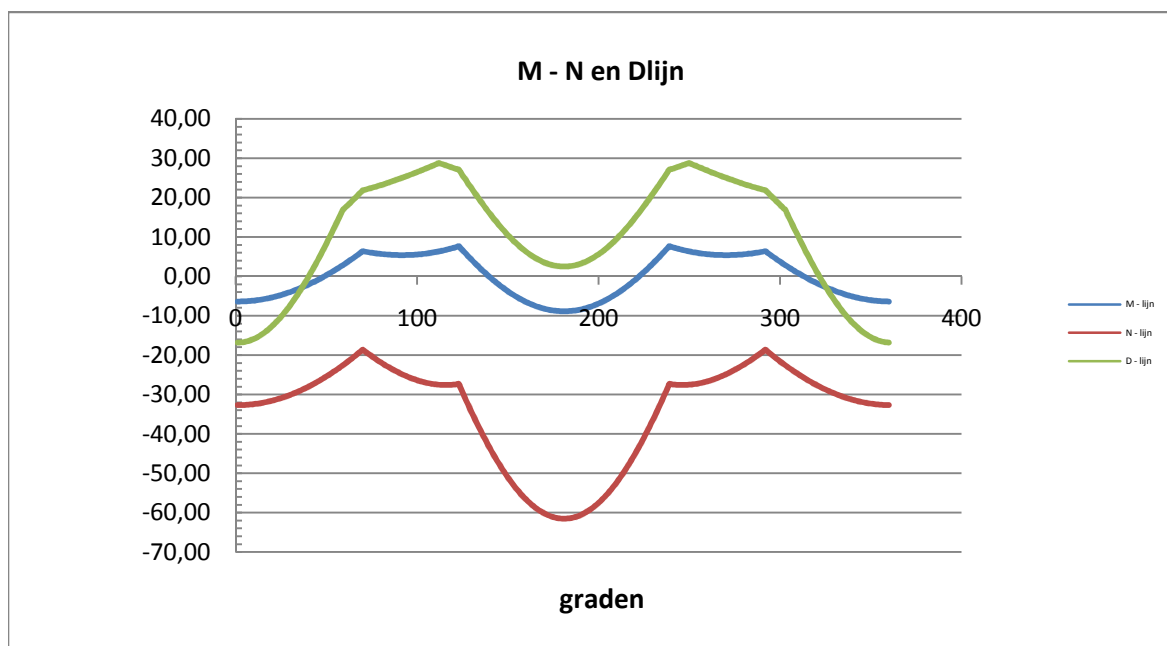
Maatgevende belastinggeval : BG 3 - wind 90 gr. + ijs

φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-6,40	-32,70	-16,79	0,65	7,18
15,0	-5,75	-32,00	-14,18	1,93	21,22
30,0	-3,82	-29,93	-6,68	3,12	34,36
45,0	-0,70	-26,53	4,79	4,18	46,00
60,0	3,47	-21,92	17,73	2,49	27,38
75,0	5,96	-20,63	22,61	0,53	5,83
90,0	5,43	-24,71	24,90	0,45	5,00
105,0	5,88	-27,12	27,61	1,53	16,87
120,0	7,41	-27,46	27,38	5,89	64,89
135,0	1,52	-40,10	18,44	5,62	61,90
150,0	-4,09	-51,68	10,04	3,57	39,28
165,0	-7,66	-59,02	4,47	1,22	13,46
180,0	-8,88	-61,54	2,52	1,22	13,46
195,0	-7,66	-59,02	4,47	3,57	39,28
210,0	-4,09	-51,68	10,04	5,62	61,90
225,0	1,52	-40,10	18,44	5,89	64,89
240,0	7,41	-27,46	27,38	1,53	16,87
255,0	5,88	-27,12	27,61	0,45	5,00
270,0	5,43	-24,71	24,90	0,53	5,83
285,0	5,96	-20,63	22,61	2,49	27,38
300,0	3,47	-21,92	17,73	4,18	46,00
315,0	-0,70	-26,53	4,79	3,12	34,36
330,0	-3,82	-29,93	-6,68	1,93	21,22
345,0	-5,75	-32,00	-14,18	0,65	7,14
360,0	-6,40	-32,70	-16,77	0,00	0,03

$$F_{s;d,langs} = \Delta M_{s;d} \cdot S / I$$

$$S = 182250 \text{ mm}^3$$

$$I = 16542576 \text{ mm}^4$$



Controle spanningen :

$N_{Ed,max} =$	61,5	kN	$N_{Rd} =$	2367	kN
$M_{y,Ed,max} =$	8,88	kNm	$M_{Rd} =$	31	kNm
$M_{w,Ed,max} =$	26,3	kNm	$M_{Rd} =$	10520	kNm
$V_{Ed,max} =$	28,8	kN	$V_{Rd} =$	369	kN
$N_{Ed,max} / N_{Rd} =$	61,54	/	2367	=	0,03
			$\sigma_N =$	6,2	N/mm ²
$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} =$	8,88	/	31,4	=	0,28
			$\sigma_b =$	67,0	N/mm ²
$V_{Ed,max} / V_{Rd} =$	28,77	/	369	=	0,08
			$\tau_z =$	10,7	N/mm ²
Bij maximale moment : $N_{Ed} = 61,54$					
$V_{Ed} = 2,52$					
$\sigma_b + \sigma_N =$	67,0	+	6,2	=	73,2
					N/mm ²
$\tau_z =$	0,9				N/mm ²
$\sigma_{vlg} = \{ (\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_z^2 \}^{0,5}$					
$\sigma_{vlg} =$	73				N/mm ²
					< 236 MPa -- Voldoet

Controle spanningen in las.

Per bevestiging (2 * bevestigingspunten en 2 * ringen)

$F_{R,1,h} =$	64,86	kN
$F_{T,1,h} =$	49,61	kN
$F_z =$	14,69	kN
$F_{Langs,Ed} =$	64,89	kN

$$L_{las} = b_{m,ring} = 0,138 \cdot t \cdot \pi \cdot (E/fy)^{0,5} = 210 \text{ mm}$$

of

$$L_{las} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 160 \text{ mm} - \text{maatgevend}$$

$$\text{lasdikte } a = 5 \text{ mm} - \text{hoeklas}$$

t.g.v. $F_{R,1,h}$:

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{R,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 28,7 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{T,1,h}$:

$$\tau_2 = F_{T,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 31,01 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{Langs,Ed}$:

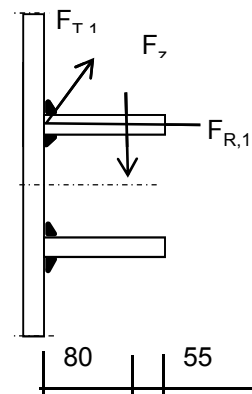
$$\tau_2 = F_{Langs,Ed,max} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 40,56 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. F_z :

$$\sigma_1 = \tau_1 = [(F_z \cdot 1000 \cdot 80) / (t_{ring} + 2 \cdot a / 3)] / (a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 44,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 73,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 191,8 \text{ N/mm}^2$$



Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{w;u;d} = f_{t;d} / (\beta * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \qquad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 191,8 / 302,2 = 0,63 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \qquad 73,2 / 244,8 = 0,30 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.1.3 - Afspanpunt trekisolatoren op 32,0 meter hoogte

Ring gegevens:

$t_{\text{buis;nom}} = 25 \text{ mm}$

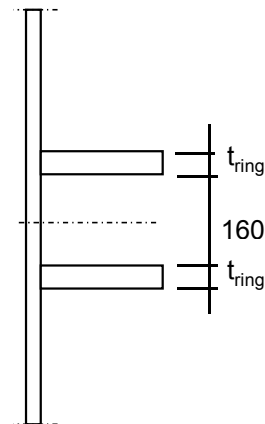
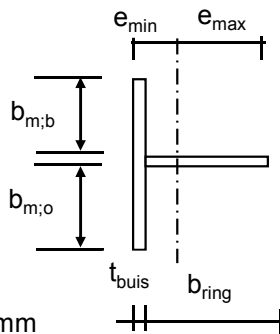
$t_{\text{buis;reken}} = 25 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;nom}} = 20 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;reken}} = 20 \text{ mm}$

$b_{\text{ring}} = 135 \text{ mm}$

Afstand tussen ringen = 160 mm



Mee werkende breedte :DIN 18801

$$b_m = 0,138 * t * \lambda_a$$

$$\lambda_a = \pi * (E / f_y)^{0,5}$$

Staal S355 ; $f_y = 355,0 \text{ N/mm}^2$

$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$

$b_{m;b} = 263,6 \text{ mm}$

$b_{m;o} = 80 \text{ mm}$

$A = 11790 \text{ mm}^2$

$e_{\text{min}} = 30,8 \text{ mm}$

$e_{\text{max}} = 129,2 \text{ mm}$

$I = 17896923 \text{ mm}^4$

$W_{\text{min}} = 138543 \text{ mm}^3$

$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

$N_{\text{Rd}} = 2790 \text{ kN}$

$M_{y;\text{Rd}} = 33 \text{ kNm}$

$M_{w;\text{Rd}} = 19893 \text{ kNm}$ (torsieweerstand mast)

$V_{\text{Rd}} = 369 \text{ kN}$

Belastingen op 32,0 meter (gelijkgesteld aan de belastingen van de geleiders op 52 m)

Belastingen - geleiders 380 kV

	Ahead			Back		
	F_V N	F_T N	F_L N	F_V N	F_T N	F_L N
BG 1a - (wind (90 gr))	17056	124980	205651	17056	124980	-205651
BG 3 - (wind (90) + ijs)	29380	123077	229108	29380	123077	-229108
BG 1a - (wind (45 gr))	17045	67119	135061	17057	130900	-213662
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	29376	103058	216048	29381	125336	-231339
1a- Bundelbr.-(90 gr)	17049	88694	157786	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	19805	94794	175433	0,0	0,0	0,0
1a- Bundelbr.-(45 gr)	17045	64613	133947	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	19802	76696	160509	0,0	0,0	0,0

Diameter mast t.p.v ringen $D = 1500$ mm

$R = 750,1$ mm

Mast 8 : Lijnhoek = $2. \alpha = 130,1$ graden

Mast 7 : Lijnhoek = $2. \alpha = 161,1$ graden

Mast 15 : Lijnhoek = $2. \alpha = 180$ graden

Mast 176 : Lijnhoek = $2. \alpha = 139,3$ graden

Mast 149 : Lijnhoek = $2. \alpha = 169,2$ graden

Mast 148 : Lijnhoek = $2. \alpha = 173,4$ graden

Mast 132 : Lijnhoek = $2. \alpha = 180$ graden

Mast 106 : Lijnhoek = $2. \alpha = 130,4$ graden

Mast 105 : Lijnhoek = $2. \alpha = 155,2$ graden

hoek tussen lijnen $2. \alpha = 180$ graden maatgevend

hoek $\phi = \arcsin(300 / (750+80)) = 21,2$ graden

	A		B		C	
	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;max;Ed}$ kN	$M_{T;Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	59,2	36,6	59,2	36,6		
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,5	42,3	64,5	42,3		
BG 1a - (wind (45 gr))	37,5	25,4	61,6	38,0		
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	59,7	41,0	65,2	42,6		
1a- Bundelbr.-(90 gr)	44,8	28,8	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	49,5	32,3	0,0	0,0		
1a- Bundelbr.-(45 gr)	37,1	25,4	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	44,3	30,5	0,0	0,0		

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 20

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 19

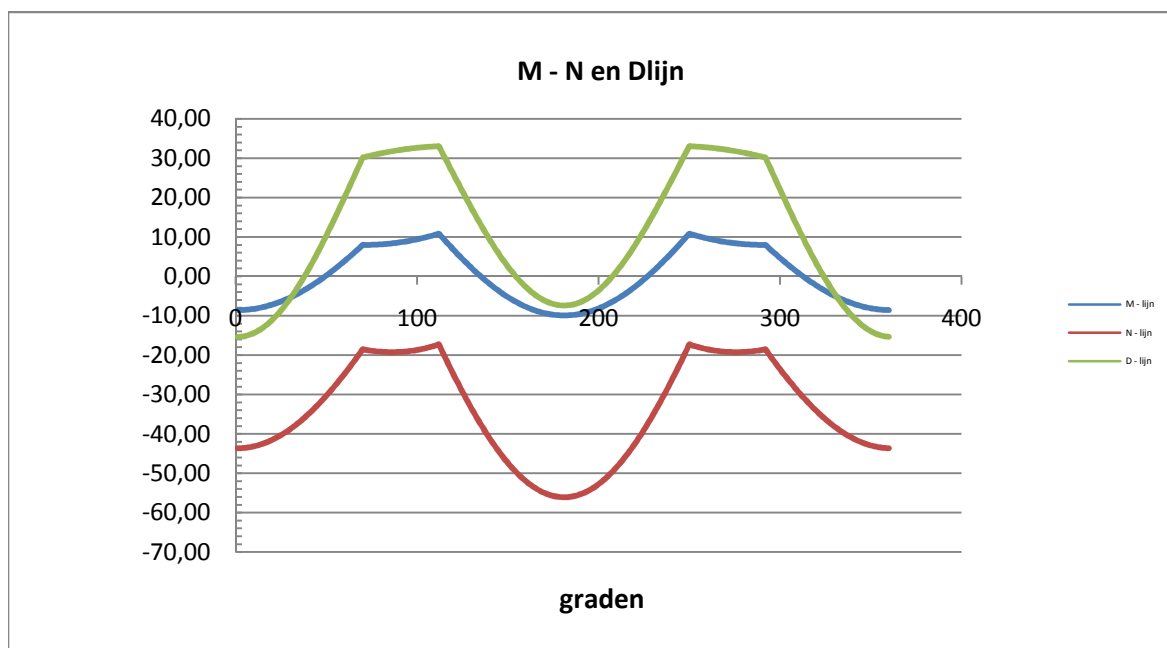
Maatgevende belastinggeval : BG 3 - wind 90 gr. + ijs

φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-8,58	-43,63	-15,39	0,87	8,84
15,0	-7,71	-42,32	-12,71	2,55	25,98
30,0	-5,16	-38,45	-5,02	4,08	41,56
45,0	-1,08	-32,26	6,75	5,36	54,63
60,0	4,29	-24,12	21,09	3,75	38,14
75,0	8,03	-18,92	30,83	0,64	6,50
90,0	8,67	-19,14	32,13	1,40	14,25
105,0	10,07	-18,05	32,89	3,77	38,41
120,0	6,30	-25,74	25,08	6,68	68,06
135,0	-0,39	-38,25	12,38	5,16	52,59
150,0	-5,55	-47,91	1,88	3,26	33,20
165,0	-8,81	-54,00	-5,02	1,11	11,35
180,0	-9,93	-56,09	-7,42	1,11	11,35
195,0	-8,81	-54,00	-5,02	3,26	33,20
210,0	-5,55	-47,91	1,88	5,16	52,59
225,0	-0,39	-38,25	12,38	6,68	68,06
240,0	6,30	-25,74	25,08	3,77	38,41
255,0	10,07	-18,05	32,89	1,40	14,25
270,0	8,67	-19,14	32,13	0,64	6,50
285,0	8,03	-18,92	30,83	3,75	38,14
300,0	4,29	-24,12	21,09	5,36	54,63
315,0	-1,08	-32,26	6,75	4,08	41,56
330,0	-5,16	-38,45	-5,02	2,55	25,98
345,0	-7,71	-42,32	-12,71	0,86	8,80
360,0	-8,58	-43,62	-15,38	0,00	0,04

$$F_{s,d,langs} = \Delta M_{s,d} \cdot S / I$$

$$S = 182250 \text{ mm}^3$$

$$I = 17896923 \text{ mm}^4$$



Controle spanningen :

$N_{Ed,max} =$	56,1	kN	$N_{Rd} =$	2790	kN
$M_{y,Ed,max} =$	10,83	kNm	$M_{Rd} =$	33	kNm
$M_{w,Ed,max} =$	43,0	kNm	$M_{Rd} =$	19893	kNm
$V_{Ed,max} =$	33,0	kN	$V_{Rd} =$	369	kN

$N_{Ed,max} / N_{Rd} =$	56,09	/	2790	=	0,02	< 1,0 -- Voldoet
	$\sigma_N =$	4,8				N/mm ²

$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} =$	10,83	/	32,8	=	0,33	< 1,0 -- Voldoet
	$\sigma_b =$	78,2				N/mm ²

$V_{Ed,max} / V_{Rd} =$	33,03	/	369	=	0,09	< 1,0 -- Voldoet
	$\tau_z =$	12,2				N/mm ²

Bij maximale moment : $N_{Ed} = 56,09$
 $V_{Ed} = 7,42$

$\sigma_b + \sigma_N =$	78,2	+	4,8	=	83,0	N/mm ²	< 236 MPa -- Voldoet
$\tau_z =$	2,7					N/mm ²	

$$\sigma_{vlg} = \{ (\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_z^2 \}^{0,5}$$

$\sigma_{vlg} =$	83	N/mm ²	< 236 MPa -- Voldoet
------------------	----	-------------------	----------------------

Controle spanningen in las.

Per bevestiging (2 * bevestigingspunten en 2 * ringen)

$F_{R,1,h} =$	64,53	kN
$F_{T,1,h} =$	49,39	kN
$F_z =$	14,69	kN
$F_{Langs,Ed} =$	68,06	kN

$$L_{las} = b_{m,ring} = 0,138 \cdot t \cdot \pi \cdot (E/fy)^{0,5} = 210 \text{ mm}$$

of

$$L_{las} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 160 \text{ mm} - \text{maatgevend}$$

$$\text{lasdikte } a = 5 \text{ mm} - \text{hoeklas}$$

t.g.v. $F_{R,1,h}$:

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{R,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 28,5 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{T,1,h}$:

$$\tau_2 = F_{T,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 30,87 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{Langs,Ed}$:

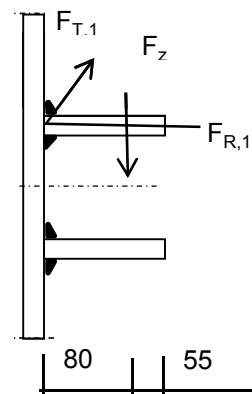
$$\tau_2 = F_{Langs,Ed,max} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 42,54 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. F_z :

$$\sigma_1 = \tau_1 = [(F_z \cdot 1000 \cdot 80) / (t_{ring} + 2 \cdot a / 3)] / (a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 44,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 73,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 193,7 \text{ N/mm}^2$$



Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{w;u;d} = f_{t;d} / (\beta * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

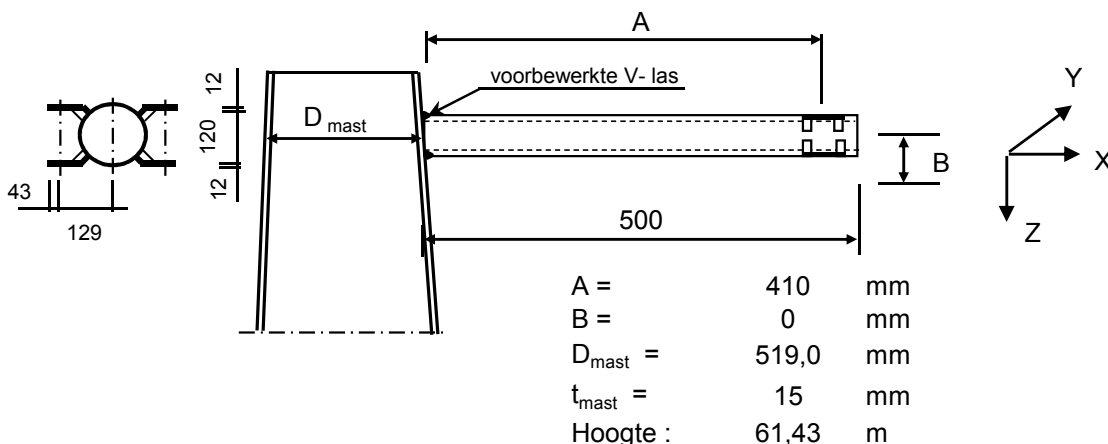
$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \quad \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 193,7 / 302,2 = 0,64 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 73,0 / 244,8 = 0,30 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.2 - Berekening draagarm bliksemdraad



Buisgegevens

Buis Ø168,3 * 8 - S355 ;

$$\gamma_{m,extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal - S 355 ; } f_y = 355 / \gamma_{m,extra} = 236,7 \text{ N/mm}^2$$

$A = 4029 \text{ mm}^2$	$N_{Ed} = A * f_y = 953 \text{ kN}$
$W_y = W_z = 1,54E+05 \text{ mm}^3$	$M_{y,Ed} = W_y * f_y = 36,5 \text{ kNm}$
$W_x = 3,08E+05 \text{ mm}^3$	$M_{z,Ed} = W_z * f_y = 36,5 \text{ kNm}$
	$M_{x,Ed} = W_x * f_y / 3^{0,5} = 42,1 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = 0,5 * A * f_y / 3^{0,5} = 275,2 \text{ kN}$

Belastingen : Zie KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-001 38 V10.0 - Appendix N en N1

	AHEAD			BACK		
	F_x	F_y	F_z	F_x	F_y	F_z
	N	N	N	N	N	N
BG 1a - (wind (90 gr))	20429	32679	2228	20429	-32679	2228
BG 3 - (wind (90) + ijs)	32450	58151	9246	32450	-58151	9246
BG 1a - (wind (45 gr))	9102	17936	2226	21514	-34170	2228
BG 3 - (wind (45) + ijs)	26385	54955	9244	33116	-58719	9247
BG 1a - bundelbr. (90gr).	13529	23228	2227	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (90gr+ijs).	20828	35526	3797	0	0	0
BG 1a - bundelbr. (45gr).	8595	17608	2226	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (45gr+ijs).	13832	28363	3796	0	0	0
BG 1a - bundelbr. (-45gr).	14071	23957	2227	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (-45gr+ijs)	21594	36481	3798	0	0	0

F_x = Transverse kracht

F_y = Longitudinale kracht

F_z = Verticale kracht

	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$F_{z,Ed}$ kN	$M_{x,Ed}$ kNm	$M_{y,Ed}$ kNm	$M_{z,Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	40,858	0	4,456	0,00	1,83	0,00
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,9	0	18,492	0,00	7,58	0,00
BG 1a - (wind (45 gr))	30,616	16,234	4,454	0,00	1,83	6,66
BG 3 - (wind (45) + ijs)	59,501	3,764	18,491	0,00	7,58	1,54
BG 1a - bundelbr. (90gr).	13,529	23,228	2,227	0,00	0,91	9,52
BG 3 - bundelbr. (90gr+ijs).	20,828	35,526	3,797	0,00	1,56	14,57
BG 1a - bundelbr. (45gr).	8,595	17,608	2,226	0,00	0,91	7,22
BG 3 - bundelbr. (45gr+ijs).	13,832	28,363	3,796	0,00	1,56	11,63
BG 1a - bundelbr. (-45gr).	14,071	23,957	2,227	0,00	0,91	9,82
BG 3 - bundelbr. (-45gr+ijs)	21,594	36,481	3,798	0,00	1,56	14,96

$$M_{x,Ed} = F_{y,Ed} * B ; B = 0$$

$$M_{y,Ed} = F_{z,Ed} * A \pm F_{x,Ed} * B ; M_{y,Ed,max} = F_{z,Ed} * A$$

$$M_{z,Ed} = F_{y,Ed} * A$$

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - bundelbreuk (wind -45 gr + ijs)

$$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 1,56 / 36 = 0,04 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 10,1 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 14,96 / 36 = 0,41 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,z} = 97,0 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 21,59 / 953 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 5,4 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 3,80 / 275 = 0,01 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{y,Ed} / V_{y,Rd} = 36,48 / 275 = 0,13 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_y = 18,1 \text{ N/mm}^2$$

Maximale spanning

$$\sigma_{max} = (\sigma_{b,y}^2 + \sigma_{b,z}^2)^{0,5} + \sigma_N = 103 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{max}^2 + 3*\tau_y^2 + 3*\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 108 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{M,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Buis 168,3*8 :

Lassen : Rondom voorbereikte V- las met volledige doorsnede doorlassen

9.2.1 - Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast

Momentcapaciteit in het vlak

buis	d_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	519,0	15,0	23751	S355	355	2908675
1	168,3	8,0	4029	S355	355	154162

$$M_{ip,1,Rd} = \{4,85 * (f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (\beta * k_p * g^{0,5})\} / \gamma_{M5}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\theta_1 = 90 \quad \text{graden} ; \quad \beta = d_i / d_0 = 0,32$$

$$\gamma = d_0 / 2 * t_0 = 17,3$$

$$n_p = \{N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0})\} + \{M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0})\}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 20,32 \quad \text{kN} \quad \text{drukkracht} \\ M_{0,Ed} = 14,09 \quad \text{kNm} \end{array} \right\} \text{ t.g.v. max. belasting}$$

$$n_p = 0,02 \quad \text{of} \quad n_p = -0,011$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \quad (\text{trek}) ;$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2, \text{ voor } n_p > 0 \quad (\text{druk}) \text{ maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 1,00$$

$$M_{ip,1,Rd} = 58,3 \quad \text{kNm}$$

Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{ip,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((1 + 3 * \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 58,1 \quad \text{kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{ip,1,Rd} = 7,58 / 58,1 = 0,13 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Momentcapaciteit uit het vlak

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (2,7 / (1 - 0,81 * \beta)) * k_p\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 32,7 \quad \text{kNm}$$

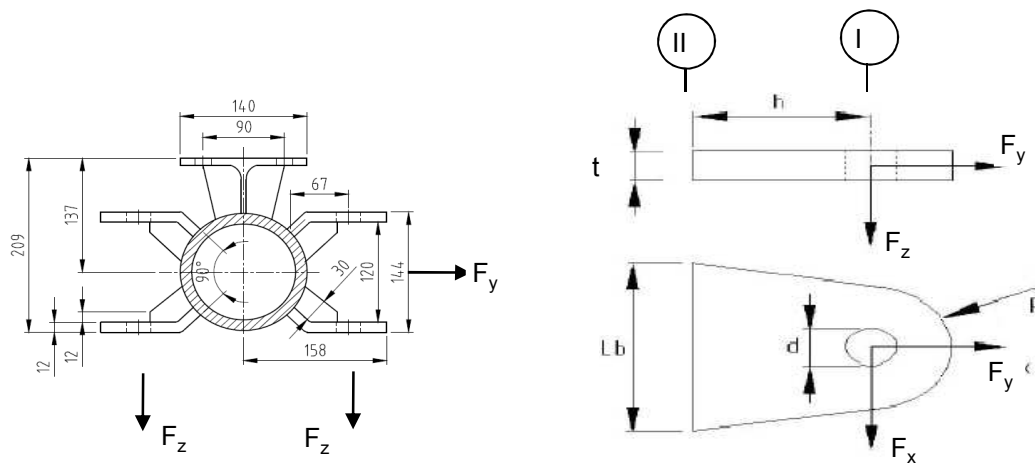
Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((3 + \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 58,1 \quad \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} / M_{op,1,Rd} = 14,96 / 32,7 = 0,46 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.2.2 - Berekening clip bliksemdraad (clip type 2)



R = 42 mm ; t = 12 mm
Lb = 120 mm ; d = 27 mm
h = 65 mm ; a las = 5 mm (hoeklas)

Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

	F _{x,Ed} kN	F _{y,Ed} kN	F _{z,Ed} kN
BG 1a - (wind (90 gr))	20,43	32,68	2,23
BG 3 - (wind (90) + ijs)	32,45	58,15	9,25
BG 1a - (wind (45 gr))	9,10	17,94	2,23
BG 3 - (wind (45) + ijs)	26,39	54,96	9,24

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - (wind 90 gr + ijs)

Per clip :	16,23	29,08	9,25
------------	-------	-------	------

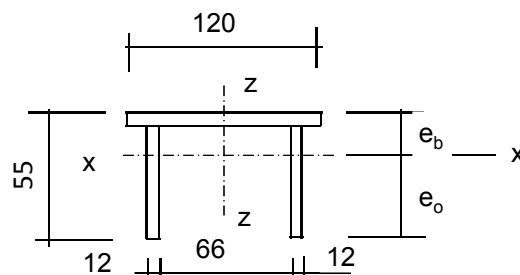
Doorsnede I ; ter hoogte van het gat

$$\text{Per clip: } F_{\text{Ed,max}} = (F_{x,\text{Ed}}^2 + F_{y,\text{Ed}}^2)^{0,5} = 29,4 \text{ kN}$$

$$\tau_{\text{toel}} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 43 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$$

Doorsnede II ; per clips



$$e_b = 17,5 \text{ mm}$$

$$e_o = 37,5 \text{ mm}$$

$$A = 2472 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{schot}} = 1032 \text{ mm}^3$$

$$I_x = 630925 \text{ mm}^4$$

$$W_{x,\min} = 16816 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 3310056 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 55168 \text{ mm}^3$$

$$N_{Rd} = A * f_y = 585 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} = W_{x,\min} * f_y = 4,0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = W_z * f_y = 10,5 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Rd} = A_{\text{schot}} * f_y / 3^{0,5} = 141,0 \text{ kN}$$

$$V_{x,Rd} = A_{\text{ribbe}} * f_y / 3^{0,5} = 196,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 29,08 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 9,25 \text{ kN}$$

$$V_{x,Ed} = 16,23 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = V_{x,Ed} * h = 1,05 \text{ kNm}$$

$$M_{x,Ed} = V_{z,Ed} * h = 0,60 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 29,08 / 585 = 0,05 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 1,05 / 10,5 = 0,10 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,z} = 23,7 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{x,Ed} / M_{x,Rd} = 0,60 / 4,0 = 0,15 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,x} = 35,7 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 9,25 / 141 = 0,07 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 9,0 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{x,Ed} / V_{x,Rd} = 16,23 / 197 = 0,08 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_x = 11,3 \text{ N/mm}^2$$

Maximale spanning

$$\sigma_{\max} = 71,2 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{\max}^2 + 3 * \tau_x^2 + 3 * \tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 75 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \quad \gamma_{m,extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \qquad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : hoeklas 5 mm rondom

$$a = 5 \text{ mm} \qquad t = 12 \text{ mm}$$

$$t_1 = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Per mm las: } \sigma_1 = \tau_1 = \sigma_{max} * t / (2 * a * 2^{0,5})$$

$$\tau_2 = \tau_{y,max} * t / (2 * a) \quad \text{of} \quad \tau_2 = \tau_{z,max} * t_1 / (2 * a)$$

$$\sigma_1 = 60,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 60,4 \text{ N/mm}^2$$

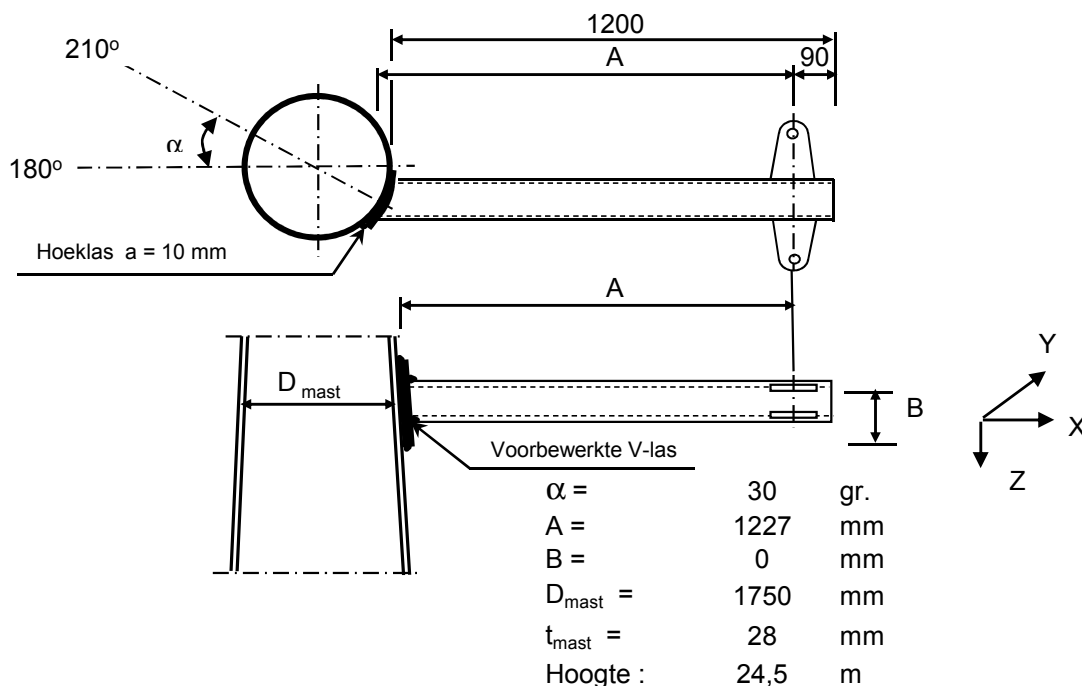
$$\tau_2 = 0 \qquad 13,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{\sigma_1^2 + 3 * (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 123,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 123,1 / 302,2 = 0,41 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \qquad 60,4 / 244,8 = 0,25 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.3 - Berekening draagarm "Retourstroomgeleider"



Buisgegevens

Buis $\varnothing 273 \times 8$ - S355 ;

$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / \gamma_{m;\text{extra}} = 236,7 \text{ N/mm}^2$

$A =$	6660	mm^2	$N_{Ed} = A \cdot f_y =$	1576	kN
$W_y = W_z =$	4,29E+05	mm^3	$M_{y,Ed} = W_y \cdot f_y =$	101,5	kNm
$W_x =$	8,57E+05	mm^3	$M_{z,Ed} = W_z \cdot f_y =$	101,5	kNm
			$M_{x,Ed} = W_x \cdot f_y / 3^{0,5} =$	117,2	kNm
			$V_{Rd} = 0,5 \cdot A \cdot f_y / 3^{0,5} =$	455,0	kN

Belastingen : Zie KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-001 38 V10,0 - Appendix N en N1

	AHEAD			BACK		
	F_x	F_y	F_z	F_x	F_y	F_z
	N	N	N	N	N	N
BG 1a - (wind (90 gr))	31951	53373	4620	31951	-53373	4620
BG 3 - (wind (90) + ijs)	60012	113159	18678	60012	-113159	18678
BG 1a - (wind (45 gr))	18081	36619	4617	33409	-55362	4620
BG 3 - (wind (45) + ijs)	52715	110835	18676	60793	-113667	18679
BG 1a - bundelbr. (90gr).	23161	41797	4618	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (90gr+ijs).	35850	64466	7763	0	0	0
BG 1a - bundelbr. (45gr).	17489	36384	4617	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (45gr+ijs).	27716	57669	7762	0	0	0
BG 1a - bundelbr. (-45gr).	23814	42605	4618	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (-45gr+ijs)	36772	65513	7764	0	0	0

$F_x =$ Transverse kracht

$F_y =$ Longitudinale kracht

$F_z =$ Verticale kracht

	$F_{x,Ed}$	$F_{y,Ed}$	$F_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	63,902	0	9,24	0,00	11,34	0,00
BG 3 - (wind (90) + ijs)	120,024	0	37,356	0,00	45,84	0,00
BG 1a - (wind (45 gr))	51,49	18,743	9,237	0,00	11,34	23,00
BG 3 - (wind (45) + ijs)	113,508	2,832	37,355	0,00	45,84	3,48
BG 1a - bundelbr. (90gr).	23,161	41,797	4,618	0,00	5,67	51,30
BG 3 - bundelbr. (90gr+ijs).	35,85	64,466	7,763	0,00	9,53	79,12
BG 1a - bundelbr. (45gr).	17,489	36,384	4,617	0,00	5,67	44,65
BG 3 - bundelbr. (45gr+ijs).	27,716	57,669	7,762	0,00	9,53	70,77
BG 1a - bundelbr. (-45gr).	23,814	42,605	4,618	0,00	5,67	52,29
BG 3 - bundelbr. (-45gr+ijs)	36,772	65,513	7,764	0,00	9,53	80,40

$$M_{x,Ed} = F_{y,Ed} * B ; B = 0$$

$$M_{y,Ed} = F_{z,Ed} * A \pm F_{x,Ed} * B ; M_{y,Ed,max} = F_{z,Ed} * A$$

$$M_{z,Ed} = F_{y,Ed} * A$$

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - bundelbreuk (wind -45 gr + ijs)

$$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 9,53 / 101 = 0,09 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 80,40 / 101 = 0,79 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 36,77 / 1576 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 5,5 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 7,76 / 455 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 2,3 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{y,Ed} / V_{y,Rd} = 65,51 / 455 = 0,14 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_y = 19,7 \text{ N/mm}^2$$

Maximale spanning

$$\sigma_{max} = (\sigma_{b,y}^2 + \sigma_{b,z}^2)^{0,5} + \sigma_N = 194 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{max}^2 + 3*\tau_y^2 + 3*\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 197 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{M,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

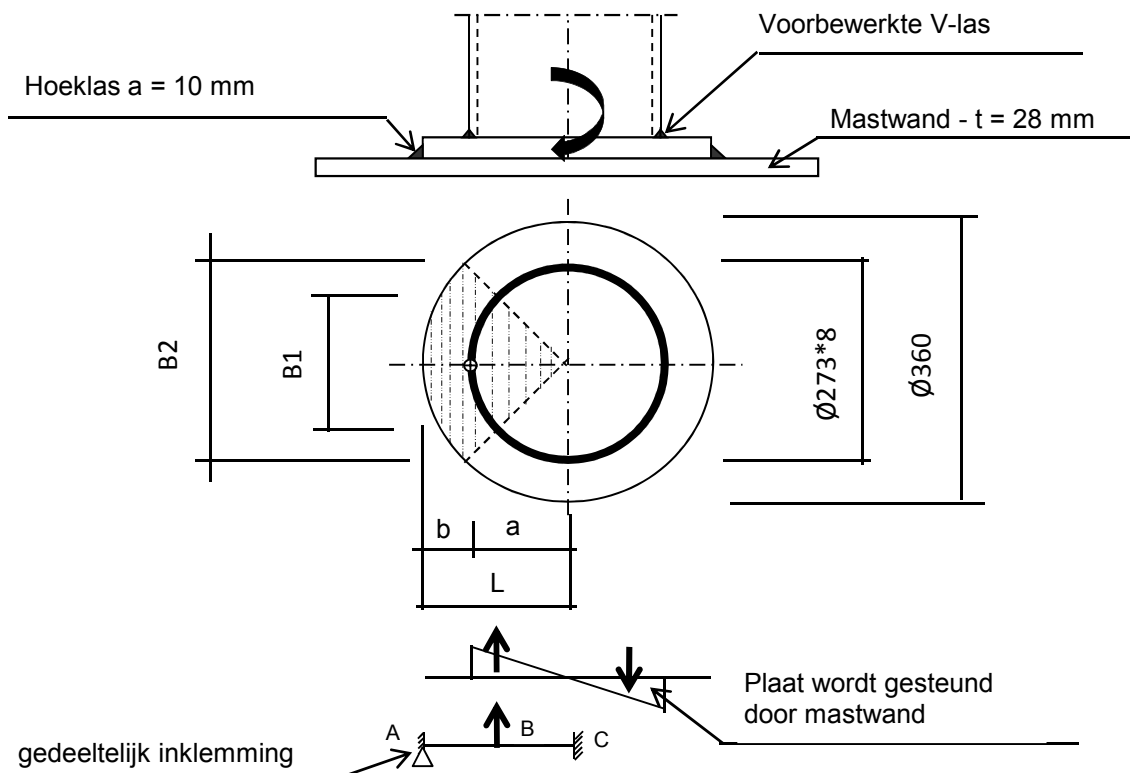
$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Buis 273*8 aan de versterkingsplaat

Lassen : Rondom voorberewte V- las met volledige doorsnede doorlassen

Berekening versterkingsplaat



Plaat rond 360 * 25 - S355

Buis Ø273 * 8 - S355 ;
 $A = 6660 \text{ mm}^2$
 $W = 428697 \text{ mm}^3$
 $I = 58517143 \text{ mm}^4$
 $R = 137 \text{ mm}$

Hoeklas a = 10,0 mm
 $\gamma_{m;extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

Maatgevend belasting

$$M_{ed,max} = (M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2)^{0,5} = 81,0 \text{ kNm}$$

$$F_{Ed} = [((M_{Ed} * R_{buis} / I) * (1 + \cos 45^\circ)) / 2] * (A_{buis} / 4)$$

$$F_{Ed} = 268,4 \text{ kN}$$

$$a = R_{buis} = 136,5$$

$$b = R_{pl} - a = 43,5$$

$$B1 = 193,0 \text{ mm} ; \text{ Boog B1} = 214 \text{ mm}$$

$$B2 = 254,6 \text{ mm} ; \text{ Boog B2} = 283 \text{ mm}$$

$$\text{Percentage inklemming} = a_{las} / t_{pl} = 40,0\%$$

$$\text{Percentage vrij oplegging} = 60,0\%$$

Volledig opleggingg:

$$M_{A;Ed} = 0 \quad 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{B;Ed} = (F_{Ed} * b/2) * (2 - 3*b/L + b^3/L^3) = 7,53 \text{ kNm}$$

$$R_{A;Ed} = (F_{Ed} * a^2 / 2.L^3) * (b + 2.L) = 173,0 \text{ kN}$$

Volledig inklemming:

$$\begin{aligned} M_{A;Ed} &= (F_{Ed} * b * a^2 / L^2) = & 6,71 & \text{ kNm} \\ M_{B;Ed} &= (2 * F_{Ed} * a^2 * b^2 / L^3) = & 3,25 & \text{ kNm} \\ R_{A;Ed} &= F_{Ed} * (a / L)^2 * (1 + 2 * b / L) = & 229,0 & \text{ kN} \end{aligned}$$

Gedeeltelijk inklemming:

$$\begin{aligned} M_{A;Ed} &= 0,0 * 60,0\% + 6,7 * 40,0\% = 2,69 \text{ kNm} \\ M_{B;Ed} &= 7,5 * 60,0\% + 3,2 * 40,0\% = 5,81 \text{ kNm} \\ R_{A;Ed} &= 173,0 * 60,0\% + 229,0 * 40,0\% = 195,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{A;Rd} &= ((1/4) * t_{pl}^2 * \text{Boog B2} * 355 / 1,5) / 10^{-6} = 10,46 \text{ kNm} \\ M_{B;Rd} &= ((1/4) * t_{pl}^2 * \text{Boog B1} * 355 / 1,5) / 10^{-6} = 7,93 \text{ kNm} \\ M_{A;Ed} / M_{A;Rd} &= 2,69 / 10,46 = 0,26 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\ \sigma_{b,A} &= 60,8 \text{ N/mm}^2 \\ M_{B;Ed} / M_{B;Rd} &= 5,81 / 7,93 = 0,73 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\ \sigma_{b,B} &= 173,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Ter plaatse van buiten ring:

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 195,4 \text{ kN} \\ \tau &= V_{Ed} * 1000 / t_{pl} * \text{Boog B2} = 27,6 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Ter plaatse van binnen ring :

$$\begin{aligned} \tau &= V_{Ed} * 1000 / t_{pl} * \text{Boog B1} = 36,4 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{vlg,max} &= \{ \sigma_b^2 + 3 * \tau^2 \}^{0,5} = 184,7 \text{ N/mm}^2 \\ &< 237 \text{ MPa -- Voldoet} \end{aligned}$$

Controle spanningen in las.

Toetsing regel :

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed} &\leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \\ f_{v,w,d} &= f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3)) \\ \gamma_M &= 1,25 ; \gamma_{m;extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)} \\ \text{Materiaal S 355} &\text{ ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9 \\ f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) &= 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Lassen hoeklas a = 10 mm rondom

Per mm las:

t.g.v buigspanning:

$$\sigma_1 = \tau_1 = \sigma_b * t / (1 * a * 2^{0,5}) = 107,5 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v schuifspanning:

$$\sigma_1 = \tau_1 = \pm \tau * t / (1 * a * 2^{0,5}) = 48,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\sigma_{1,\max} &= 107,5 + 48,9 = 156,3 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{1,\max} &= 107,5 - 48,9 = 58,6 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_2 &= 0 \\ \sigma_{\text{Ed}} &= \{\sigma_1^2 + 3 * (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 186,4 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{\text{Ed}} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) &= 186,4 / 302,2 = 0,62 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\ \sigma_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} &= 156,3 / 244,8 = 0,64 < 1,0 \text{ -- Voldoet}\end{aligned}$$

9.3.1 - Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast

Momentcapaciteit in het vlak

buis	d_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	1750,2	28,0	151493	S355	355	64198753
Plaat	360,0		101788	S355	355	4580442

$$M_{ip,1,Rd} = \{4,85 * (f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (\beta * k_p * g^{0,5})\} / \gamma_{M5}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\theta_1 = 90 \quad \text{graden} ; \quad \beta = d_i / d_0 = 0,21$$

$$\gamma = d_0 / 2 * t_0 = 31,3$$

$$n_p = \{N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0})\} + \{M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0})\}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 514,4 \quad \text{kN} \quad \text{drukkracht} \\ M_{0,Ed} = 15584,4 \quad \text{kNm} \end{array} \right\} \text{ t.g.v. max. belasting}$$

$$n_p = 0,69 \quad \text{of} \quad n_p = -0,674$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \quad (\text{trek}) ;$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2, \text{ voor } n_p > 0 \quad (\text{druk}) \text{ maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,65$$

$$M_{ip,1,Rd} = 241,3 \quad \text{kNm}$$

Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{ip,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((1 + 3 * \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 495,8 \quad \text{kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{ip,1,Rd} = 45,84 / 241,3 = 0,19 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Momentcapaciteit uit het vlak

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (2,7 / (1 - 0,81 * \beta)) * k_p\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 140,2 \quad \text{kNm}$$

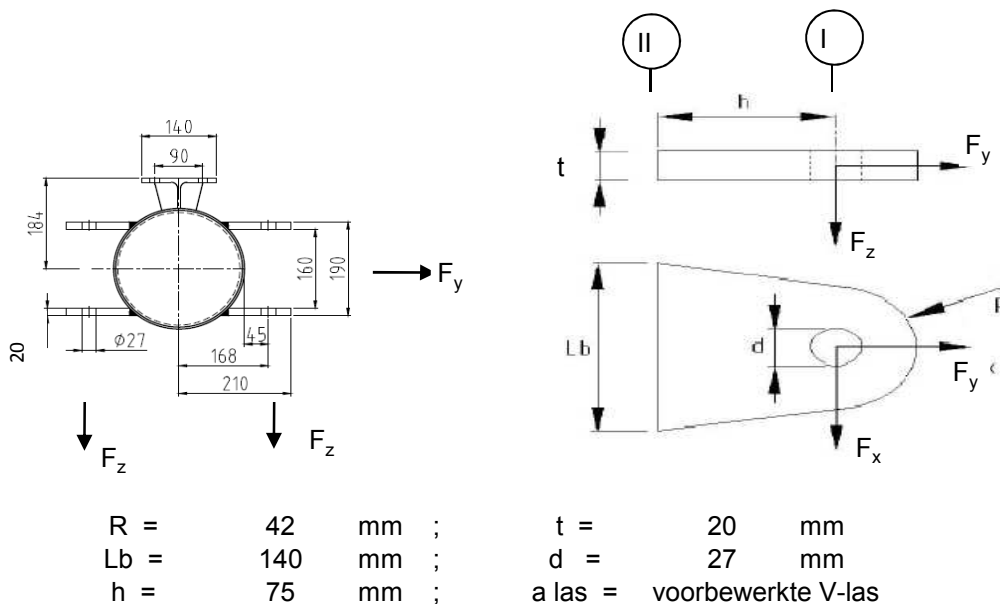
Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((3 + \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 495,8 \quad \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} / M_{op,1,Rd} = 80,40 / 140,2 = 0,57 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.3.2 - Berekening clip "Retourstroomeleider" (clip type 2)



Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$F_{z,Ed}$ kN
BG 1a - (wind (90 gr))	31,95	53,37	4,62
BG 3 - (wind (90) + ijs)	60,01	113,16	18,68
BG 1a - (wind (45 gr))	18,08	36,62	4,62
BG 3 - (wind (45) + ijs)	52,72	110,84	18,68

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - (wind 90 gr + ijs)

Per clip :	30,01	56,58	18,68
------------	--------------	--------------	--------------

Doorsnede I ; ter hoogte van het gat

Per clip: $F_{Ed,max} = (F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2)^{0,5} = 57,3 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 50 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips

$A = 2800 \text{ mm}^2$	$N_{Rd} = A * f_y = 663 \text{ kN}$
$W_z = 6,53E+04 \text{ mm}^3$	$M_{z,Rd} = W_z * f_y = 15,5 \text{ kNm}$
$W_x = 9,33E+03 \text{ mm}^3$	$M_{x,Rd} = W_x * f_y = 2,2 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = A * f_y / 3^{0,5} = 382,6 \text{ kN}$
$N_{Ed} = 56,58 \text{ kN}$	$M_{z,Ed} = V_{x,Ed} * h = 2,25 \text{ kNm}$
$V_{z,Ed} = 18,68 \text{ kN}$	$M_{x,Ed} = V_{z,Ed} * h = 1,40 \text{ kNm}$
$V_{x,Ed} = 30,01 \text{ kN}$	

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} / N_{Rd} &= 56,58 / 663 = 0,09 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_N &= 20,2 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{z,Ed} / M_{z,Rd} &= 2,25 / 15,5 = 0,15 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,z} &= 34,4 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{x,Ed} / M_{x,Rd} &= 1,40 / 2,2 = 0,63 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,x} &= 150,1 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{z,Ed} / V_{z,Rd} &= 18,68 / 383 = 0,05 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_z &= 6,7 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{x,Ed} / V_{x,Rd} &= 30,01 / 383 = 0,08 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_x &= 10,7 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maximale spanning

$$\sigma_{\max} = 204,7 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{\max}^2 + 3\tau_x^2 + 3\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 206 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

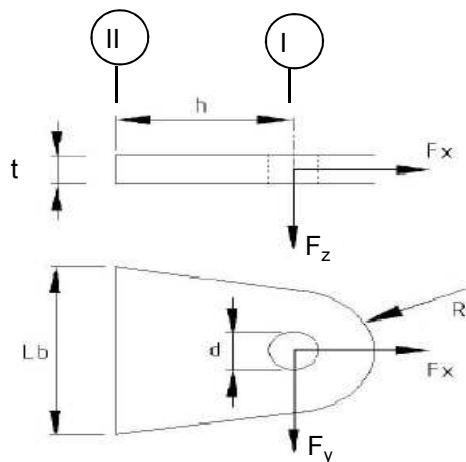
$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{m,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : Rondom voorberekte V- las met volledige doorsnede doorlassen

9.4 - Berekening Clip 17 - t.b.v installatie geleiders (op 0,5m hoogte)



R =	55	mm	;	t =	20	mm
Lb =	110	mm	;	d =	27	mm
h =	55	mm	;	las :	Voorbeverklte K-las	

$\gamma_{m,extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)
Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$F_{z,Ed}$ kN
BG 200 kN	141,42	141,42	0,00
of	0,00	200,00	

Doorsnede I ; ter hoogte van de gat (twee clips)

Per clip: $F_{Ed,max} = 0,5 * (F_{y,Ed}^2 + F_{x,Ed}^2)^{0,5} = 100,0 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 60 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips (twee clips)

A =	2200	mm ²	$N_{Rd} = A * f_y =$	521	kN
$W_y =$	4,03E+04	mm ³	$M_{x,Rd} = W_y * f_y =$	9,5	kNm
$W_z =$	7,33E+03	mm ³	$M_{y,Rd} = W_z * f_y =$	1,7	kNm
			$V_{Rd} = A * f_y / 3^{0,5} =$	300,6	kN
$N_{Ed} =$	70,71	kN	$M_{y,Ed} = V_{y,Ed} * h =$	3,889	kNm
$V_{y,Ed} =$	70,71	kN			

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} / N_{Rd} &= 70,71 / 521 = 0,14 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_N &= 32,1 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{y,Ed} / M_{y,Rd} &= 3,89 / 10 = 0,41 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,y} &= 96,4 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{z,Ed} / V_{z,Rd} &= 70,71 / 301 = 0,24 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_y &= 32,1 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maximale buigspanning

$$\sigma_{b,max} = \{ 32,1 + 96,4 \} = 128,6 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,max}^2 + 3 \cdot \tau_y^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 140 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa -- Voldoet}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 0,00 \text{ kN} & M_{y,Ed} &= V_{y,Ed} \cdot h = 5,500 \text{ kNm} \\
 V_{y,Ed} &= 100,00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{y,Ed} / M_{y,Rd} &= 5,50 / 10 = 0,58 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,y} &= 136,4 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{z,Ed} / V_{z,Rd} &= 100,00 / 301 = 0,33 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_y &= 45,5 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,max}^2 + 3 \cdot \tau_y^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 157 \text{ N/mm}^2 < 230 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las.

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{M,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \qquad 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : Voorbewerkte K- las met volledige doorsnede doorlassen

9.4.1 - Controle capaciteit van de aansluiting

Plaats van de aansluiting ; 0,5m boven voetplaat

buis/plaat	d_i / h_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	2550,3	28,0	221876	S355	355	138392000
clip	110,0	20,0	2200	S355	355	40333

$$N_{i,Rd} = \{ (5 * k_p * f_{y0} * t_0^2) * (1 + 0,25 * \eta) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,i,Rd} = h_i * N_{i,Rd} ; \quad M_{op,i,Rd} = 0$$

Toepassingsgebied:

$$\eta = h_i / d_0 \leq 4 \quad h_i / d_0 = 0,04 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\eta = h_i / d_0 = 0,04$$

$$n_p = \{ N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0}) \} + \{ M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0}) \}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 1024,7 \text{ kN} \\ M_{0,Ed} = 38531,8 \text{ kNm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{drukkracht} \\ \text{t.g.v. max. belasting} \end{array}$$

$$n_p = 0,80 \quad \text{of} \quad n_p = -0,771$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \text{ (trek)}$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \text{ (druk) maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,57$$

$$N_{1,Rd} = 534,6 \text{ kN} \quad \text{--->} \quad > N_{1,Ed} ; \text{ voldoet}$$

$$N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 70,71 / 534,6 = 0,13 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$M_{op,i,Rd} = 58,8 \text{ kNm} \quad \text{--->} \quad > M_{1,Ed} ; \text{ voldoet}$$

$$M_{1,Ed} / M_{op,1,Rd} = 3,89 / 58,8 = 0,07 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Pons controle

$$\sigma_{\max, t_i} = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) * t_i \leq \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5}$$

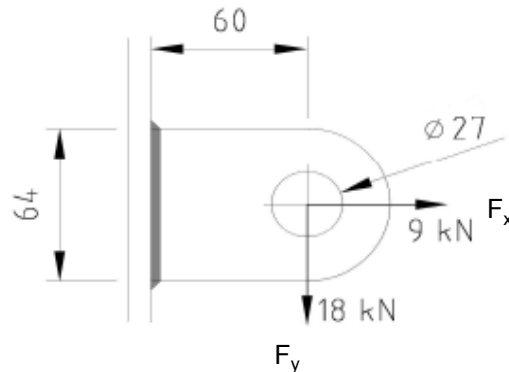
$$N_{1,Ed} = 70,71 \text{ kN} ; \quad M_{1,Ed} = 3,889 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{l} \sigma_{\max, t_i} = 2571 \text{ N/mm}^2 \\ \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5} = 7652 \text{ N/mm}^2 \end{array} \quad \text{--->} \quad \text{voldoet}$$

9.5 - Berekening clip hulprail - clip 8

Clip hoogte:

61,43 - 59,93 - 51,8 - 49,3 - 41,8 - 39,3 - 31,8 - 29,3 m



R =	32	mm	;	t =	20	mm
Lb =	64	mm	;	d =	27	mm
h =	60	mm	;	a las =	5	mm - hoeklas

$\gamma_{m;extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

$F_{x,Ed}$	$F_{y,Ed}$	$F_{z,Ed}$
kN	kN	kN
9,00	18,00	0,00

Doorsnede I ; ter hoogte van het gat

Per clip: $F_{Ed,max} = (F_{y,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2)^{0,5} = 20,1 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 27 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips

A =	1280	mm ²	$N_{Rd} = A * f_y =$	303	kN
$W_y =$	1,37E+04	mm ³	$M_{x,Rd} = W_y * f_y =$	3,2	kNm
$W_z =$	4,27E+03	mm ³	$M_{y,Rd} = W_z * f_y =$	1,0	kNm
			$V_{Rd} = A * f_y / 3^{0,5} =$	174,9	kN

$N_{Ed} =$	9,00	kN	$M_{y,Ed} = V_{y,Ed} * h =$	1,080	kNm
$V_{y,Ed} =$	18,00	kN			

$N_{Ed} / N_{Rd} = 9,00 / 303 = 0,03 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$
 $\sigma_N = 7,0 \text{ N/mm}^2$

$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 1,08 / 3 = 0,33 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$
 $\sigma_{b,y} = 79,1 \text{ N/mm}^2$

$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 18,00 / 175 = 0,10 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$
 $\tau_y = 14,1 \text{ N/mm}^2$

Maximale buigspanning

$$\sigma_{b,max} = \{ 7,0 + 79,1 \} = 86,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,max}^2 + 3 \cdot \tau_y^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 90 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{m,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : hoeklas 5 mm rondom

$$a = 5 \text{ mm} \quad t = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Per mm las: } \sigma_1 = \tau_1 = \sigma_{max} \cdot t / (2 \cdot a \cdot 2^{0,5})$$

$$\tau_2 = \tau_{max} \cdot t / (2 \cdot a)$$

$$\sigma_1 = 121,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 121,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = 0 \quad 28,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 248,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 248,4 / 302,2 = 0,82 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad 121,8 / 244,8 = 0,50 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.5.1 - Controle capaciteit van de aansluiting

Clip op 29.3 meter hoogte - (diameter buis maximum)

buis/plaat	d_i / h_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	1590,2	25,0	122929	S355	355	47357080
clip	64,0	20,0	1280	S355	355	13653

$$N_{i,Rd} = \{ (5 * k_p * f_{y0} * t_0^2) * (1 + 0,25 * \eta) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,i,Rd} = h_i * N_{i,Rd} ; \quad M_{op,i,Rd} = 0$$

Toepassingsgebied:

$$\eta = h_i / d_0 \leq 4 \quad h_i / d_0 = 0,04 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\eta = h_i / d_0 = 0,04$$

$$n_p = \{ N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0}) \} + \{ M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0}) \}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 425,5 \text{ kN} \quad \text{drukkracht} \\ M_{0,Ed} = 12278,1 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ t.g.v. max. belasting}$$

$$n_p = 0,74 \quad \text{of} \quad n_p = -0,721$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \text{ (trek)}$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \text{ (druk) maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,61$$

$$N_{1,Rd} = 458,4 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 9,00 / 458,4 = 0,02 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$M_{op,i,Rd} = 29,3 \text{ kNm}$$

$$M_{1,Ed} / M_{op,1,Rd} = 1,08 / 29,3 = 0,04 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Pons controle

$$\sigma_{\max, t_i} = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) * t_i \leq \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Ed} = 9,00 \text{ kN} ; \quad M_{1,Ed} = 1,080 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{\max, t_i} = & 1723 \text{ N/mm}^2 \\ \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5} = & 6832 \text{ N/mm}^2 \text{ ---> voldoet} \end{array}$$

Clip op 51,8 m hoogte -(wanddikte buis minimum / diameter maximum)

buis/plaat	d_i / h_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	840,1	15,0	38880	S355	355	7878898
clip	64,0	20,0	1280	S355	355	13653

$$N_{i,Rd} = \{ (5 * k_p * f_{y0} * t_0^2) * (1 + 0,25 * \eta) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,i,Rd} = h_i * N_{i,Rd} ; \quad M_{op,i,Rd} = 0$$

Toepassingsgebied:

$$\eta = h_i / d_0 \leq 4 \quad h_i / d_0 = 0,08 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\eta = h_i / d_0 = 0,08$$

$$n_p = \{ N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0}) \} + \{ M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0}) \}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 113,9 \text{ kN} \\ M_{0,Ed} = 959,2 \text{ kNm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{drukkracht} \\ \text{t.g.v. max. belasting} \end{array}$$

$$n_p = 0,35 \quad \text{of} \quad n_p = -0,335$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \text{ (trek)}$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \text{ (druk) maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,86$$

$$N_{1,Rd} = 232,7 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 9,00 / 232,7 = 0,04 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$M_{op,i,Rd} = 14,9 \text{ kNm}$$

$$M_{1,Ed} / M_{op,1,Rd} = 1,08 / 14,9 = 0,07 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

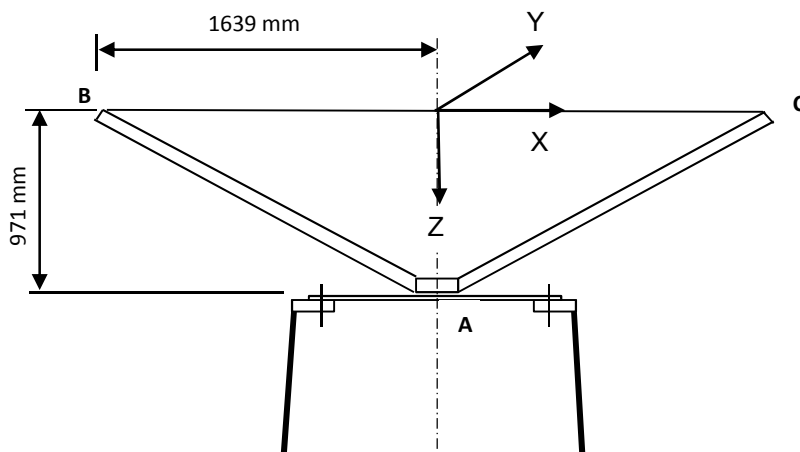
Pons controle

$$\sigma_{\max, t_i} = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) * t_i \leq \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Ed} = 9,00 \text{ kN} ; \quad M_{1,Ed} = 1,080 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{l} \sigma_{\max, t_i} = 1723 \text{ N/mm}^2 \\ \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5} = 4099 \text{ N/mm}^2 \end{array} \quad \text{---> voldoet}$$

9.6 - Ondersteuning hijsbalk op de top van de mast



Buis rond 500 * 15

Afstand aangrijpingspunt tot as = 1639 mm

Hoogte aangrijpingspunt boven ring = 971 mm

Verticale belasting $F_{z,Ed} = 35$ kN

Horizontale belasting $F_{x,Ed} = F_{y,Ed} = 15$ kN

	BG 1	BG 2	BG 3	BG 4
$F_{z;B,Ed}$	35	35	35	35
$F_{z;c,Ed}$	35	0	35	0
$F_{x;B,Ed}$	15	15	0	0
$F_{x;c,Ed}$	15	0	0	0
$F_{y;B,Ed}$	0	0	15	15
$F_{y;c,Ed}$	0	0	-15	0

Verticaal:	$R_{z,A}$ (kN)	70	35	70	35
Horizontaal:	$R_{x(y),A}$ (kN)	30	15	0	0
Moment:	$M_{y(x),A}$ (kNm)	29,13	71,93	0	57,365
Wringing:	$M_{z,A}$ (kNm)	0	0	49,17	24,585

Ringgegevens ;

D-uitwendig	500	mm
D-inwendig	300	mm
StC	360	mm
plaat dikte t =	30	mm

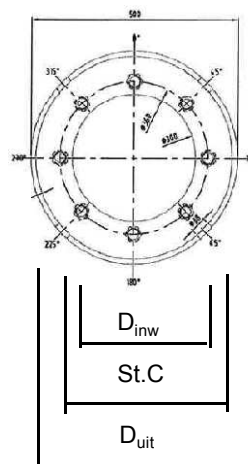
Staalkwaliteit S-355; $f_y = 355$ N/mm²

Aantal bouten 8

Bouten M24 - 8,8

M24 -8,8 :	$F_{t,Rd} = 203,03 / 1,5 = 135,4$	kN
	$F_{v,Rd} = 135,36 / 1,5 = 90,2$	kN

$\gamma_{m,extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)



controle bouten

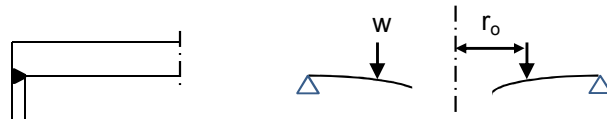
	BG 1	BG 2	BG 3	BG 4	
$F_{t,Ed}$ - kN	31,7	95,5	0,0	75,3	
$F_{v,Ed}$ - kN	3,8	1,9	34,1	17,1	
$F_{t,Ed} / F_{t,Rd} =$	0,23	0,71	0,00	0,56	< 1 ; voldoet
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} =$	0,04	0,02	0,38	0,19	< 1 ; voldoet
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1,4 * F_{t,Rd} =$	0,21	0,52	0,38	0,59	< 1 ; voldoet

Controle ring :

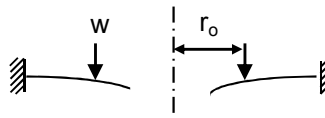
maatgevend belastinggeval : BG2.

Ten gevolge van verticale belasting ; $F_z = 35$ kN

Voor de formule zie: Roark's formulas for stress & strain - Tabel 11,2 - 1



Voor de formule zie: Roark's formulas for stress & strain - Tabel 11,2 - 1e



De ring wordt ondersteunt door buis met een las gelijk aan de dikte van de buis.

Verdeling van belasting:

Percentage inklemming (tabel 11,2-1e) = $t_{buis} / t_{pl} = 50,0\%$

Percentage vrij oplegging = 50,0%

$W = 35,0$ kN

$w_{(ro)} = 31$ N/mm'

$a = 250$ mm

$b = 150$ mm

$r_o = 180$ mm

$v = 0,3$

$E = 210000$ N/mm²

$f_y = 237$ N/mm²

$D = E.t^3 / 12.(1-v^2) = 519230769$

$C_1 = 0,5.(1+v).((b/a).ln(a/b)) + 0,25.((1-v).((a/b)-(b/a))) = 0,3859$

$C_4 = 0,5.[(1+v).(b/a).+ (1-v).(a/b)] = 0,9733$

$C_7 = 0,5.(1-v^2).((a/b)-(b/a)) = 0,4853$

$L_3 = (r_o/4a).{[(r_o/a)^2+1].ln(a/r_o) + (r_o/a)^2 - 1} = 0,0031$

$L_6 = (r_o/4a).[(r_o/a)^2 - 1 + 2.ln(a/r_o)] = 0,0316$

$L_9 = (r_o/a).{0,5*(1+v).ln(a/r_o) + 0,25*(1-v).[1 - (r_o/a)^2]} = 0,2144$

$F_7 = 0,5.(1-v^2).((r/b)-(b/r))$; en voor $r = r_o = 0,1668$

$\theta_b = w . a^2 . L_6 / D . C_4 = 0,0001$

$M_{ra} = \text{percentage inkl.} * w . a (L_9 - C_7 . L_6 / C_4) = 769$ Nmm/mm'

$$Q_a = w \cdot r_o / a = 22 \quad \text{N/mm'}$$

Ten gevolge van moment ; $M_{y,Ed} = 71,93 \quad \text{kNm}$

$$w = F_{\text{bout,max}} / (2 \cdot \pi \cdot r_o / n_{\text{bout}})$$

$$w = (4 \cdot M_{y,Ed} \cdot 1000 / (360 \cdot 8)) / (2 \pi \cdot 180 / 8) = 707 \quad \text{N/mm'}$$

$$M_{ra} = \text{percentage inkl.} \cdot w \cdot a (L_9 - C_7 \cdot L_6 / C_4) = 17550 \quad \text{Nmm/mm'}$$

$$M_{ra;\text{max},Ed} = 18318 \quad \text{Nmm/mm'}$$

$$Q_a = w \cdot r_o / a = 509 \quad \text{N/mm'}$$

$$Q_{a\text{max}} = 531$$

$$M_{Rd} = (1/6) \cdot 1 \cdot t^2 \cdot f_y = 35500 \quad \text{Nmm/mm'}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 18318 / 35500 = 0,52 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 122,1 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_z = w_{\text{tot}} / t = 531 / 30 = 17,70 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,\text{max}}^2 + 3 \cdot \tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 126 \quad \text{N/mm}^2 < 237 \quad \text{MPa} \quad \text{-- Voldoet}$$

Controle spanning in de buis

Buis Ø500 * 15 - S355 ;

$$A = 22855 \quad \text{mm}^2 \quad N_{Ed} = A \cdot f_y = 8114 \quad \text{kN}$$

$$W_y = W_z = 2,69E+06 \quad \text{mm}^3 \quad M_{y,Ed} = W_y \cdot f_y = 955,2 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 35 \quad \text{kN}$$

$$M_{y,Ed} = 71,93 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 35,00 / 8114 = 0,00 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 1,5 \quad \text{N/mm}^2$$

$$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 71,93 / 955 = 0,08 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 26,7 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} = 28,3 \quad \text{N/mm}^2$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \sigma_1 = \sigma_{\text{loodrecht}} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \quad \gamma_{M;\text{extra}} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

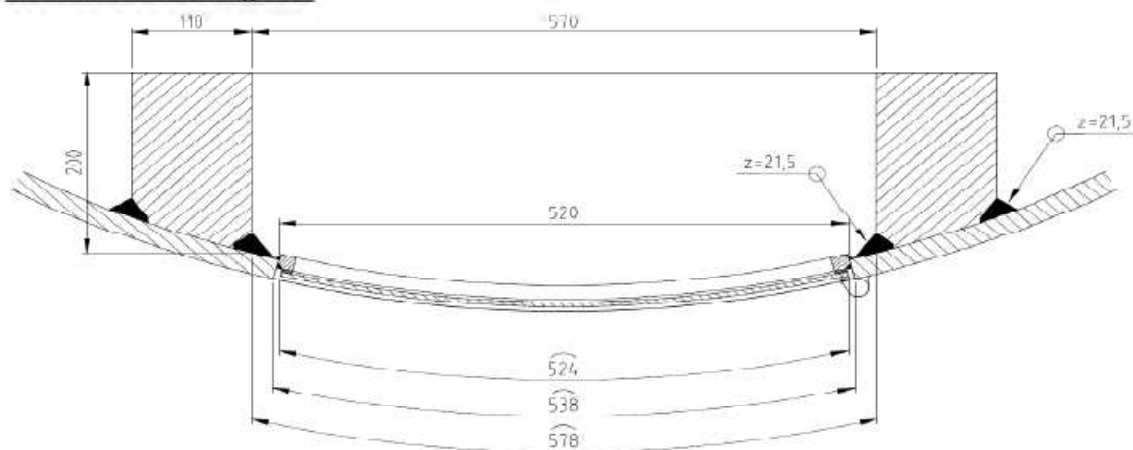
$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 302 \quad \text{N/mm}^2 \quad 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 245 \quad \text{N/mm}^2$$

Lassen : Rondom voorbewerkte V- las met volledige doorsnede doorlassen

9.7 - Berekening versterking deur

Geometrie versterking deur



Doorsnede ter hoogte van de hart opening (1,225m hoogte):

Buisdiameter : 2526 mm
dikte t ; 28 mm

$A_{\text{buis}} = 219750 \text{ mm}^2$

$A_{\text{versterking}} = 40531 \text{ mm}^2$

$A_{\text{verlies}} = 14502 \text{ mm}^2$

$A_{\text{tot}} = 245778 \text{ mm}^2$

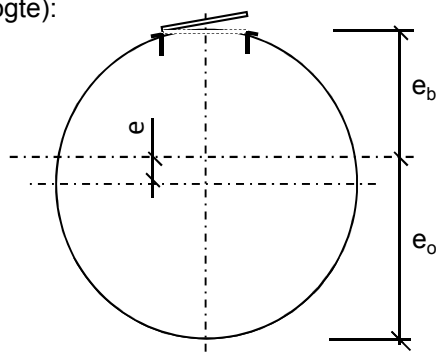
$e = 107,2 \text{ mm}$

$e_b = 1155,9 \text{ mm}$; $e_o = 1370,3 \text{ mm}$

$I_{\text{tot}} = 1,95\text{E}+11 \text{ mm}^4$

$W_{\text{min}} = 1,42\text{E}+08 \text{ mm}^3$

$W_{\text{max}} = 1,69\text{E}+08 \text{ mm}^3$



Krachten: Maximale krachten t.p.v. mastvoet - knoop 28 (inclusief 2^e orde effect)

$M_{\text{Ed}} = 39022 \text{ kNm}$; $N_{\text{Ed}} = 1025 \text{ kN}$

$\sigma_N = N_{\text{Ed}} / A_{\text{tot}} = 4,2 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_b = M_{\text{Ed}} / W_{\text{min}} = 274,3 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{\text{max}} = 4,2 + 274,3 = 278,5 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Bijlage A

Rapport KEMA - 74100224-ETD/POL 12-00138 V10,0 - 18 -11-2013

bijlage N, N1 en N2

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17046	70458	137544	17046	70458	-137544
	380C1F2 / 380C2F2	17046	69655	136876	17046	69655	-136876
	380C1F3 / 380C2F3	17045	68668	136110	17045	68668	-136110
	GW / opgw	2226	9796	18590	2226	9796	-18590
	Comp. gl	4617	18864	37163	4617	18864	-37163
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17036	72973	153782	17036	72973	-153782
	380C1F2 / 380C2F2	17036	72875	153781	17036	72875	-153781
	380C1F3 / 380C2F3	17036	72751	153785	17036	72751	-153785
	GW / opgw	2225	9509	19909	2225	9509	-19909
	Comp. gl	4615	19347	40832	4615	19347	-40832
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	29376	104312	216126	29376	104312	-216126
	380C1F2 / 380C2F2	29376	104020	216089	29376	104020	-216089
	380C1F3 / 380C2F3	29376	103654	216058	29376	103654	-216058
	GW / opgw	9244	26783	54949	9244	26783	-54949
	Comp. gl	18676	53224	110761	18676	53224	-110761
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20053	73762	155471	20053	73762	-155471
	380C1F2 / 380C2F2	20053	73667	155479	20053	73667	-155479
	380C1F3 / 380C2F3	20053	73547	155493	20053	73547	-155493
	GW / opgw	2978	10784	22643	2978	10784	-22643
	Comp. gl	6122	21974	46465	6122	21974	-46465
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	19177	68716	147362	19177	68716	-147362
	380C1F2 / 380C2F2	19177	68716	147362	19177	68716	-147362
	380C1F3 / 380C2F3	19177	68716	147362	19177	68716	-147362
	GW / opgw	2505	9033	19371	2505	9033	-19371
	Comp. gl	5195	18706	40116	5195	18706	-40116
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17045	67119	135061	17057	130900	-213662
	380C1F2 / 380C2F2	17045	66677	134803	17056	124305	-204739
	380C1F3 / 380C2F3	17045	66131	134516	17054	115909	-193419
	GW / opgw	2226	9102	17936	2228	21514	-34170
	Comp. gl	4617	18081	36619	4620	33409	-55362

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1b	380C1F1 / 380C2F1	17036	72547	153803	17037	79755	-157640
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17036	72487	153812	17036	78948	-156952
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17036	72410	153824	17036	77958	-156163
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2225	9428	19902	2225	10900	-20985
	Comp. gl	4615	19245	40840	4615	20946	-41664
3	380C1F1 / 380C2F1	29376	103058	216048	29381	125336	-231339
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	29376	102881	216055	29380	122823	-228863
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	29376	102659	216072	29379	119728	-225957
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	9244	26385	54955	9247	33116	-58719
	Comp. gl	18676	52715	110835	18679	60793	-113667
4	380C1F1 / 380C2F1	20053	73350	155525	20053	79986	-158127
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	20053	73291	155536	20053	79261	-157616
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	20053	73217	155553	20053	78368	-157037
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2978	10709	22648	2978	11966	-23269
	Comp. gl	6122	21877	46484	6122	23381	-46885
1a	380C1F1 / 380C2F1	17056	124980	205651	17056	124980	-205651
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17055	118872	197406	17055	118872	-197406
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17053	111117	186995	17053	111117	-186995
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2228	20429	32679	2228	20429	-32679
	Comp. gl	4620	31951	53373	4620	31951	-53373
1b	380C1F1 / 380C2F1	17036	79030	157020	17036	79030	-157020
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17036	78303	156430	17036	78303	-156430
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17036	77410	155757	17036	77410	-155757
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2225	10748	20825	2225	10748	-20825
	Comp. gl	4615	20776	41527	4615	20776	-41527
3	380C1F1 / 380C2F1	29380	123077	229108	29380	123077	-229108
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	29380	120807	226950	29380	120807	-226950
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	29379	118012	224428	29379	118012	-224428
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	9246	32450	58151	9246	32450	-58151
	Comp. gl	18678	60012	113159	18678	60012	-113159
4	380C1F1 / 380C2F1	20053	79334	157666	20053	79334	-157666
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	20053	78680	157232	20053	78680	-157232

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	20053	77872	156743	20053	77872	-156743
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2978	11840	23167	2978	11840	-23167
	Comp. gl	6122	23237	46803	6122	23237	-46803
1a	380C1F1 / 380C2F1	17057	130900	213662	17045	67119	-135061
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17056	124305	204739	17045	66677	-134803
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17054	115909	193419	17045	66131	-134516
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2228	21514	34170	2226	9102	-17936
	Comp. gl	4620	33409	55362	4617	18081	-36619
1b	380C1F1 / 380C2F1	17037	79755	157640	17036	72547	-153803
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17036	78948	156952	17036	72487	-153812
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17036	77958	156163	17036	72410	-153824
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2225	10900	20985	2225	9428	-19902
	Comp. gl	4615	20946	41664	4615	19245	-40840
3	380C1F1 / 380C2F1	29381	125336	231339	29376	103058	-216048
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	29380	122823	228863	29376	102881	-216055
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	29379	119728	225957	29376	102659	-216072
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	9247	33116	58719	9244	26385	-54955
	Comp. gl	18679	60793	113667	18676	52715	-110835
4	380C1F1 / 380C2F1	20053	79986	158127	20053	73350	-155525
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	20053	79261	157616	20053	73291	-155536
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	20053	78368	157037	20053	73217	-155553
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2978	11966	23269	2978	10709	-22648
	Comp. gl	6122	23381	46885	6122	21877	-46484
1a	380C1F1 / 380C2F1	12782	58487	111876	12782	58487	-111876
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12782	57534	110884	12782	57534	-110884
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12781	56365	109729	12781	56365	-109729
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1669	8291	15363	1669	8291	-15363
	Comp. gl	3462	15495	29938	3462	15495	-29938
1b	380C1F1 / 380C2F1	12774	59266	124389	12774	59266	-124389
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12774	59160	124371	12774	59160	-124371
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12774	59026	124354	12774	59026	-124354
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1668	7663	15950	1668	7663	-15950

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15		AHEAD			BACK		
	Attachment point	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]
	Comp. gl	3461	15550	32688	3461	15550	-32688
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	25109	93214	192328	25109	93214	-192328
	380C1F2 / 380C2F2	25109	92908	192258	25109	92908	-192258
	380C1F3 / 380C2F3	25109	92524	192190	25109	92524	-192190
	GW / opgw	8685	25652	52524	8685	25652	-52524
	Comp. gl	17518	50875	105724	17518	50875	-105724
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15788	61248	128638	15788	61248	-128638
	380C1F2 / 380C2F2	15788	61149	128635	15788	61149	-128635
	380C1F3 / 380C2F3	15788	61023	128636	15788	61023	-128636
	GW / opgw	2421	9163	19167	2421	9163	-19167
	Comp. gl	4966	18625	39284	4966	18625	-39284
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	12781	49433	106010	12781	49433	-106010
	380C1F2 / 380C2F2	12781	49433	106010	12781	49433	-106010
	380C1F3 / 380C2F3	12781	49433	106010	12781	49433	-106010
	GW / opgw	1669	6441	13813	1669	6441	-13813
	Comp. gl	3462	13367	28666	3462	13367	-28666
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	12781	54545	108097	12792	126013	-203187
	380C1F2 / 380C2F2	12781	54030	107683	12791	119007	-193383
	380C1F3 / 380C2F3	12781	53398	107211	12789	110005	-180763
	GW / opgw	1669	7466	14428	1671	21038	-33151
	Comp. gl	3462	14575	29100	3465	31889	-52105
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	12774	58810	124344	12775	67185	-130687
	380C1F2 / 380C2F2	12774	58746	124344	12775	66217	-129653
	380C1F3 / 380C2F3	12774	58665	124348	12774	65032	-128446
	GW / opgw	1668	7574	15927	1669	9312	-17579
	Comp. gl	3461	15441	32682	3461	17403	-34068
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	25109	91902	192127	25114	116091	-211518
	380C1F2 / 380C2F2	25109	91720	192120	25113	113341	-208533
	380C1F3 / 380C2F3	25109	91490	192121	25112	109949	-204991
	GW / opgw	8685	25248	52517	8688	32173	-56698
	Comp. gl	17518	50360	105786	17520	58644	-109062
4	380C1F1 / 380C2F1	15788	60818	128650	15789	68194	-132843

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15788	60757	128657	15788	67364	-132105
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	15788	60680	128668	15788	66345	-131256
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2421	9084	19165	2421	10470	-20062
	Comp. gl	4966	18525	39296	4966	20153	-39964
1a	380C1F1 / 380C2F1	12791	119726	194390	12791	119726	-194390
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12790	113193	185234	12790	113193	-185234
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12789	104817	173489	12789	104817	-173489
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	1671	19913	31574	1671	19913	-31574
	Comp. gl	3464	30325	49888	3464	30325	-49888
1b	380C1F1 / 380C2F1	12775	66315	129755	12775	66315	-129755
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12774	65444	128858	12774	65444	-128858
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12774	64379	127815	12774	64379	-127815
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	1669	9129	17354	1669	9129	-17354
	Comp. gl	3461	17200	33860	3461	17200	-33860
3	380C1F1 / 380C2F1	25113	113619	208830	25113	113619	-208830
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	25112	111132	206207	25112	111132	-206207
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	25112	108069	203109	25112	108069	-203109
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	8688	31486	56084	8688	31486	-56084
	Comp. gl	17520	57838	108499	17520	57838	-108499
4	380C1F1 / 380C2F1	15788	67448	132178	15788	67448	-132178
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15788	66700	131544	15788	66700	-131544
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	15788	65782	130818	15788	65782	-130818
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2421	10329	19926	2421	10329	-19926
	Comp. gl	4966	19993	39847	4966	19993	-39847
1a	380C1F1 / 380C2F1	12792	126013	203187	12781	54545	-108097
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12791	119007	193383	12781	54030	-107683
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12789	110005	180763	12781	53398	-107211
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1671	21038	33151	1669	7466	-14428
	Comp. gl	3465	31889	52105	3462	14575	-29100
1b	380C1F1 / 380C2F1	12775	67185	130687	12774	58810	-124344
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12775	66217	129653	12774	58746	-124344
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12774	65032	128446	12774	58665	-124348

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1669	9312	17579	1668	7574	-15927
	Comp. gl	3461	17403	34068	3461	15441	-32682
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	25114	116091	211518	25109	91902	-192127
	380C1F2 / 380C2F2	25113	113341	208533	25109	91720	-192120
	380C1F3 / 380C2F3	25112	109949	204991	25109	91490	-192121
	GW / opgw	8688	32173	56698	8685	25248	-52517
	Comp. gl	17520	58644	109062	17518	50360	-105786
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15789	68194	132843	15788	60818	-128650
	380C1F2 / 380C2F2	15788	67364	132105	15788	60757	-128657
	380C1F3 / 380C2F3	15788	66345	131256	15788	60680	-128668
	GW / opgw	2421	10470	20062	2421	9084	-19165
	Comp. gl	4966	20153	39964	4966	18525	-39296

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17045	65978	134443	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	17045	65655	134298	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	17045	65254	134141	0	0	0
	GW / opgw	2226	8869	17762	0	0	0
	Comp. gl	4617	17812	36487	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17036	72723	153787	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	17036	72647	153793	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	17036	72551	153803	0	0	0
	GW / opgw	2225	9461	19903	0	0	0
	Comp. gl	4615	19287	40835	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19802	77768	160718	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19802	77517	160650	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19802	77203	160581	0	0	0
	GW / opgw	3796	14234	28538	0	0	0
	Comp. gl	7762	28198	57773	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19451	71802	151812	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19451	71728	151822	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19451	71635	151838	0	0	0
	GW / opgw	2828	10310	21723	0	0	0
	Comp. gl	5821	21063	44642	0	0	0
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	19177	68716	147362	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19177	68716	147362	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19177	68716	147362	0	0	0
	GW / opgw	2505	9033	19371	0	0	0
	Comp. gl	5195	18706	40116	0	0	0
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17045	64613	133947	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	17045	64427	133907	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	17045	64193	133866	0	0	0
	GW / opgw	2226	8595	17608	0	0	0
	Comp. gl	4617	17489	36384	0	0	0

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15		AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
Attachment point		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17036	72393	153827	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	17036	72346	153837	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	17036	72286	153850	0	0	0
	GW / opgw	2225	9399	19903	0	0	0
	Comp. gl	4615	19208	40847	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19802	76696	160509	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19802	76547	160498	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19802	76360	160493	0	0	0
	GW / opgw	3796	13832	28363	0	0	0
	Comp. gl	7762	27716	57669	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19451	71480	151870	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19451	71434	151881	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19451	71375	151896	0	0	0
	GW / opgw	2828	10251	21731	0	0	0
	Comp. gl	5821	20986	44660	0	0	0
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17049	88694	157786	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	17048	85924	154369	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	17048	82496	150248	0	0	0
	GW / opgw	2227	13529	23228	0	0	0
	Comp. gl	4618	23161	41797	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	17036	77213	155617	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	17036	76684	155257	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	17036	76032	154852	0	0	0
	GW / opgw	2225	10368	20455	0	0	0
	Comp. gl	4615	20350	41219	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19805	94794	175433	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19805	92704	173118	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19804	90133	170380	0	0	0
	GW / opgw	3797	20828	35526	0	0	0
	Comp. gl	7763	35850	64466	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19451	76022	153058	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19451	75535	152787	0	0	0

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	19451	74931	152486	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2828	11112	22051	0	0	0
	Comp. gl	5821	22032	44825	0	0	0
1a	380C1F1 / 380C2F1	17049	91433	161228	0	0	0
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17049	88385	157402	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17048	84603	152765	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2227	14071	23957	0	0	0
	Comp. gl	4618	23814	42605	0	0	0
1b	380C1F1 / 380C2F1	17036	77740	155999	0	0	0
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17036	77154	155575	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	17036	76433	155096	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2225	10478	20558	0	0	0
	Comp. gl	4615	20473	41302	0	0	0
3	380C1F1 / 380C2F1	19806	96873	177802	0	0	0
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19805	94560	175171	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	19805	91711	172045	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	3798	21594	36481	0	0	0
	Comp. gl	7764	36772	65513	0	0	0
4	380C1F1 / 380C2F1	19451	76507	153348	0	0	0
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19451	75968	153026	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	19451	75302	152666	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2828	11206	22119	0	0	0
	Comp. gl	5821	22141	44877	0	0	0
1a	380C1F1 / 380C2F1	12781	53222	107088	0	0	0
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12781	52851	106842	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12781	52394	106564	0	0	0
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1669	7191	14164	0	0	0
	Comp. gl	3462	14265	28881	0	0	0
1b	380C1F1 / 380C2F1	12774	58997	124352	0	0	0
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12774	58915	124346	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	12774	58813	124344	0	0	0
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1668	7610	15934	0	0	0

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15		AHEAD			BACK		
	Attachment point	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]
	Comp. gl	3461	15485	32682	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15538	65149	133659	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15538	64872	133536	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15538	64529	133402	0	0	0
	GW / opgw	3239	12761	25380	0	0	0
	Comp. gl	6606	25101	51132	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15186	59156	124693	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15186	59079	124696	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15186	58981	124702	0	0	0
	GW / opgw	2271	8662	18188	0	0	0
	Comp. gl	4665	17660	37346	0	0	0
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	12781	49433	106010	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	12781	49433	106010	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	12781	49433	106010	0	0	0
	GW / opgw	1669	6441	13813	0	0	0
	Comp. gl	3462	13367	28666	0	0	0
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	12781	51673	106197	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	12781	51465	106111	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	12781	51207	106018	0	0	0
	GW / opgw	1669	6874	13917	0	0	0
	Comp. gl	3462	13901	28691	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	12774	58647	124349	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	12774	58597	124354	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	12774	58535	124361	0	0	0
	GW / opgw	1668	7543	15924	0	0	0
	Comp. gl	3461	15402	32684	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15538	63979	133237	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15538	63819	133203	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15538	63619	133169	0	0	0
	GW / opgw	3238	12329	25139	0	0	0
	Comp. gl	6606	24590	50966	0	0	0
4	380C1F1 / 380C2F1	15186	58821	124722	0	0	0

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15186	58773	124730	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	15186	58713	124742	0	0	0
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2271	8600	18190	0	0	0
	Comp. gl	4665	17581	37358	0	0	0
1a	380C1F1 / 380C2F1	12785	79869	138866	0	0	0
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12784	76688	134567	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	12784	72715	129277	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	1670	12565	21162	0	0	0
	Comp. gl	3463	20558	36215	0	0	0
1b	380C1F1 / 380C2F1	12774	64146	127595	0	0	0
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12774	63519	127026	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	12774	62750	126371	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	1668	8672	16819	0	0	0
	Comp. gl	3461	16694	33380	0	0	0
3	380C1F1 / 380C2F1	15541	84746	153890	0	0	0
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15541	82341	150899	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	15541	79370	147304	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	3240	19918	33574	0	0	0
	Comp. gl	6608	33469	59363	0	0	0
4	380C1F1 / 380C2F1	15187	63819	126890	0	0	0
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15186	63265	126476	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	15186	62582	126005	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2271	9546	18692	0	0	0
	Comp. gl	4665	18707	37695	0	0	0
1a	380C1F1 / 380C2F1	12785	82990	143126	0	0	0
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12785	79515	138386	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	12784	75162	132522	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1670	13162	22007	0	0	0
	Comp. gl	3463	21310	37236	0	0	0
1b	380C1F1 / 380C2F1	12774	64772	128192	0	0	0
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	12774	64075	127530	0	0	0
Permanent loads $y_g=0.9$	380C1F3 / 380C2F3	12774	63221	126766	0	0	0

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15		AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
	Attachment point	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1668	8804	16969	0	0	0
	Comp. gl	3461	16840	33512	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15542	87128	156909	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15541	84477	153553	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15541	81195	149498	0	0	0
	GW / opgw	3240	20730	34631	0	0	0
	Comp. gl	6608	34473	60583	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15187	64373	127328	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15187	63757	126842	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15186	63001	126289	0	0	0
	GW / opgw	2271	9652	18786	0	0	0
	Comp. gl	4665	18828	37773	0	0	0

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N2

Loadcases for tower deflection analyses (Servicability limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1a	380C1F1 / 380C2F1	14202	58927	117336	14202	58927	-117336
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14202	58429	116970	14202	58429	-116970
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14202	57816	116556	14202	57816	-116556
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1855	8041	15633	1855	8041	-15633
	Comp. gl	3847	15792	31671	3847	15792	-31671
1b	380C1F1 / 380C2F1	14194	63543	134464	14194	63543	-134464
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14194	63480	134467	14194	63480	-134467
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14194	63399	134474	14194	63399	-134474
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1854	8213	17290	1854	8213	-17290
	Comp. gl	3845	16749	35479	3845	16749	-35479
3	380C1F1 / 380C2F1	22419	84618	176416	22419	84618	-176416
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	22419	84425	176396	22419	84425	-176396
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	22419	84184	176381	22419	84184	-176381
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	6530	20638	42602	6530	20638	-42602
	Comp. gl	13213	41150	85996	13213	41150	-85996
4	380C1F1 / 380C2F1	16206	62101	131369	16206	62101	-131369
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16206	62039	131376	16206	62039	-131376
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	16206	61960	131388	16206	61960	-131388
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2356	8891	18744	2356	8891	-18744
	Comp. gl	4850	18179	38547	4850	18179	-38547
1a	380C1F1 / 380C2F1	14202	56851	116000	14208	98189	-165882
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14202	56574	115867	14208	93717	-159769
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14202	56231	115721	14207	88077	-152129
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	1855	7613	15270	1856	15816	-25944
	Comp. gl	3847	15304	31383	3849	25141	-43062
1b	380C1F1 / 380C2F1	14194	63266	134493	14195	67811	-136493
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14194	63227	134500	14195	67309	-136112
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14194	63177	134510	14195	66693	-135679
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	1854	8160	17289	1854	9080	-17879
	Comp. gl	3845	16682	35488	3846	17755	-35908
3	380C1F1 / 380C2F1	22419	83790	176382	22421	98433	-186136

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N2

Loadcases for tower deflection analyses (Servicability limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	22419	83673	176389	22421	96774	-184519
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	22419	83526	176403	22420	94735	-182634
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	6530	20371	42601	6531	24969	-45353
	Comp. gl	13213	40808	86040	13214	46287	-88135
4	380C1F1 / 380C2F1	16206	61831	131414	16207	66084	-132786
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16206	61792	131422	16207	65626	-132496
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	16206	61743	131435	16207	65059	-132172
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2356	8841	18749	2356	9651	-19102
	Comp. gl	4850	18115	38561	4850	19090	-38769
1a	380C1F1 / 380C2F1	14208	94173	160390	14208	94173	-160390
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14207	90060	154804	14207	90060	-154804
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14206	84889	147858	14206	84889	-147858
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	1856	15062	24884	1856	15062	-24884
	Comp. gl	3848	24165	41727	3848	24165	-41727
1b	380C1F1 / 380C2F1	14195	67360	136149	14195	67360	-136149
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14195	66908	135825	14195	66908	-135825
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14195	66351	135458	14195	66351	-135458
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	1854	8986	17788	1854	8986	-17788
	Comp. gl	3846	17650	35833	3846	17650	-35833
3	380C1F1 / 380C2F1	22421	96941	184679	22421	96941	-184679
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	22420	95445	183276	22420	95445	-183276
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	22420	93607	181648	22420	93607	-181648
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	6531	24509	44940	6531	24509	-44940
	Comp. gl	13214	45753	87767	13214	45753	-87767
4	380C1F1 / 380C2F1	16207	65672	132524	16207	65672	-132524
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16207	65257	132281	16207	65257	-132281
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	16206	64744	132009	16206	64744	-132009
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2356	9570	19041	2356	9570	-19041
	Comp. gl	4850	18997	38722	4850	18997	-38722
1a	380C1F1 / 380C2F1	14208	98189	165882	14202	56851	-116000
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14208	93717	159769	14202	56574	-115867
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14207	88077	152129	14202	56231	-115721

W2H400+5 TOWER

APPENDIX: N2

Loadcases for tower deflection analyses (Servicability limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1856	15816	25944	1855	7613	-15270
	Comp. gl	3849	25141	43062	3847	15304	-31383
1b	380C1F1 / 380C2F1	14195	67811	136493	14194	63266	-134493
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14195	67309	136112	14194	63227	-134500
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	14195	66693	135679	14194	63177	-134510
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1854	9080	17879	1854	8160	-17289
	Comp. gl	3846	17755	35908	3845	16682	-35488
3	380C1F1 / 380C2F1	22421	98433	186136	22419	83790	-176382
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	22421	96774	184519	22419	83673	-176389
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	22420	94735	182634	22419	83526	-176403
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	6531	24969	45353	6530	20371	-42601
	Comp. gl	13214	46287	88135	13213	40808	-86040
4	380C1F1 / 380C2F1	16207	66084	132786	16206	61831	-131414
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16207	65626	132496	16206	61792	-131422
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	16207	65059	132172	16206	61743	-131435
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2356	9651	19102	2356	8841	-18749
	Comp. gl	4850	19090	38769	4850	18115	-38561

Postbus 676
7300 AR Apeldoorn
Tel: 088 - 1860200

Statische ontwerpberekening

Masttype "W2H400A(+10)"

Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk

Revisie	Datum	Samensteller	Gecontroleerd
00	6 - 12 - 12	ing. Miko Hakhverdian	
01-Detailberekening toegevoegd	15 - 05 - 13	ing. Miko Hakhverdian	
02-Mast nummers verwijderd	07 - 02 - 14	ing. Miko Hakhverdian	<i>SV 7-2-14</i>

Inhoudsopgave.

	blz.
1.0 Uitgangspunten berekening	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Toegepaste normen	4
1.3 Randvoorwaarden	4
1.4 Constructie onderdelen	4
1.5 Toegepaste materiaal	5
1.6 Belastingen	6
2.0 Berekening masttype "W2H400A(+10)"	7
2.1 Overzicht mast	8
2.2 Mast gegevens	9
2.3 Computerschema	11
3.0 Berekening Belastingen	12
3.1 Berekening stuwdruk	13
3.2 Berekening eigenfrequentie mast	14
3.3 Berekening bouwwerkfactor $C_s C_d$	16
3.4 Bepaling krachtcoëfficiënt C_f	17
3.5 Gewicht en horizontale belasting geleiders	18
3.6 Gewicht en windbelasting mastlichaam	19
3.7 Berekende belastingen	20
4.0 Resultaat berekeningen	23
4.1 Berekening verplaatsingen in SLS- toestand (belasting gevallen)	23
4.2 Maximale verplaatsingen in SLS- toestand	29
4.3 Toetsing maximale verplaatsingen	30
4.4 Berekening Krachten in ULS- toestand (belasting gevallen)	31
4.5 Maximale Krachten in ULS- toestand	37
4.6 Toetsing doorsnede	38
5.0 Berekening ankers, bouten en flensverbindingen	41
6.0 Controleberekening vortex shedding	44
7.0 Fundatie belastingen	52
8.0 Betonspanning onder voetplaat en instorting	53
9.0 Detailberekening	55

	blz.
9.1 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV	55
9.1.1 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV op 57m hoogte	56
9.1.2 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV op 47m hoogte	66
9.1.3 Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV op 37m hoogte	71
9.2 Berekening draagarm bliksemdraad	76
9.2.1 Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast	78
9.2.2 Berekening clip bliksemdraad (clip 5.4)	79
9.3 Berekening draagarm "Retourstroomgeleider"	82
9.3.1 Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast	87
9.3.2 Berekening clip "Retourstroomgeleider"	88
9.4 Berekening Clip 17 - t.b.v. installatie geleiders (op 0,5m hoogte)	90
9.4.1 Controle capaciteit van de aansluiting	92
9.5 Berekening clip hulprail - clip 8	93
9.5.1 Controle capaciteit van de aansluiting	95
9.6 Ondersteuning hijsbalk op de top van de mast	97
9.7 Berekening versterking deur	100

Bijlage: KEMA rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 V10.0 - bijlage AM, AM1 en AM2

1.0 - Uitgangspunten berekening.

1.1 - Inleiding.

In dit rapport wordt in opdracht van TenneT de statische ontwerpberekening van het masttype W2H400A(+10) van het project “R380 Wintrack hoogspanningslijn” Noordring , tracé Vijfhuizen – Bleiswijk gepresenteerd.

1.2 – Toegepaste normen.

De berekening is gebaseerd op de volgende normen:

- NEN-EN 50341-1 – Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – Deel 1: Algemene eisen – Gemeenschappelijke specificaties, uitgave november 2001.
- NEN-EN 50341-3 – Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – Deel 3: Verzameling van nationale normatieve aspecten, uitgave november 2001 en correctieblad mei 2006.
- NEN-EN 1990 - Grondslagen van het constructief ontwerp, uitgave december 2007 (+NB).
- NEN-EN 1991 – Algemene belastingen, uitgave december 2007 (+NB)
- NEN-EN 1991-1-4 - Algemene belastingen – Windbelasting, uitgave december 2007.
- NEN-EN 1993-1-1 - Ontwerp en berekenen van staalconstructies, uitgave december 2007(+NB).
- NEN-EN 1993-1-8 - Ontwerp en berekenen van verbindingen, uitgave december 2007 (+NB).
- NEN-EN 1993-3-1 – Torens, maten en schoorstenen, uitgave juli 2007.
- NEN 2063 – Op vermoeiing belaste constructies- Het berekenen van gelaste verbindingen in ongelegeerd en zwakgelegeerd staal t/m S355.

De belastingopgave is volgens KEMA rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 V10.0 “Design Loads for Wintrack II – R380 BEV-VHZ & VHZ-BEV” 18 november 2013.

Voor het masttype W2H400A(+10) zijn de bijlage AM en AM1 (berekening maststerkte) en bijlage AM2 (berekening verplaatsingen) van het KEMA rapport van toepassing.

1.3 – Randvoorwaarden.

Volgens Eurocode 3, deel 3-1 wordt de constructie ingedeeld in ontwerp levensduurklasse 3, gevolgklasse CC3 en referentieperiode 50 jaar. Mast bevindt zich in het gebied (windgebied II – onbebouwd) dat de terreincategorie II is van toepassing.

In de bruikbaarheidsgrenstoestand (SLS- toestand) dient voldaan te worden aan de volgende randvoorwaarden:

- De maximale horizontale uitbuiging mag niet groter zijn dan 5,5% van de hoogte van de mast.
- De relatieve verplaatsing van mast mag niet groter zijn dan 1% van de hoogte van de mast.

1.4 – Constructieonderdelen.

A - Mast constructie.

De mast is een buismast met een totale hoogte van 67,0 meter. De basis diameter van de mast is 2,733 meter en verloopt conisch tot de top van de mast naar een diameter van 0,5 meter. De mast is opgebouwd uit drie segmenten. De segmenten zijn 19,80 meter en 2* 23,60 meter lang. Deze segmenten worden door middel van een binnenflensaansluiting aan elkaar verbonden.

De mast is voorzien van een klimvoorziening aan de binnenkant van de mast.

B - Fundatie.

De berekening van de fundatie en draagkracht van de grond valt buiten deze berekening. Aan de hand van locatiegegevens en grondmechanisch onderzoek dient de fundatie van de mast alsnog te worden berekend.

1.5 – Toegepaste materialen.

A - Mastconstructie.

De materiaalkwaliteit is S355 ($f_{y;d} = 355 \text{ N/mm}^2$, $f_{t;d} = 510 \text{ N/mm}^2$), tenzij anders vermeld.

B - Bouten en moeren.

De toegepaste bouten zijn kwaliteit 10.9. De ankers zijn kwaliteit 8.8.

Alle bouten en moeren zijn thermisch verzinkt, ISO-passend en gerolde draad.

C - Lassen in de primaire constructie.

Alle lassen zijn voorbewerkte $\frac{1}{2}$ V las met een tegen las, klasse K35 of een voorbewerkte X las klasse K45. De lasdetails worden door de fabrikant opgegeven.

1.6 - Belastingen.

A – Geleiders (bliksemdraad, fasedraden en retourstroomgeleider) en isolatoren,

De belastingopgave is volgens KEMA rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 V10.0 “Design Loads for Wintrack II – R380 BEV-VHZ & VHZ-BEV” 18 november 2013.

Voor het masttype W2H400A(+10) zijn de bijlage AM en AM1 (berekening maststerkte) en bijlage AM2 (berekening verplaatsingen) van het KEMA rapport van toepassing.

In de bovengenoemde bijlagen zijn de krachten inclusief de belastingfactoren volgens NEN-EN 50341-3-15 paragraaf 4.2, tabel 4.2.11/NL.1 voor de ULS- toestand (Ultimate limit state), tabel 4.2.11/NL.3 voor de SPLS- toestand (Special limit state) en tabel 4.2.11/NL.4 voor de SLS-toestand (Serviceability limit state) aangegeven.

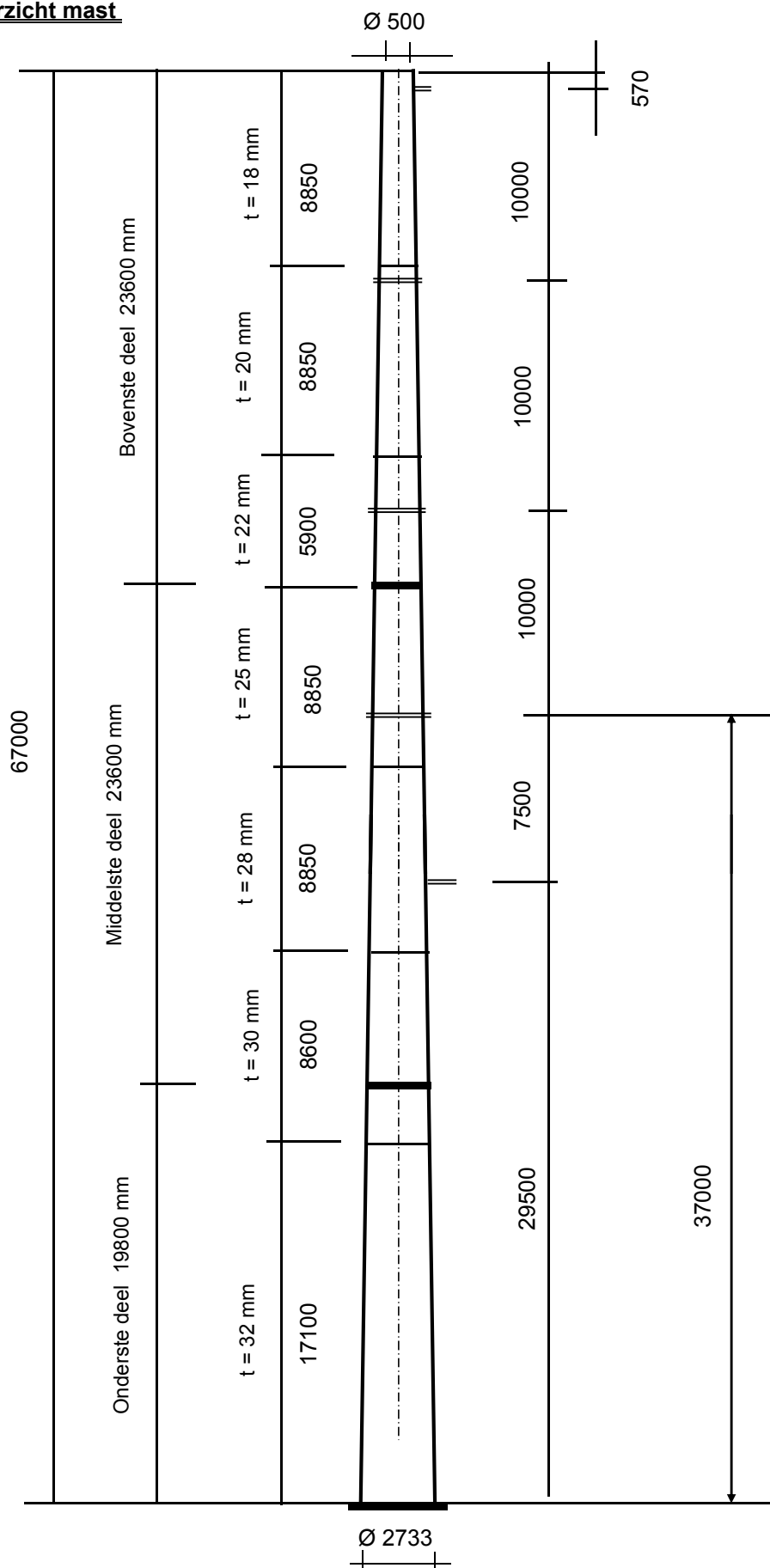
B – Mastlichaam

Het gewicht van de mast is een centrisk en gelijkmatig verdeelde belasting. Deze wordt gecombineerd met het gewicht van de geleiders en isolatoren. De belastingfactoren voor het eigengewicht zijn volgens NEN-EN 50341-3-15 en NEN-EN 1993-3-1, $\gamma_g = 1,2$ voor de ULS-toestand en $\gamma_g = 1,0$ voor de SLS- toestand.

De windbelasting van het mastlichaam is een horizontaal verdeelde belasting over de hele hoogte. Gezien het feit dat het windoppervlak van het mastlichaam in alle richtingen gelijk is, wordt deze eenmaal berekend en gecombineerd met de belasting van de geleiders in de verschillende windrichtingen. De belastingfactoren voor de windbelasting van het mastlichaam zijn volgens NEN-EN 1993-3-1, $\gamma_q = 1,6$ voor de ULS- toestand en $\gamma_q = 1,0$ voor de SLS-toestand.

2.0 - Berekening masttype "W2H400A(+10)"**Berekening****W2H400A+10****67,0 m - 2733 - 500****Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk**

2.1 - Overzicht mast



2.2 - Mast gegevens

Buismast type W2H400A(+10)

Voet van de mast op : 0,00 meter

Wind gebied : II - onbebouwd

aantal staven	32	gem. breedte (m)	1,617
---------------	----	------------------	-------

staaf nummer	staaf lengte mm	voet-breedte mm	top-breedte mm	diagonalen	aantal knopen	aantal staven	gem. hoogte m
1	570	519	500	n.v.t.	2	1	66,72
2	2380	598	519	n.v.t.	2	1	65,24
3	2950	697	598	n.v.t.	2	1	62,58
4	2950	795	697	n.v.t.	2	1	59,63
5	1150	833	795	n.v.t.	2	1	57,58
6	1800	893	833	n.v.t.	2	1	56,10
7	2950	992	893	n.v.t.	2	1	53,73
8	2950	1090	992	n.v.t.	2	1	50,78
9	2300	1167	1090	n.v.t.	2	1	48,15
10	650	1188	1167	n.v.t.	2	1	46,68
11	2950	1287	1188	n.v.t.	2	1	44,88
12	2950	1385	1287	n.v.t.	2	1	41,93
13	2950	1483	1385	n.v.t.	2	1	38,98
14	500	1500	1483	n.v.t.	2	1	37,25
15	2450	1582	1500	n.v.t.	2	1	35,78
16	1475	1631	1582	n.v.t.	2	1	33,81
17	1475	1680	1631	n.v.t.	2	1	32,34
18	2100	1750	1680	n.v.t.	2	1	30,55
19	850	1778	1750	n.v.t.	2	1	29,08
20	1475	1827	1778	n.v.t.	2	1	27,91
21	1475	1876	1827	n.v.t.	2	1	26,44
22	2950	1975	1876	n.v.t.	2	1	24,23
23	2950	2073	1975	n.v.t.	2	1	21,28
24	1350	2118	2073	n.v.t.	2	1	19,13
25	1350	2163	2118	n.v.t.	2	1	17,78
26	1425	2211	2163	n.v.t.	2	1	16,39
27	1425	2258	2211	n.v.t.	2	1	14,96
28	2850	2353	2258	n.v.t.	2	1	12,83
29	2850	2448	2353	n.v.t.	2	1	9,98
30	2850	2543	2448	n.v.t.	2	1	7,13
31	2850	2638	2543	n.v.t.	2	1	4,28
32	2850	2733	2638	n.v.t.	2	1	1,43
67000					33	32	

Tracé VHZ - BWK

Profielgegevens

profielgegevens buisprofiel - Staal kwaliteit : S 355							
staaf	D _{gem} (mm)	t (mm)	A (mm ²)	m(kg/m)	I (mm ⁴)	i (mm)	W _b (mm ³)
1	509	18,0	27794	218,18	8,40E+08	173,89	3,30E+06
2	559	18,0	30573	240,00	1,12E+09	191,26	4,00E+06
3	647	18,0	35596	279,43	1,76E+09	222,65	5,45E+06
4	746	18,0	41156	323,07	2,73E+09	257,39	7,31E+06
5	814	20,0	49896	391,68	3,94E+09	280,85	9,67E+06
6	863	20,0	52985	415,93	4,71E+09	298,23	1,09E+07
7	942	20,0	57958	454,97	6,17E+09	326,21	1,31E+07
8	1041	20,0	64136	503,47	8,36E+09	360,96	1,61E+07
9	1128	22,0	76458	600,19	1,17E+10	391,19	2,07E+07
10	1177	22,0	79855	626,87	1,33E+10	408,57	2,26E+07
11	1237	22,0	84002	659,41	1,55E+10	429,78	2,51E+07
12	1336	25,0	102943	808,10	2,21E+10	463,49	3,31E+07
13	1434	25,0	110665	868,72	2,75E+10	498,24	3,83E+07
14	1492	25,0	115180	904,16	3,10E+10	518,57	4,15E+07
15	1541	25,0	119041	934,47	3,42E+10	535,95	4,44E+07
16	1606	28,0	138816	1089,70	4,32E+10	558,03	5,38E+07
17	1655	28,0	143140	1123,65	4,74E+10	575,40	5,73E+07
18	1715	28,0	148380	1164,79	5,28E+10	596,46	6,16E+07
19	1764	28,0	152705	1198,73	5,75E+10	613,84	6,52E+07
20	1803	28,0	156113	1225,48	6,15E+10	627,54	6,82E+07
21	1852	28,0	160437	1259,43	6,67E+10	644,92	7,21E+07
22	1926	30,0	178658	1402,47	8,03E+10	670,29	8,34E+07
23	2024	30,0	187924	1475,21	9,34E+10	705,04	9,23E+07
24	2096	30,0	194678	1528,22	1,04E+11	730,38	9,91E+07
25	2141	30,0	198918	1561,51	1,11E+11	746,28	1,04E+08
26	2187	32,0	216627	1700,52	1,26E+11	761,93	1,15E+08
27	2234	32,0	221402	1738,00	1,34E+11	778,72	1,20E+08
28	2306	32,0	228564	1794,22	1,48E+11	803,91	1,28E+08
29	2401	32,0	238113	1869,18	1,67E+11	837,49	1,39E+08
30	2496	32,0	247662	1944,14	1,88E+11	871,06	1,51E+08
31	2591	32,0	257211	2019,10	2,10E+11	904,64	1,63E+08
32	2686	32,0	266760	2094,06	2,35E+11	938,22	1,75E+08

Elasticiteitsmodulus E-	N/mm ²	210000
Vloeigrens f _y	N/mm ²	355
Volumieke massa	kg/m ³	7850

2.3 - Computerschema

knoop nummer	knoop cord. "Z" - in mm	staaf i -- j	benaming staven	L _{staaf} mm	A _{eff} mm ²	I _x of I _y mm ⁴
1	67000	1 -- 2	1	570	2,78E+04	8,40E+08
2	66430	2 -- 3	2	2380	3,06E+04	1,12E+09
3	64050	3 -- 4	3	2950	3,56E+04	1,76E+09
4	61100	4 -- 5	4	2950	4,12E+04	2,73E+09
5	58150	5 -- 6	5	1150	4,99E+04	3,94E+09
6	57000	6 -- 7	6	1800	5,30E+04	4,71E+09
7	55200	7 -- 8	7	2950	5,80E+04	6,17E+09
8	52250	8 -- 9	8	2950	6,41E+04	8,36E+09
9	49300	9 -- 10	9	2300	7,65E+04	1,17E+10
10	47000	10 -- 11	10	650	7,99E+04	1,33E+10
11	46350	11 -- 12	11	2950	8,40E+04	1,55E+10
12	43400	12 -- 13	12	2950	1,03E+05	2,21E+10
13	40450	13 -- 14	13	2950	1,11E+05	2,75E+10
14	37500	14 -- 15	14	500	1,15E+05	3,10E+10
15	37000	15 -- 16	15	2450	1,19E+05	3,42E+10
16	34550	16 -- 17	16	1475	1,39E+05	4,32E+10
17	33075	17 -- 18	17	1475	1,43E+05	4,74E+10
18	31600	18 -- 19	18	2100	1,48E+05	5,28E+10
19	29500	19 -- 20	19	850	1,53E+05	5,75E+10
20	28650	20 -- 21	20	1475	1,56E+05	6,15E+10
21	27175	21 -- 22	21	1475	1,60E+05	6,67E+10
22	25700	22 -- 23	22	2950	1,79E+05	8,03E+10
23	22750	23 -- 24	23	2950	1,88E+05	9,34E+10
24	19800	24 -- 25	24	1350	1,95E+05	1,04E+11
25	18450	25 -- 26	25	1350	1,99E+05	1,11E+11
26	17100	26 -- 27	26	1425	2,17E+05	1,26E+11
27	15675	27 -- 28	27	1425	2,21E+05	1,34E+11
28	14250	28 -- 29	28	2850	2,29E+05	1,48E+11
29	11400	29 -- 30	29	2850	2,38E+05	1,67E+11
30	8550	30 -- 31	30	2850	2,48E+05	1,88E+11
31	5700	31 -- 32	31	2850	2,57E+05	2,10E+11
32	2850	32 -- 33	32	2850	2,67E+05	2,35E+11
33	0					

3.0 - Berekening belastingen

3.1 - Berekening stuwdruk

Algemene gegevens:

Wind gebied :	II - onbebouwd
Basiswindsnelheid $V_{b,0}$ =	27 m/s
Terreincategorie :	II - Onbebouwd gebied
Richtingsfactor C_{dir} =	1,0
Seizoensfactor C_{season} =	1,0
Orografiefactor $C_o(z)$ =	1,0
Veiligheidsklaas	2
Volumieke massa van lucht; ρ =	1,25 kg/m ³
z_0 =	0,200 m
z_{min} =	4,0 m
Gemiddelde windsnelheid $V_m(z) = (V_{b,0} * C_{dir} * C_{season}) * c_r(z)$	
$c_r(z) = k_r * \ln\{z / z_0\}$ voor $z_{min} \leq z \leq z_{max}$	
$c_r(z) = c_r(z_{min})$ voor $z \leq z_{min}$	
$k_r = 0,19 \ln\{z_0 / z_{0,II}\}^{0,07}$ $z_{0,II} = 0,05$ m	
Extreme stuwdruk $q_p(z) = (1 + 7 * I_v(z)) * \frac{1}{2} * \rho * V_m^2(z)$	
$I_v(z) = k_I / \{c_o(z) * \ln(z / z_0)\}$ voor $z_{min} \leq z \leq z_{max}$; $k_I = 1,0$	
$I_v(z) = I_v(z_{min})$ voor $z \leq z_{min}$	

Sectie	hoogte z m	kr	$c_r(z)$	$V_m(z)$ m/s	$I_v(z)$	$q_p(z)$ N/m ²
1	66,72	0,21	1,22	32,84	0,17	1486
2	65,24	0,21	1,21	32,72	0,17	1478
3	62,58	0,21	1,20	32,48	0,17	1463
4	59,63	0,21	1,19	32,21	0,18	1445
5	57,58	0,21	1,19	32,01	0,18	1432
6	56,10	0,21	1,18	31,86	0,18	1422
7	53,73	0,21	1,17	31,62	0,18	1407
8	50,78	0,21	1,16	31,30	0,18	1386
9	48,15	0,21	1,15	31,00	0,18	1367
10	46,68	0,21	1,14	30,82	0,18	1356
11	44,88	0,21	1,13	30,60	0,18	1342
12	41,93	0,21	1,12	30,22	0,19	1318
13	38,98	0,21	1,10	29,80	0,19	1292
14	37,25	0,21	1,09	29,55	0,19	1276
15	35,78	0,21	1,09	29,32	0,19	1262
16	33,81	0,21	1,07	29,00	0,19	1243
17	32,34	0,21	1,06	28,75	0,20	1228
18	30,55	0,21	1,05	28,43	0,20	1208
19	29,08	0,21	1,04	28,15	0,20	1191
20	27,91	0,21	1,03	27,92	0,20	1177
21	26,44	0,21	1,02	27,61	0,20	1159
22	24,23	0,21	1,00	27,12	0,21	1130
23	21,28	0,21	0,98	26,38	0,21	1087
24	19,13	0,21	0,95	25,78	0,22	1053
25	17,78	0,21	0,94	25,37	0,22	1029
26	16,39	0,21	0,92	24,91	0,23	1004
27	14,96	0,21	0,90	24,39	0,23	975
28	12,83	0,21	0,87	23,52	0,24	927
29	9,98	0,21	0,82	22,10	0,26	852
30	7,13	0,21	0,75	20,20	0,28	754
31	4,28	0,21	0,64	17,31	0,33	615
32	1,43	0,21	0,63	16,93	0,33	598

3.2 - Berekening eigenfrequentie mast en meewerkende massa

Verplaatsing van de mast t.g.v e.g mast en toplast

knoop nummer	staaf nummer	gewicht mast N	gewicht flenzen+ ge- leiders-N	dwarskr. kN	moment kNm	hoekver.φ rad.	verpl. δ mm
1	1 -- 2	1329	400	0,40	0,00	2,59E-02	980,11
2	2 -- 3	6069	4386	6,12	0,61	2,59E-02	965,36
3	3 -- 4	8686		12,18	22,38	2,58E-02	903,89
4	4 -- 5	9973		20,87	71,14	2,54E-02	828,32
5	5 -- 6	4677		30,84	147,41	2,49E-02	754,09
6	6 -- 7	7757	33393	68,91	185,57	2,46E-02	725,63
7	7 -- 8	13864		76,67	316,60	2,42E-02	681,68
8	8 -- 9	15295		90,53	563,22	2,32E-02	611,71
9	9 -- 10	14149		105,83	852,85	2,20E-02	544,97
10	10 -- 11	4172	34052	154,03	1112,53	2,11E-02	495,40
11	11 -- 12	19895		158,20	1214,01	2,08E-02	481,79
12	12 -- 13	24281	7046	185,14	1710,05	1,95E-02	422,26
13	13 -- 14	26070		209,42	2292,03	1,82E-02	366,56
14	14 -- 15	4596		235,49	2948,29	1,69E-02	314,70
15	15 -- 16	23262	34793	274,88	3067,19	1,66E-02	306,32
16	16 -- 17	16294		298,15	3769,15	1,55E-02	266,91
17	17 -- 18	16795		314,44	4220,93	1,48E-02	244,54
18	18 -- 19	24775		331,23	4697,11	1,42E-02	223,13
19	19 -- 20	10317	4391	360,40	5418,72	1,32E-02	194,34
20	20 -- 21	18297		370,72	5729,44	1,28E-02	183,27
21	21 -- 22	18798		389,01	6289,75	1,21E-02	164,85
22	22 -- 23	41815		407,81	6877,41	1,14E-02	147,45
23	23 -- 24	43961		449,63	8142,13	1,01E-02	115,56
24	24 -- 25	20833	33251	526,84	9533,37	8,81E-03	87,57
25	25 -- 26	21283		547,67	10258,67	8,19E-03	76,09
26	26 -- 27	24446		568,96	11012,40	7,58E-03	65,44
27	27 -- 28	24980		593,40	11840,58	6,96E-03	55,08
28	28 -- 29	51563		618,38	12703,97	6,34E-03	45,59
29	29 -- 30	53699		669,95	14539,84	5,09E-03	29,26
30	30 -- 31	55836		723,64	16525,71	3,83E-03	16,51
31	31 -- 32	57972		779,48	18667,66	2,56E-03	7,37
32	32 -- 33	60108		837,45	20971,79	1,28E-03	1,86
33			44762	942,32	23444,19	0,00E+00	0,00

Voor de berekening van de eigenfrequentie is de Rayleigh-Ritz methode toegepast.

Bij benadering kan eigenfrequentie bepaald worden door alle massa's m_i van het dynamische model dezelfde versnelling g in de richting van de beweging te geven en vervolgens eigen-trillingsvorm te berekenen onder invloed van krachten $F_i = m_i * g$

De eigenfrequentie van de eerste trillingsvorm kan berekend worden door:

$$n_{1,x} = 1 / 2\pi * \{ g * \sum m_i * \delta_i / \sum m_i * \delta_i^2 \}^{0,5}$$

m_i : de geconcentreerde massa in kg.

δ_i : de verplaatsing van het punt (i) in meter

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - versnelling van de zwaartekracht

Tracé VHZ - BWK

knoop nummer	staaf nummer	gewicht mast N	gewicht flenzen+ ge- leiders-kg	verpl. δ m	$g \sum m_i \cdot \delta_i$	$\sum m_i \cdot \delta_i^2$
1	1 -- 2	132,9	40,0	0,980	1652,91	164,188
2	2 -- 3	606,9	438,6	0,965	9718,10	938,884
3	3 -- 4	868,6		0,904	7379,76	651,542
4	4 -- 5	997,3		0,828	7740,91	624,327
5	5 -- 6	467,7		0,754	3394,49	256,010
6	6 -- 7	775,7	3339,3	0,726	29124,95	2142,345
7	7 -- 8	1386,4		0,682	8795,60	579,828
8	8 -- 9	1529,5		0,612	8677,56	511,581
9	9 -- 10	1414,9		0,545	7220,54	382,879
10	10 -- 11	417,2	3405,2	0,495	18548,59	935,312
11	11 -- 12	1989,5		0,482	8822,23	406,509
12	12 -- 13	2428,1	704,6	0,422	12313,63	503,349
13	13 -- 14	2607,0		0,367	8711,37	302,482
14	14 -- 15	459,6		0,315	1399,94	44,312
15	15 -- 16	2326,2	3479,3	0,306	16995,82	517,561
16	16 -- 17	1629,4		0,267	4087,65	106,555
17	17 -- 18	1679,5		0,245	3852,64	91,833
18	18 -- 19	2477,5		0,223	5073,33	107,951
19	19 -- 20	1031,7	439,1	0,194	2748,00	53,362
20	20 -- 21	1829,7		0,183	3124,37	55,437
21	21 -- 22	1879,8		0,165	2879,56	45,836
22	22 -- 23	4181,5		0,147	5394,55	72,317
23	23 -- 24	4396,1		0,116	4380,25	45,351
24	24 -- 25	2083,3	3325,1	0,088	4529,07	39,452
25	25 -- 26	2128,3		0,076	1477,51	10,658
26	26 -- 27	2444,6		0,065	1445,12	8,877
27	27 -- 28	2498,0		0,055	1233,51	6,329
28	28 -- 29	5156,3		0,046	1893,26	7,223
29	29 -- 30	5369,9		0,029	1205,75	2,813
30	30 -- 31	5583,6		0,017	654,18	0,796
31	31 -- 32	5797,2		0,007	262,58	0,124
32	32 -- 33	6010,8		0,002	54,89	0,005
33			4476,2	0,000	0,00	0,000
Som					194793	9616

$$n_{1,x} = 1 / 2\pi * \{ g * \sum m_i * \delta_i / \sum m_i * \delta_i^2 \}^{0,5}$$

$n_{1,x}$	=	0,72	Hz
-----------	---	------	----

Tracé VHZ - BWK

Meewerkende massa

$m_{i,e}$ is de equivalente massa m_e per lengte eenheid, in kg/m, gewogen naar de trillingsvorm :

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) * \phi_i^2(s) ds}{\int_0^l \phi_i^2(s) ds}$$

staaf nummer	massa m kg/m	ϕ_i	s m	$\phi_i^2 * (s)$	$\phi_i^2 * (s) * m$	$\phi_i * (s)$
1 -- 2	1073	0,992	0,570	0,56	602,34	0,57
2 -- 3	255	0,954	2,380	2,16	551,88	2,27
3 -- 4	294	0,884	2,950	2,30	678,26	2,61
4 -- 5	338	0,807	2,950	1,92	649,93	2,38
5 -- 6	3310	0,755	1,150	0,66	2169,37	0,87
6 -- 7	431	0,718	1,800	0,93	399,81	1,29
7 -- 8	470	0,660	2,950	1,28	603,60	1,95
8 -- 9	518	0,590	2,950	1,03	532,56	1,74
9 -- 10	2096	0,531	2,300	0,65	1357,79	1,22
10 -- 11	642	0,499	0,650	0,16	103,68	0,32
11 -- 12	913	0,461	2,950	0,63	573,06	1,36
12 -- 13	823	0,402	2,950	0,48	393,20	1,19
13 -- 14	884	0,348	2,950	0,36	314,89	1,03
14 -- 15	7878	0,317	0,500	0,05	395,35	0,16
15 -- 16	949	0,292	2,450	0,21	198,93	0,72
16 -- 17	1105	0,261	1,475	0,10	110,92	0,38
17 -- 18	1139	0,239	1,475	0,08	95,60	0,35
18 -- 19	1389	0,213	2,100	0,10	132,29	0,45
19 -- 20	1214	0,193	0,850	0,03	38,29	0,16
20 -- 21	1240	0,178	1,475	0,05	57,71	0,26
21 -- 22	1274	0,159	1,475	0,04	47,72	0,24
22 -- 23	1417	0,134	2,950	0,05	75,28	0,40
23 -- 24	2617	0,104	2,950	0,03	82,92	0,31
24 -- 25	1543	0,083	1,350	0,01	14,52	0,11
25 -- 26	1577	0,072	1,350	0,01	11,10	0,10
26 -- 27	1716	0,061	1,425	0,01	9,24	0,09
27 -- 28	1753	0,051	1,425	0,00	6,59	0,07
28 -- 29	1809	0,038	2,850	0,00	7,52	0,11
29 -- 30	1884	0,023	2,850	0,00	2,93	0,07
30 -- 31	1959	0,012	2,850	0,00	0,83	0,03
31 -- 32	2034	0,005	2,850	0,00	0,13	0,01
32 -- 33	3680	0,001	2,850	0,00	0,01	0,00
		Σ	67,00	13,89	10218,26	22,81

$$m_e = 10218,3 / 13,9 = 735,7 \text{ kg/m}$$

3.3 - Berekening bouwwerkfactor $c_s c_d$

Eurocode 1- 4 : 6.3.1 - Procedure volgens bijlage C

$$c_s c_d = 1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * (B^2 + R^2)^{0,5} / (1 + 7 * I_v(z_s))$$

$$n = n_{1,x} = 0,72 \quad \text{Hz}$$

$$b = 1,62 \quad \text{m}$$

$$h = 67,00 \quad \text{m}$$

$$z_s = h_0 + 0,6 * h = 40,20 \quad \text{m}$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 * \ln(z_0) = 0,59$$

$$\text{De referentiehoogte } z_t = 200 \quad \text{m}$$

$$\text{De referentielengteschaal } L_t = 300 \quad \text{m}$$

$$L(z) = L_t * (z / z_t)^\alpha = 116,50$$

$$B^2 = 1 / \{1 + 1,5 * [(b/L(z_s))^2 + (h/L(z_s))^2 + (b*h / L(z_s) * L(z_s))^2]^{0,5}\}$$

$$B^2 = 0,54$$

$$\delta_s = 0,012 \quad (\text{buis mast})$$

$$\delta_a = c_f * \rho * b * v_m(z_s) / (2 * n_1 * m_e) = 0,069$$

$$\delta_d = 0 \quad \text{nvt, geen dempinstallatie}$$

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0,081$$

$$v_m(z_s) = 29,98 \quad \text{m/s}$$

$$v_m(z) = 32,87 \quad \text{m/s}$$

$$I_v(z_s) = 0,19$$

$$S_L(z,n) = 6,8 * f_L(z,n) / \{1 + 10,2 * f_L(z,n)\}^{5/3} = 0,07$$

$$f_L(z,n) = n * L(z) / v_m(z) = 2,54$$

$$c_y = c_z = 11,5$$

$$\phi_y = c_y * b * n / V_m(z_s) = 0,44$$

$$\phi_z = c_y * h * n / V_m(z_s) = 18,41$$

$$G_y = 0,5$$

$$G_z = 0,28$$

$$K_s(n) = 1 / \{1 + [(G_y * \phi_y)_2 + G_z * \phi_z]^2 + (2 * G_y * \phi_y * G_z * \phi_z / \pi)^2\}^{0,5}$$

$$K_s(n) = 0,16$$

$$R^2 = 0,71$$

$$T = 600 \quad \text{s}$$

$$v = n_{1,x} * (R^2 / (B^2 + R^2))^{0,5} = 0,54 \quad \text{Hz}$$

$$k_p = \{2 * \ln(v * T)\}^{0,5} + 0,6 / \{(2 * \ln(v * T))^{0,5}\} = 3,58$$

$$c_s c_d = 1,08$$

3.4 - Bepaling krachtcoëfficiënt C_f

$$C_f = C_{f,0} * \psi_\lambda \quad \text{doorsnede : Cirkelvormige doorsnede}$$

$$R_e = b * v(z_e) / \nu \quad ; \quad v(z_e) = \{ 2 * q_p / \rho \}^{0,5}$$

b is de diameter

ν is de kinematische viscositeit van de lucht $\nu = 15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$C_{f,0} = 1,2 + [(0,18 * \log(10*k/b)) / (1 + 0,4 * \log(R_e / 10^6))]$$

k = 0,20 (gegalvaniseerd staal)

ψ_λ conform EN-1991-1-4 - 7,13

member number	$v(z_e)$ m/s	R_e	$C_{f,0}$	ψ_λ	C_f
1	48,77	1,66E+06	0,80	0,81	0,65
2	48,63	1,81E+06	0,80	0,81	0,65
3	48,37	2,09E+06	0,80	0,81	0,65
4	48,08	2,39E+06	0,80	0,81	0,65
5	47,87	2,60E+06	0,80	0,81	0,65
6	47,71	2,75E+06	0,80	0,81	0,65
7	47,44	2,98E+06	0,80	0,81	0,65
8	47,10	3,27E+06	0,79	0,81	0,65
9	46,77	3,52E+06	0,79	0,81	0,65
10	46,58	3,66E+06	0,79	0,81	0,65
11	46,34	3,82E+06	0,79	0,81	0,65
12	45,92	4,09E+06	0,79	0,81	0,65
13	45,47	4,35E+06	0,79	0,81	0,64
14	45,19	4,49E+06	0,79	0,81	0,64
15	44,94	4,62E+06	0,79	0,81	0,64
16	44,59	4,77E+06	0,79	0,81	0,64
17	44,32	4,89E+06	0,79	0,81	0,64
18	43,96	5,03E+06	0,79	0,81	0,64
19	43,66	5,13E+06	0,79	0,81	0,64
20	43,40	5,22E+06	0,79	0,81	0,64
21	43,07	5,32E+06	0,79	0,81	0,64
22	42,52	5,46E+06	0,79	0,81	0,64
23	41,71	5,63E+06	0,78	0,81	0,64
24	41,04	5,73E+06	0,78	0,81	0,64
25	40,58	5,79E+06	0,78	0,81	0,64
26	40,07	5,84E+06	0,78	0,81	0,64
27	39,50	5,88E+06	0,78	0,81	0,64
28	38,52	5,92E+06	0,78	0,81	0,63
29	36,92	5,91E+06	0,78	0,81	0,63
30	34,74	5,78E+06	0,77	0,81	0,63
31	31,38	5,42E+06	0,77	0,81	0,62
32	30,93	5,54E+06	0,77	0,81	0,62

3.5 - Gewicht, windoppervlak en windlast per staaf.

Gewicht (verticale belasting) bliksem en fase draden

	opstel hoogte m	aantal	gewicht / ophanging N	gewicht bevestiging N	totaal gewicht N
Bliksem	66,43	1	} Vlg. KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-00138 V10.0 (18 - 11 - 2013) Appendix - AM, AM1 en AM2		
1e traverse - 380C1F1	57,00	1			
2e traverse - 380C1F2	47,00	1			
3e traverse - 380C1F3	37,00	1			
Retourstroomgeleider	29,50	1			
				Σ Gew (kg)	0

Excentriciteit ophanging t.o.v hart mast

	opstel hoogte m	excet. in m
Bliksem	66,43	0,759
1e traverse - 380C1F1	57,00	0,000
2e traverse - 380C1F2	47,00	0,000
3e traverse - 380C1F3	37,00	0,000
Retourstroomgeleider	29,50	2,075

Windlast (horizontale belasting) bliksem en fase draden

	opstel hoogte m	aantal	F _{hor} ophanging N	F _{hor} bevestiging N	totaal F _{hor.} N
Bliksem	66,43	1	} Vlg. KEMA rapport		
1e traverse - 380C1F1	57,00	1			
2e traverse - 380C1F2	47,00	1			
3e traverse - 380C1F3	37,00	1			
Retourstroomgeleider	29,50	1			

3.6 - Gewicht en windbelasting van het mastlichaam

$$F_{wind} = q_p(z) * C_s C_d * A$$

staaf nummer	gewicht staven in N.	gewicht kab/ladder in N.	totaal gewicht in N.	windopp. staven in m².	windopp. ladder in m².	windlast in N	windlast in kN/m'.
1	1244	86	1329	0,190	0,068	414	0,727
2	5712	357	6069	0,868	0,286	1840	0,773
3	8243	443	8686	1,244	0,354	2523	0,855
4	9531	443	9973	1,431	0,354	2783	0,943
5	4504	173	4677	0,608	0,138	1153	1,003
6	7487	270	7757	1,009	0,216	1880	1,045
7	13422	443	13864	1,803	0,354	3274	1,110
8	14852	443	15295	1,988	0,354	3504	1,188
9	13804	345	14149	1,678	0,276	2884	1,254
10	4075	98	4172	0,495	0,078	838	1,289
11	19453	443	19895	2,357	0,354	3927	1,331
12	23839	443	24281	2,542	0,354	4119	1,396
13	25627	443	26070	2,725	0,354	4295	1,456
14	4521	75	4596	0,480	0,060	744	1,488
15	22895	368	23262	2,429	0,294	3709	1,514
16	16073	221	16294	1,523	0,177	2280	1,546
17	16574	221	16795	1,568	0,177	2312	1,568
18	24460	315	24775	2,312	0,252	3343	1,592
19	10189	128	10317	0,962	0,102	1368	1,609
20	18076	221	18297	1,705	0,177	2391	1,621
21	18577	221	18798	1,750	0,177	2411	1,635
22	41373	443	41815	3,635	0,354	4866	1,649
23	43519	443	43961	3,815	0,354	4892	1,658
24	20631	203	20833	1,805	0,162	2235	1,656
25	21080	203	21283	1,842	0,162	2227	1,649
26	24232	214	24446	1,984	0,171	2335	1,638
27	24767	214	24980	2,025	0,171	2311	1,622
28	51135	428	51563	4,171	0,342	4518	1,585
29	53272	428	53699	4,329	0,342	4294	1,507
30	55408	428	55836	4,480	0,342	3926	1,378
31	57544	428	57972	4,614	0,342	3292	1,155
32	59681	428	60108	4,778	0,342	3305	1,160
	735799	10050	745849	inkl. C _t	inkl. C _t	Σ F _{mast} =	70859

Gewicht ladder = 15 kg / m'
Windoppervlak ladder = 0,12 m² / m'

3.7 - Berekende belastingen

1 - Eigen gewichten (Ultimate limit state)

knoop nummer	staaf i--j	eg mast inc. Ladder in N/m'	eg draden BG - 1a in N	eg draden BG - 1b in N	eg draden BG - 3 in N	eg draden BG - 4 in N
1	1 -- 2	2798	480	480	480	480
2	2 -- 3	3060	5165	5804	21482	7501
3	3 -- 4	3533				
4	4 -- 5	4057				
5	5 -- 6	4880				
6	6 -- 7	5171	39219	43678	70758	49955
7	7 -- 8	5640				
8	8 -- 9	6222				
9	9 -- 10	7382				
10	10 -- 11	7702	40000	44277	71490	50537
11	11 -- 12	8093				
12	12 -- 13	9877	8456	8456	8456	8456
13	13 -- 14	10605				
14	14 -- 15	11030				
15	15 -- 16	11394	40887	44890	72269	51127
16	16 -- 17	13256				
17	17 -- 18	13664				
18	18 -- 19	14157				
19	19 -- 20	14565	5154	5698	21553	7381
20	20 -- 21	14886				
21	21 -- 22	15293				
22	22 -- 23	17010				
23	23 -- 24	17882				
24	24 -- 25	18519	39901	39901	39901	39901
25	25 -- 26	18918				
26	26 -- 27	20586				
27	27 -- 28	21036				
28	28 -- 29	21711				
29	29 -- 30	22610				
30	30 -- 31	23510				
31	31 -- 32	24409				
32	32 -- 33	25309				
33			53715	53715	53715	53715

KEMA rapport - bijlage AM - windhoek 90 graden
eg flenzen+ringen * γ_g ($\gamma_g = 1,2$)
eg mast * γ_g ($\gamma_g = 1,2$)

Berekende gewichten voor voetplaat, flenzen en ringen

Voetplaat : rond 3373 / 2029 , t = 100 mm ; G = 4476 kg

Flenzen op 19,8m : 2 * rond 2073 / 1540 , t = 140 mm ; G = 3325 kg

Flenzen op 43,4m : 2 * rond 1287 / 970 , t = 80 mm ; G = 705 kg

Topplaat / Hijsplaat + kap : rond 500 / 300 , t = 30 mm ; G = 40 kg

Bevestigingsringen op 57m : 2 * rond 1103 / 833 , t = 20 mm ; G = 129 kg

Bevestigingsringen op 47m : 2 * rond 1437 / 1167 , t = 20 mm ; G = 173 kg

Bevestigingsringen op 37m : 2 * rond 1770 / 1500 , t = 20 mm ; G = 218 kg

Tracé VHZ - BWK

2 - Horizontale belasting (Serviceability limit state)

A - Horizontale belasting X -richting

knoop nummer	staaf i--j	wind belasting mast in N/m'	hor. Bel. draden BG - 1a in N	hor. Bel. draden BG - 1b in N	hor. Bel. draden BG - 3 in N	hor. Bel. draden BG - 4 in N
1	1 -- 2	727	30123	17973	49015	19141
2	2 -- 3	773				
3	3 -- 4	855				
4	4 -- 5	943				
5	5 -- 6	1003				
6	6 -- 7	1045	188339	134730	193879	131343
7	7 -- 8	1110				
8	8 -- 9	1188				
9	9 -- 10	1254				
10	10 -- 11	1289				
11	11 -- 12	1331	180113	133825	190887	130513
12	12 -- 13	1396				
13	13 -- 14	1456				
14	14 -- 15	1488				
15	15 -- 16	1514				
16	16 -- 17	1546	169772	132712	187211	129488
17	17 -- 18	1568				
18	18 -- 19	1592				
19	19 -- 20	1609				
20	20 -- 21	1621				
21	21 -- 22	1635	24164	17651	45750	18997
22	22 -- 23	1649				
23	23 -- 24	1658				
24	24 -- 25	1656				
25	25 -- 26	1649				
26	26 -- 27	1638				
27	27 -- 28	1622				
28	28 -- 29	1585				
29	29 -- 30	1507				
30	30 -- 31	1378				
31	31 -- 32	1155				
32	32 -- 33	1160				
33		0				

KEMA rapport - bijlage AM2 - windhoek 90 graden

wind mast * γ_q ($\gamma_q = 1,0$)

B - Horizontale belasting Y -richting

knoop nummer	staaf i--j	wind belasting mast in N/m'	hor. Bel. draden BG - 1a in N	hor. Bel. draden BG - 1b in N	hor. Bel. draden BG - 3 in N	hor. Bel. draden BG - 4 in N
19	19 -- 20		41725	35835	87759	38721

Tracé VHZ - BWK

3 - Horizontale belasting (Ultimate limit state)

A - Horizontale belasting X -richting

knoop nummer	staaf i--j	wind belasting mast in N/m'	hor. Bel. draden BG - 1a in N	hor. Bel. draden BG - 1b in N	hor. Bel. draden BG - 3 in N	hor. Bel. draden BG - 4 in N
1	1 -- 2	1163				
2	2 -- 3	1237	40855	21496	64895	23680
3	3 -- 4	1368				
4	4 -- 5	1509				
5	5 -- 6	1604				
6	6 -- 7	1671	249946	158066	246143	158665
7	7 -- 8	1776				
8	8 -- 9	1900				
9	9 -- 10	2006				
10	10 -- 11	2063	237731	156613	241603	157356
11	11 -- 12	2130				
12	12 -- 13	2234				
13	13 -- 14	2329				
14	14 -- 15	2381				
15	15 -- 16	2422	222224	154827	236014	155741
16	16 -- 17	2473				
17	17 -- 18	2508				
18	18 -- 19	2547				
19	19 -- 20	2575	31950	20776	60006	23236
20	20 -- 21	2594				
21	21 -- 22	2615				
22	22 -- 23	2639				
23	23 -- 24	2653				
24	24 -- 25	2649				
25	25 -- 26	2639				
26	26 -- 27	2621				
27	27 -- 28	2595				
28	28 -- 29	2536				
29	29 -- 30	2411				
30	30 -- 31	2204				
31	31 -- 32	1848				
32	32 -- 33	1855				
33		0				

KEMA rapport - bijlage AM - windhoek 90 graden

wind mast * γ_q ($\gamma_q = 1,6$)

B - Horizontale belasting Y -richting

knoop nummer	staaf i--j	wind belasting mast in N/m'	hor. Bel. draden BG - 1a in N	hor. Bel. draden BG - 1b in N	hor. Bel. draden BG - 3 in N	hor. Bel. draden BG - 4 in N
19	19 -- 20		53370	41529	113147	46801

4.0 - Resultaat berekeningen

4.1 - Berekenen verplaatsingen in SLS-toestand (Serviceability limit state)

A - Wind belasting mastlichaam (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2	414		0	0,00E+00	3,80E-03	136
2	2 -- 3	1840		414	1,31E+05	3,80E-03	133
3	3 -- 4	2523		2254	3,41E+06	3,79E-03	124
4	4 -- 5	2783		4777	1,40E+07	3,72E-03	113
5	5 -- 6	1153		7560	3,25E+07	3,61E-03	102
6	6 -- 7	1880		8713	4,22E+07	3,55E-03	98
7	7 -- 8	3274		10594	6,00E+07	3,46E-03	92
8	8 -- 9	3504		13868	9,70E+07	3,29E-03	82
9	9 -- 10	2884		17372	1,44E+08	3,09E-03	73
10	10 -- 11	838		20255	1,88E+08	2,93E-03	66
11	11 -- 12	3927		21093	2,02E+08	2,89E-03	64
12	12 -- 13	4119		25021	2,72E+08	2,67E-03	56
13	13 -- 14	4295		29139	3,53E+08	2,48E-03	48
14	14 -- 15	744		33434	4,47E+08	2,27E-03	41
15	15 -- 16	3709		34178	4,64E+08	2,24E-03	40
16	16 -- 17	2280		37887	5,54E+08	2,06E-03	34
17	17 -- 18	2312		40168	6,13E+08	1,97E-03	31
18	18 -- 19	3343		42480	6,74E+08	1,87E-03	29
19	19 -- 20	1368		45823	7,68E+08	1,74E-03	25
20	20 -- 21	2391		47190	8,09E+08	1,68E-03	23
21	21 -- 22	2411		49582	8,81E+08	1,59E-03	21
22	22 -- 23	4866		51993	9,57E+08	1,49E-03	19
23	23 -- 24	4892		56859	1,12E+09	1,31E-03	15
24	24 -- 25	2235		61751	1,30E+09	1,13E-03	11
25	25 -- 26	2227		63986	1,38E+09	1,04E-03	10
26	26 -- 27	2335		66213	1,47E+09	9,62E-04	8
27	27 -- 28	2311		68547	1,57E+09	8,80E-04	7
28	28 -- 29	4518		70859	1,67E+09	7,98E-04	6
29	29 -- 30	4294		75376	1,88E+09	6,36E-04	4
30	30 -- 31	3926		79670	2,10E+09	4,74E-04	2
31	31 -- 32	3292		83597	2,33E+09	3,14E-04	1
32	32 -- 33	3305		86889	2,58E+09	1,56E-04	0
33		0		90193	2,83E+09	0,00E+00	0

Tracé VHZ - BWK

B - Horizontale belasting - belastinggeval 1a (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,x} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	4,93E-02	1717
2	2 -- 3		30123	30123	1,69E+05	4,93E-02	1689
3	3 -- 4			30123	7,33E+07	4,90E-02	1571
4	4 -- 5			30123	1,65E+08	4,80E-02	1428
5	5 -- 6			30123	2,58E+08	4,69E-02	1288
6	6 -- 7		188339	218461	2,96E+08	4,66E-02	1234
7	7 -- 8			218461	6,96E+08	4,57E-02	1151
8	8 -- 9			218461	1,35E+09	4,33E-02	1020
9	9 -- 10			218461	2,01E+09	4,05E-02	896
10	10 -- 11		180113	398575	2,53E+09	3,84E-02	805
11	11 -- 12			398575	2,79E+09	3,78E-02	780
12	12 -- 13			398575	3,98E+09	3,47E-02	673
13	13 -- 14			398575	5,18E+09	3,18E-02	574
14	14 -- 15			398575	6,38E+09	2,89E-02	485
15	15 -- 16		169772	568347	6,58E+09	2,84E-02	470
16	16 -- 17			568347	7,99E+09	2,59E-02	404
17	17 -- 18			568347	8,84E+09	2,45E-02	367
18	18 -- 19			568347	9,69E+09	2,32E-02	331
19	19 -- 20		24164	593979	1,09E+10	2,12E-02	285
20	20 -- 21			593979	1,14E+10	2,04E-02	267
21	21 -- 22			593979	1,23E+10	1,91E-02	238
22	22 -- 23			593979	1,32E+10	1,77E-02	211
23	23 -- 24			593979	1,50E+10	1,53E-02	162
24	24 -- 25			593979	1,67E+10	1,29E-02	120
25	25 -- 26			593979	1,75E+10	1,18E-02	104
26	26 -- 27			593979	1,83E+10	1,08E-02	88
27	27 -- 28			593979	1,92E+10	9,78E-03	74
28	28 -- 29			593979	2,01E+10	8,79E-03	61
29	29 -- 30			593979	2,18E+10	6,87E-03	38
30	30 -- 31			593979	2,35E+10	5,03E-03	21
31	31 -- 32			593979	2,52E+10	3,28E-03	9
32	32 -- 33			593979	2,69E+10	1,60E-03	2
33				593979	2,86E+10	0,00E+00	0

)*

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,y} N
19	19 -- 20		41725

)* - De resultaten zijn de vectoriele som van de belastingen in X - en Y richting.

Tracé VHZ - BWK

C - Horizontale belasting - belastinggeval 1b (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,x} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	3,47E-02	1229
2	2 -- 3		17973	17973	1,19E+05	3,47E-02	1210
3	3 -- 4			17973	4,39E+07	3,45E-02	1127
4	4 -- 5			17973	9,90E+07	3,39E-02	1026
5	5 -- 6			17973	1,55E+08	3,33E-02	927
6	6 -- 7		134730	152703	1,78E+08	3,30E-02	889
7	7 -- 8			152703	4,58E+08	3,25E-02	830
8	8 -- 9			152703	9,16E+08	3,09E-02	736
9	9 -- 10			152703	1,38E+09	2,90E-02	648
10	10 -- 11		133825	286528	1,74E+09	2,75E-02	583
11	11 -- 12			286528	1,93E+09	2,71E-02	565
12	12 -- 13			286528	2,79E+09	2,50E-02	488
13	13 -- 14			286528	3,65E+09	2,30E-02	417
14	14 -- 15			286528	4,51E+09	2,09E-02	352
15	15 -- 16		132712	419240	4,65E+09	2,05E-02	342
16	16 -- 17			419240	5,69E+09	1,88E-02	294
17	17 -- 18			419240	6,32E+09	1,78E-02	267
18	18 -- 19			419240	6,95E+09	1,68E-02	241
19	19 -- 20		17651	438358	7,84E+09	1,54E-02	207
20	20 -- 21			438358	8,21E+09	1,48E-02	194
21	21 -- 22			438358	8,87E+09	1,39E-02	173
22	22 -- 23			438358	9,52E+09	1,29E-02	154
23	23 -- 24			438358	1,08E+10	1,11E-02	118
24	24 -- 25			438358	1,21E+10	9,39E-03	88
25	25 -- 26			438358	1,27E+10	8,62E-03	76
26	26 -- 27			438358	1,33E+10	7,87E-03	64
27	27 -- 28			438358	1,40E+10	7,13E-03	54
28	28 -- 29			438358	1,46E+10	6,41E-03	44
29	29 -- 30			438358	1,58E+10	5,01E-03	28
30	30 -- 31			438358	1,71E+10	3,67E-03	15
31	31 -- 32			438358	1,84E+10	2,39E-03	7
32	32 -- 33			438358	1,96E+10	1,17E-03	2
33				438358	2,09E+10	0,00E+00	0

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,y} N
19	19 -- 20		35835

Tracé VHZ - BWK

D - Horizontale belasting - belastinggeval 3 (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,x} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	5,76E-02	1943
2	2 -- 3		49015	49015	1,97E+05	5,76E-02	1910
3	3 -- 4			49015	1,18E+08	5,70E-02	1773
4	4 -- 5			49015	2,66E+08	5,55E-02	1607
5	5 -- 6			49015	4,16E+08	5,37E-02	1446
6	6 -- 7		193879	242893	4,77E+08	5,31E-02	1384
7	7 -- 8			242893	9,21E+08	5,18E-02	1290
8	8 -- 9			242893	1,65E+09	4,89E-02	1141
9	9 -- 10			242893	2,38E+09	4,55E-02	1001
10	10 -- 11		190887	433780	2,96E+09	4,31E-02	899
11	11 -- 12			433780	3,24E+09	4,23E-02	872
12	12 -- 13			433780	4,54E+09	3,88E-02	752
13	13 -- 14			433780	5,85E+09	3,55E-02	642
14	14 -- 15			433780	7,15E+09	3,22E-02	542
15	15 -- 16		187211	620991	7,37E+09	3,17E-02	526
16	16 -- 17			620991	8,91E+09	2,89E-02	451
17	17 -- 18			620991	9,84E+09	2,74E-02	410
18	18 -- 19			620991	1,08E+10	2,58E-02	371
19	19 -- 20		45750	672491	1,21E+10	2,37E-02	319
20	20 -- 21			672491	1,27E+10	2,28E-02	299
21	21 -- 22			672491	1,37E+10	2,13E-02	266
22	22 -- 23			672491	1,47E+10	1,98E-02	236
23	23 -- 24			672491	1,67E+10	1,71E-02	181
24	24 -- 25			672491	1,87E+10	1,44E-02	135
25	25 -- 26			672491	1,96E+10	1,32E-02	116
26	26 -- 27			672491	2,05E+10	1,21E-02	99
27	27 -- 28			672491	2,15E+10	1,10E-02	83
28	28 -- 29			672491	2,24E+10	9,85E-03	68
29	29 -- 30			672491	2,43E+10	7,70E-03	43
30	30 -- 31			672491	2,63E+10	5,64E-03	24
31	31 -- 32			672491	2,82E+10	3,68E-03	10
32	32 -- 33			672491	3,01E+10	1,80E-03	3
33				672491	3,20E+10	0,00E+00	0

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,y} N
19	19 -- 20		87759

Tracé VHZ - BWK

E - Horizontale belasting - belastinggeval 4 (incl. 2e orde effect)

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	1,2E+05	3,4E-02	1212
2	2 -- 3		19141	19141	1,1E+06	3,4E-02	1191
3	3 -- 4			19141	4,9E+07	3,4E-02	1109
4	4 -- 5			19141	1,1E+08	3,4E-02	1009
5	5 -- 6			19141	1,7E+08	3,3E-02	912
6	6 -- 7		131343	150484	1,9E+08	3,3E-02	874
7	7 -- 8			150484	4,7E+08	3,2E-02	815
8	8 -- 9			150484	9,3E+08	3,0E-02	723
9	9 -- 10			150484	1,4E+09	2,9E-02	636
10	10 -- 11		130513	280998	1,7E+09	2,7E-02	573
11	11 -- 12			280998	1,9E+09	2,7E-02	554
12	12 -- 13			280998	2,8E+09	2,5E-02	479
13	13 -- 14			280998	3,6E+09	2,3E-02	409
14	14 -- 15			280998	4,4E+09	2,1E-02	346
15	15 -- 16		129488	410485	4,6E+09	2,0E-02	335
16	16 -- 17			410485	5,6E+09	1,8E-02	288
17	17 -- 18			410485	6,2E+09	1,7E-02	262
18	18 -- 19			410485	6,8E+09	1,6E-02	237
19	19 -- 20		18997	431224	7,7E+09	1,5E-02	204
20	20 -- 21			431224	8,1E+09	1,5E-02	191
21	21 -- 22			431224	8,7E+09	1,4E-02	170
22	22 -- 23			431224	9,4E+09	1,3E-02	151
23	23 -- 24			431224	1,1E+10	1,1E-02	116
24	24 -- 25			431224	1,2E+10	9,2E-03	86
25	25 -- 26			431224	1,3E+10	8,5E-03	74
26	26 -- 27			431224	1,3E+10	7,7E-03	63
27	27 -- 28			431224	1,4E+10	7,0E-03	53
28	28 -- 29			431224	1,4E+10	6,3E-03	43
29	29 -- 30			431224	1,6E+10	4,9E-03	27
30	30 -- 31			431224	1,7E+10	3,6E-03	15
31	31 -- 32			431224	1,8E+10	2,3E-03	7
32	32 -- 33			431224	1,9E+10	1,1E-03	2
33				431224	2,0E+10	0,0E+00	0

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,y} N
19	19 -- 20		38721

Tracé VHZ - BWK

F - Excentriciteit moment t.g.v. eigengewicht draden

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2				0,00E+00	1,22E-04	2
2	2 -- 3				3,11E+06	1,22E-04	2
3	3 -- 4				3,11E+06	9,06E-05	1
4	4 -- 5				3,11E+06	6,59E-05	1
5	5 -- 6				3,11E+06	4,99E-05	1
6	6 -- 7				3,11E+06	4,56E-05	1
7	7 -- 8				3,11E+06	3,99E-05	1
8	8 -- 9				3,11E+06	3,28E-05	1
9	9 -- 10				3,11E+06	2,76E-05	1
10	10 -- 11				3,11E+06	2,47E-05	0
11	11 -- 12				3,11E+06	2,40E-05	0
12	12 -- 13				3,11E+06	2,12E-05	0
13	13 -- 14				3,11E+06	1,92E-05	0
14	14 -- 15				3,11E+06	1,76E-05	0
15	15 -- 16				3,11E+06	1,74E-05	0
16	16 -- 17				3,11E+06	1,63E-05	0
17	17 -- 18				3,11E+06	1,58E-05	0
18	18 -- 19				3,11E+06	1,53E-05	0
19	19 -- 20				1,22E+07	1,47E-05	0
20	20 -- 21				1,22E+07	1,39E-05	0
21	21 -- 22				1,22E+07	1,25E-05	0
22	22 -- 23				1,22E+07	1,12E-05	0
23	23 -- 24				1,22E+07	9,07E-06	0
24	24 -- 25				1,22E+07	7,23E-06	0
25	25 -- 26				1,22E+07	6,48E-06	0
26	26 -- 27				1,22E+07	5,77E-06	0
27	27 -- 28				1,22E+07	5,11E-06	0
28	28 -- 29				1,22E+07	4,49E-06	0
29	29 -- 30				1,22E+07	3,37E-06	0
30	30 -- 31				1,22E+07	2,38E-06	0
31	31 -- 32				1,22E+07	1,49E-06	0
32	32 -- 33				1,22E+07	7,06E-07	0
33					1,22E+07	0,00E+00	0

4.2 - Maximale horizontale verplaatsingen in SLS-toestand

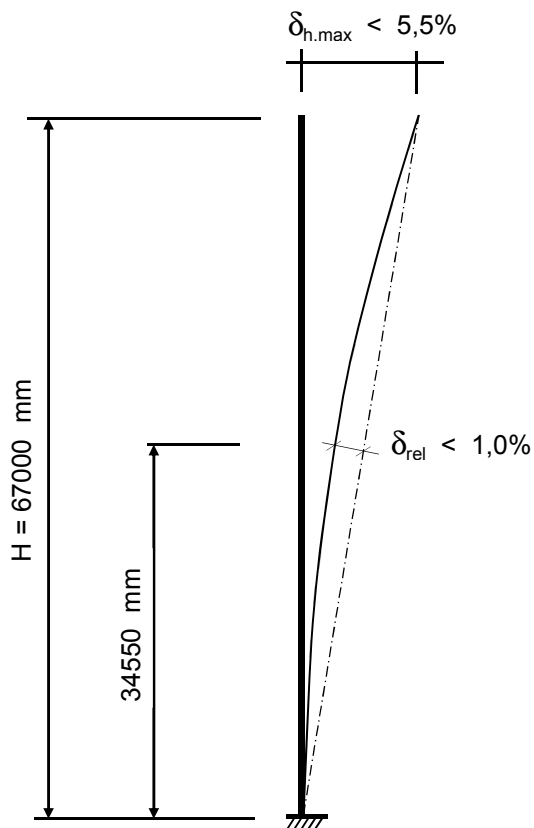
Maatgevende combinatie - Serviceability limit state:

Eigengewicht conductors, insulators	$G_k =$	1,00	1,00
Windbelasting mastlichaam	$Q_{wk} =$	1,00	0,30
Belasting geval 1a	$Q_{wk} =$	1,00	0,00
Belasting geval 1b	$Q_{wk} =$	0,00	0,00
Belasting geval 3	$Q_{ik} =$	0,00	1,00
Belasting geval 4	$Q_{pk} =$	0,00	0,00

knoop nummer	staaf i--j	hoekver. ϕ radian	verpl. δ_{hor} mm
1	1 -- 2	5,9E-02	1985
2	2 -- 3	5,9E-02	1951
3	3 -- 4	5,8E-02	1812
4	4 -- 5	5,7E-02	1642
5	5 -- 6	5,5E-02	1477
6	6 -- 7	5,4E-02	1415
7	7 -- 8	5,3E-02	1318
8	8 -- 9	5,0E-02	1166
9	9 -- 10	4,7E-02	1024
10	10 -- 11	4,4E-02	919
11	11 -- 12	4,3E-02	891
12	12 -- 13	4,0E-02	769
13	13 -- 14	3,6E-02	656
14	14 -- 15	3,3E-02	554
15	15 -- 16	3,2E-02	538
16	16 -- 17	3,0E-02	462
17	17 -- 18	2,8E-02	420
18	18 -- 19	2,6E-02	379
19	19 -- 20	2,4E-02	326
20	20 -- 21	2,3E-02	306
21	21 -- 22	2,2E-02	273
22	22 -- 23	2,0E-02	242
23	23 -- 24	1,7E-02	186
24	24 -- 25	1,5E-02	138
25	25 -- 26	1,4E-02	119
26	26 -- 27	1,2E-02	102
27	27 -- 28	1,1E-02	85
28	28 -- 29	1,0E-02	70
29	29 -- 30	7,9E-03	44
30	30 -- 31	5,8E-03	24
31	31 -- 32	3,8E-03	11
32	32 -- 33	1,8E-03	3
33		0,0E+00	0

)* - Maatgevende belastingcombinatie

4.3 - Toetsing maximale horizontale verplaatsingen



Controle verplaatsingen

$$\delta_h = 1985 \text{ mm} \rightarrow \delta_h * 100 / 67000$$

Percentage uitbuig. = 2,96 % voldoet , max verpl. < 5,5 %

max. relatieve verplaatsing mast, t.p.v knoop x :

$$\delta_{rel} = [\{ \delta_{hor} * (\text{hoogte knoop x}) / (\text{totale hoogte}) \} - \delta_{knoop x}] * \cos \alpha$$

$$\text{Knoop } 16 ; \text{ Hoogte } = 34550 \text{ mm}$$

$$\delta_{knoop x} = 462 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1,70 \text{ graden}$$

$$\delta_{rel} = 561 \text{ mm} \rightarrow \delta_h * 100 / 67000$$

Percentage uitbuig. = 0,84 % voldoet , max verpl. < 1 %

De maximale verplaatsing voldoet aan stijfheidseisen volgen NEN -EN 50341-3 (november 2001) .

4.4 - Berekening krachten in ULS-toestand - (Ultimate limit state)

A - Wind belasting mastlichaam

knoop nummer	staaf i-j	$Q_{last,hor}$ N	normaalkr. N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2	621	480	0	0,00E+00	5,98E-03	213
2	2 -- 3	2760	7240	663	1,89E+05	5,98E-03	210
3	3 -- 4	3785	14523	3607	5,27E+06	5,96E-03	196
4	4 -- 5	4175	24946	7643	2,19E+07	5,86E-03	178
5	5 -- 6	1730	36913	12096	5,10E+07	5,67E-03	161
6	6 -- 7	2820	81745	13941	6,60E+07	5,59E-03	155
7	7 -- 8	4911	91053	16950	9,38E+07	5,45E-03	145
8	8 -- 9	5256	107690	22188	1,51E+08	5,17E-03	129
9	9 -- 10	4325	126043	27795	2,25E+08	4,86E-03	114
10	10 -- 11	1257	183023	32408	2,94E+08	4,62E-03	103
11	11 -- 12	5891	188029	33749	3,16E+08	4,54E-03	101
12	12 -- 13	6178	220359	40033	4,25E+08	4,21E-03	88
13	13 -- 14	6442	249497	46623	5,53E+08	3,90E-03	76
14	14 -- 15	1116	280780	53494	7,00E+08	3,58E-03	65
15	15 -- 16	5564	327183	54685	7,27E+08	3,53E-03	63
16	16 -- 17	3420	355097	60620	8,69E+08	3,25E-03	54
17	17 -- 18	3469	374651	64268	9,61E+08	3,11E-03	50
18	18 -- 19	5014	394805	67968	1,06E+09	2,96E-03	45
19	19 -- 20	2052	429689	73316	1,21E+09	2,74E-03	39
20	20 -- 21	3587	442069	75505	1,27E+09	2,66E-03	37
21	21 -- 22	3616	464025	79331	1,38E+09	2,50E-03	33
22	22 -- 23	7299	486583	83188	1,50E+09	2,35E-03	30
23	23 -- 24	7338	536761	90974	1,76E+09	2,07E-03	23
24	24 -- 25	3353	629416	98801	2,04E+09	1,78E-03	17
25	25 -- 26	3340	654416	102378	2,18E+09	1,65E-03	15
26	26 -- 27	3502	679955	105940	2,32E+09	1,52E-03	13
27	27 -- 28	3467	709291	109676	2,47E+09	1,39E-03	11
28	28 -- 29	6776	739267	113374	2,63E+09	1,26E-03	9
29	29 -- 30	6441	801143	120602	2,96E+09	1,01E-03	6
30	30 -- 31	5889	865582	127473	3,32E+09	7,50E-04	3
31	31 -- 32	4938	932584	133755	3,69E+09	4,98E-04	1
32	32 -- 33	4957	1002151	139022	4,08E+09	2,47E-04	0
33		0	1127996	144309	4,48E+09	0,00E+00	0

Tracé VHZ - BWK

B - Horizontale belasting - belastinggeval 1a

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,x} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	6,45E-02	2242
2	2 -- 3		40855	40855	0,00E+00	6,45E-02	2205
3	3 -- 4			40855	9,72E+07	6,40E-02	2052
4	4 -- 5			40855	2,18E+08	6,28E-02	1865
5	5 -- 6			40855	3,38E+08	6,13E-02	1682
6	6 -- 7		249946	290800	3,85E+08	6,08E-02	1611
7	7 -- 8			290800	9,09E+08	5,96E-02	1503
8	8 -- 9			290800	1,77E+09	5,66E-02	1331
9	9 -- 10			290800	2,62E+09	5,29E-02	1169
10	10 -- 11		237731	528531	3,29E+09	5,01E-02	1050
11	11 -- 12			528531	3,64E+09	4,93E-02	1018
12	12 -- 13			528531	5,20E+09	4,53E-02	878
13	13 -- 14			528531	6,76E+09	4,15E-02	750
14	14 -- 15			528531	8,31E+09	3,77E-02	633
15	15 -- 16		222224	750755	8,58E+09	3,70E-02	614
16	16 -- 17			750755	1,04E+10	3,38E-02	527
17	17 -- 18			750755	1,15E+10	3,20E-02	479
18	18 -- 19			750755	1,26E+10	3,02E-02	433
19	19 -- 20		31950	784522	1,42E+10	2,77E-02	372
20	20 -- 21			784522	1,49E+10	2,67E-02	349
21	21 -- 22			784522	1,60E+10	2,49E-02	311
22	22 -- 23			784522	1,72E+10	2,32E-02	275
23	23 -- 24			784522	1,95E+10	1,99E-02	212
24	24 -- 25			784522	2,18E+10	1,68E-02	157
25	25 -- 26			784522	2,29E+10	1,55E-02	135
26	26 -- 27			784522	2,39E+10	1,41E-02	115
27	27 -- 28			784522	2,50E+10	1,28E-02	96
28	28 -- 29			784522	2,62E+10	1,15E-02	79
29	29 -- 30			784522	2,84E+10	8,97E-03	50
30	30 -- 31			784522	3,06E+10	6,58E-03	28
31	31 -- 32			784522	3,29E+10	4,28E-03	12
32	32 -- 33			784522	3,51E+10	2,09E-03	3
33				784522	3,73E+10	0,00E+00	0

)*

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,y} N
19	19 -- 20		53370

)* - De resultaten zijn de vectoriële som van de belastingen in X - en Y richting.

Tracé VHZ - BWK

C - Horizontale belasting - belastinggeval 1b

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	4,01E-02	1421
2	2 -- 3		21496	21496	0,00E+00	4,01E-02	1398
3	3 -- 4			21496	5,12E+07	3,99E-02	1303
4	4 -- 5			21496	1,15E+08	3,92E-02	1186
5	5 -- 6			21496	1,78E+08	3,84E-02	1071
6	6 -- 7		158066	179562	2,03E+08	3,82E-02	1027
7	7 -- 8			179562	5,26E+08	3,75E-02	959
8	8 -- 9			179562	1,06E+09	3,57E-02	851
9	9 -- 10			179562	1,59E+09	3,35E-02	749
10	10 -- 11		156613	336175	2,00E+09	3,18E-02	673
11	11 -- 12			336175	2,22E+09	3,13E-02	653
12	12 -- 13			336175	3,21E+09	2,89E-02	564
13	13 -- 14			336175	4,20E+09	2,65E-02	482
14	14 -- 15			336175	5,19E+09	2,41E-02	407
15	15 -- 16		154827	491001	5,36E+09	2,37E-02	395
16	16 -- 17			491001	6,56E+09	2,17E-02	340
17	17 -- 18			491001	7,29E+09	2,06E-02	308
18	18 -- 19			491001	8,01E+09	1,94E-02	279
19	19 -- 20		20776	513460	9,04E+09	1,78E-02	240
20	20 -- 21			513460	9,48E+09	1,72E-02	225
21	21 -- 22			513460	1,02E+10	1,60E-02	200
22	22 -- 23			513460	1,10E+10	1,49E-02	178
23	23 -- 24			513460	1,25E+10	1,29E-02	137
24	24 -- 25			513460	1,40E+10	1,09E-02	102
25	25 -- 26			513460	1,47E+10	9,97E-03	88
26	26 -- 27			513460	1,54E+10	9,10E-03	75
27	27 -- 28			513460	1,61E+10	8,25E-03	62
28	28 -- 29			513460	1,69E+10	7,42E-03	51
29	29 -- 30			513460	1,83E+10	5,80E-03	32
30	30 -- 31			513460	1,98E+10	4,25E-03	18
31	31 -- 32			513460	2,12E+10	2,77E-03	8
32	32 -- 33			513460	2,27E+10	1,35E-03	2
33				513460	2,42E+10	0,00E+00	0

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.y} N
19	19 -- 20		41529

Tracé VHZ - BWK

D - Horizontale belasting - belastinggeval 3

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	7,27E-02	2445
2	2 -- 3		64895	64895	0,00E+00	7,27E-02	2403
3	3 -- 4			64895	1,54E+08	7,20E-02	2231
4	4 -- 5			64895	3,46E+08	7,00E-02	2021
5	5 -- 6			64895	5,37E+08	6,77E-02	1818
6	6 -- 7		246143	311037	6,12E+08	6,69E-02	1741
7	7 -- 8			311037	1,17E+09	6,53E-02	1621
8	8 -- 9			311037	2,09E+09	6,16E-02	1434
9	9 -- 10			311037	3,01E+09	5,73E-02	1258
10	10 -- 11		241603	552640	3,72E+09	5,41E-02	1130
11	11 -- 12			552640	4,08E+09	5,32E-02	1095
12	12 -- 13			552640	5,71E+09	4,88E-02	944
13	13 -- 14			552640	7,34E+09	4,46E-02	806
14	14 -- 15			552640	8,97E+09	4,05E-02	681
15	15 -- 16		236014	788655	9,25E+09	3,98E-02	661
16	16 -- 17			788655	1,12E+10	3,63E-02	567
17	17 -- 18			788655	1,23E+10	3,44E-02	515
18	18 -- 19			788655	1,35E+10	3,25E-02	466
19	19 -- 20		60006	856170	1,52E+10	2,98E-02	401
20	20 -- 21			856170	1,59E+10	2,87E-02	376
21	21 -- 22			856170	1,71E+10	2,68E-02	335
22	22 -- 23			856170	1,84E+10	2,49E-02	297
23	23 -- 24			856170	2,09E+10	2,15E-02	228
24	24 -- 25			856170	2,34E+10	1,81E-02	170
25	25 -- 26			856170	2,46E+10	1,67E-02	146
26	26 -- 27			856170	2,57E+10	1,52E-02	125
27	27 -- 28			856170	2,69E+10	1,38E-02	104
28	28 -- 29			856170	2,82E+10	1,24E-02	85
29	29 -- 30			856170	3,06E+10	9,68E-03	54
30	30 -- 31			856170	3,30E+10	7,10E-03	30
31	31 -- 32			856170	3,55E+10	4,63E-03	13
32	32 -- 33			856170	3,79E+10	2,26E-03	3
33				856170	4,03E+10	0,00E+00	0

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor.y} N
19	19 -- 20		113147

Tracé VHZ - BWK

E - Horizontale belasting - belastinggeval 4

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2			0	0,00E+00	4,10E-02	1444
2	2 -- 3		23680	23680	0,00E+00	4,10E-02	1420
3	3 -- 4			23680	5,64E+07	4,07E-02	1323
4	4 -- 5			23680	1,26E+08	4,00E-02	1204
5	5 -- 6			23680	1,96E+08	3,92E-02	1087
6	6 -- 7		158665	182344	2,23E+08	3,89E-02	1042
7	7 -- 8			182344	5,52E+08	3,82E-02	973
8	8 -- 9			182344	1,09E+09	3,63E-02	863
9	9 -- 10			182344	1,63E+09	3,40E-02	759
10	10 -- 11		157356	339700	2,05E+09	3,23E-02	683
11	11 -- 12			339700	2,27E+09	3,18E-02	662
12	12 -- 13			339700	3,27E+09	2,93E-02	571
13	13 -- 14			339700	4,27E+09	2,69E-02	489
14	14 -- 15			339700	5,27E+09	2,44E-02	413
15	15 -- 16		155741	495442	5,44E+09	2,40E-02	401
16	16 -- 17			495442	6,66E+09	2,20E-02	344
17	17 -- 18			495442	7,39E+09	2,08E-02	313
18	18 -- 19			495442	8,12E+09	1,97E-02	283
19	19 -- 20		23236	520785	9,16E+09	1,80E-02	243
20	20 -- 21			520785	9,60E+09	1,74E-02	228
21	21 -- 22			520785	1,04E+10	1,62E-02	203
22	22 -- 23			520785	1,11E+10	1,51E-02	180
23	23 -- 24			520785	1,27E+10	1,30E-02	138
24	24 -- 25			520785	1,42E+10	1,10E-02	103
25	25 -- 26			520785	1,49E+10	1,01E-02	89
26	26 -- 27			520785	1,56E+10	9,22E-03	76
27	27 -- 28			520785	1,63E+10	8,36E-03	63
28	28 -- 29			520785	1,71E+10	7,52E-03	52
29	29 -- 30			520785	1,86E+10	5,88E-03	33
30	30 -- 31			520785	2,00E+10	4,31E-03	18
31	31 -- 32			520785	2,15E+10	2,81E-03	8
32	32 -- 33			520785	2,30E+10	1,37E-03	2
33				520785	2,45E+10	0,00E+00	0

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last;hor,y} N
19	19 -- 20		46801

Tracé VHZ - BWK

F - Excentriciteit moment t.g.v. eigengewicht draden

knoop nummer	staaf i--j	Q _{last;hor} N	F _{last} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	hor. verpl. mm
1	1 -- 2				0,00E+00	1,44E-04	2
2	2 -- 3				3,65E+06	1,44E-04	2
3	3 -- 4				3,65E+06	1,07E-04	2
4	4 -- 5				3,65E+06	7,74E-05	1
5	5 -- 6				3,65E+06	5,86E-05	1
6	6 -- 7				3,65E+06	5,35E-05	1
7	7 -- 8				3,65E+06	4,69E-05	1
8	8 -- 9				3,65E+06	3,86E-05	1
9	9 -- 10				3,65E+06	3,24E-05	1
10	10 -- 11				3,65E+06	2,90E-05	1
11	11 -- 12				3,65E+06	2,82E-05	1
12	12 -- 13				3,65E+06	2,49E-05	0
13	13 -- 14				3,65E+06	2,25E-05	0
14	14 -- 15				3,65E+06	2,07E-05	0
15	15 -- 16				3,65E+06	2,04E-05	0
16	16 -- 17				3,65E+06	1,91E-05	0
17	17 -- 18				3,65E+06	1,86E-05	0
18	18 -- 19				3,65E+06	1,80E-05	0
19	19 -- 20				1,43E+07	1,73E-05	0
20	20 -- 21				1,43E+07	1,63E-05	0
21	21 -- 22				1,43E+07	1,47E-05	0
22	22 -- 23				1,43E+07	1,32E-05	0
23	23 -- 24				1,43E+07	1,07E-05	0
24	24 -- 25				1,43E+07	8,49E-06	0
25	25 -- 26				1,43E+07	7,61E-06	0
26	26 -- 27				1,43E+07	6,77E-06	0
27	27 -- 28				1,43E+07	6,00E-06	0
28	28 -- 29				1,43E+07	5,27E-06	0
29	29 -- 30				1,43E+07	3,96E-06	0
30	30 -- 31				1,43E+07	2,79E-06	0
31	31 -- 32				1,43E+07	1,75E-06	0
32	32 -- 33				1,43E+07	8,29E-07	0
33					1,43E+07	0,00E+00	0

4.5 - Maximale krachten in ULS-toestand

Eigengewicht conductors, insulators	$G_k =$	1,20	1,20
Eigengewicht mast	$G_k =$	1,20	1,20
Windbelasting mastlichaam	$Q_{wk} =$	1,60	0,45
Belasting geval 1a	$Q_{wk} =$	1,50	0,00
Belasting geval 1b	$Q_{wk} =$	0,00	0,00
Belasting geval 3	$Q_{ik} =$	0,00	1,50
Belasting geval 4	$Q_{pk} =$	0,00	0,00

knoop nummer	staaf i-j	normaal kr. kN	dwars kr. kN	moment kNm
1	1 -- 2	0,48	0,00	0,00
2	2 -- 3	7,24	65,08	16,10
3	3 -- 4	14,52	65,91	171,98
4	4 -- 5	24,95	67,04	368,08
5	5 -- 6	36,91	68,30	567,71
6	6 -- 7	81,74	314,96	646,55
7	7 -- 8	91,05	315,80	1214,24
8	8 -- 9	107,69	317,28	2148,03
9	9 -- 10	126,04	318,85	3086,33
10	10 -- 11	183,02	561,76	3821,19
11	11 -- 12	188,03	562,28	4186,45
12	12 -- 13	220,36	568,56	5847,35
13	13 -- 14	249,50	575,15	7513,58
14	14 -- 15	280,78	582,03	9185,41
15	15 -- 16	327,18	805,44	9469,33
16	16 -- 17	355,10	811,37	11441,26
17	17 -- 18	374,65	815,02	12630,43
18	18 -- 19	394,80	818,72	13821,13
19	19 -- 20	429,69	876,79	15563,75
20	20 -- 21	442,07	877,41	16303,19
21	21 -- 22	464,03	878,48	17588,81
22	22 -- 23	486,58	879,57	18877,30
23	23 -- 24	536,76	881,76	21462,03
24	24 -- 25	629,42	883,96	24056,08
25	25 -- 26	654,42	886,90	25246,06
26	26 -- 27	679,96	890,46	26437,76
27	27 -- 28	709,29	894,20	27697,47
28	28 -- 29	739,27	897,90	28958,98
29	29 -- 30	801,14	905,12	31487,14
30	30 -- 31	865,58	911,99	34021,80
31	31 -- 32	932,58	918,28	36565,28
32	32 -- 33	1002,15	923,54	39188,97
33		1128,00	928,83	41827,80

)** - Maatgevende belastingcombinatie voor staven 1 t/m 29

)* - Maatgevende belastingcombinatie voor staven 29 t/m 32

4.6 - Toetsing van de doorsnede

Elasticiteitsmodulus E-	N/mm ²	210000	
Vloeigrens f _y	N/mm ²	355	Voor wanddikte t < 40
Vloeigrens f _y	N/mm ²	335	Voor wanddikte t >= 40

A- Controle buigspanning

Toetsingregel :

$$N_{Ed} / N_{Rd} + M_{y,Ed} / M_{y,Rd} \leq 1$$

waarin: $M_{y,Ed} = M_{1,y,Ed} + \sum N_{Ed,i} \cdot \delta_{rel,i}$

$M_{1,y,Ed}$ = buigende moment uit komputer

$N_{Ed,i}$ = normaal kracht uit komputer uitvoer ter plaatse knoop i

$\delta_{rel,i}$ = maximale horizontale verplaatsing t.p.v. knoop i = $\delta_{i,max} - \delta_{j,max}$

$$M_{y,el,Rd} = W_{y,el} \cdot f_y ; N_{Rd} = A \cdot f_y$$

staaf nummer	profiel D _{voet} - D _{top} mm	moment M _{1,y,Ed} kNm	drukkracht N _{c,Rd} kN	rel.verpl. δ _{rel} mm	M _{y,Ed} in kNm	M _{y,el,Rd} in kNm	toetsings- regel
1	500 / 795	16,10	7,24	34	16,3	1217,6	0,01
2	500 / 795	171,98	14,52	140	174,2	1640,9	0,11
3	500 / 795	368,08	24,95	170	374,6	2253,2	0,17
4	500 / 795	567,71	36,91	165	580,3	2962,6	0,20
5	795 / 1090	646,55	81,74	63	664,3	3602,0	0,19
6	795 / 1090	1214,24	91,05	97	1240,7	4159,5	0,30
7	795 / 1090	2148,03	107,69	152	2190,9	5160,0	0,43
8	795 / 1090	3086,33	126,04	143	3147,2	6268,3	0,51
9	1090 / 1287	3821,19	183,02	104	3901,1	7887,1	0,50
10	1090 / 1287	4186,45	188,03	28	4271,7	8191,2	0,53
11	1090 / 1287	5847,35	220,36	123	5959,6	9643,9	0,63
12	1287/ 1582	7513,58	249,50	112	7653,8	12661,5	0,61
13	1287/ 1582	9185,41	280,78	102	9354,3	14575,7	0,65
14	1287/ 1582	9469,33	327,18	16	9643,6	14913,5	0,65
15	1287/ 1582	11441,26	355,10	76	11642,5	16624,6	0,71
16	1582/ 1876	12630,43	374,65	42	12847,5	19713,9	0,66
17	1582/ 1876	13821,13	394,80	40	14054,1	20952,1	0,68
18	1582/ 1876	15563,75	429,69	53	15819,6	22780,2	0,70
19	1582/ 1876	16303,19	442,07	20	16567,9	23541,9	0,71
20	1582/ 1876	17588,81	464,03	33	17869,0	24893,3	0,73
21	1582/ 1876	18877,30	486,58	31	19172,6	26282,5	0,74
22	1876/ 2163	21462,03	536,76	56	21787,3	31162,7	0,71
23	1876/ 2163	24056,08	629,42	48	24411,3	34417,6	0,72
24	1876/ 2163	25246,06	654,42	19	25613,8	35961,1	0,72
25	1876/ 2163	26437,76	679,96	18	26817,4	37538,4	0,72
26	2163/ 2733	27697,47	709,29	17	28089,1	41742,2	0,68
27	2163/ 2733	28958,98	739,27	15	29361,8	43595,1	0,68
28	2163/ 2733	31487,14	801,14	26	31910,6	47421,5	0,68
29	2163/ 2733	34021,80	865,58	20	34462,1	51409,0	0,68
30	2163/ 2733	36565,28	932,58	14	37018,3	55557,5	0,68
31	2163/ 2733	39188,97	1002,15	8	39650,1	59866,9	0,67
32	2163/ 2733	41827,80	1128,00	3	42291,9	64337,4	0,67

B- Controle plooistabiliteit

Toetsing regel :volgens NEN -EN 50341-3 (NEN 1060).

$$(\sigma_{N;Ed} / \sigma_{N;plooi}) + (\sigma_{MEd} / \sigma_{M;plooi}) \leq 1$$

Plooispanning t.g.v normaalkracht

Indien $d/t < 90 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = f_y$; $a_y = (f_{ref} / f_y)^{0,5}$; $f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$

Indien $90 \cdot a_y^2 < d/t < 315 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = 0,3 \cdot f_{y;d} + 14805 / (d/t)$

Plooispanning t.g.v moment

Indien $d/t < 157,5 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = f_{y;d}$

Indien $157,5 \cdot a_y^2 < d/t < 315 \cdot a_y^2$ ----> $\sigma_{N;plooi;d} = 0,6 \cdot f_{y;d} + 14805 / (d/t)$

d mm	t mm	d/t	a_y	$\sigma_{N;plooi;d}$ N/mm ²	$\sigma_{M;plooi;d}$ N/mm ²
519	18,0	28,83	0,81	355	355
598	18,0	33,24	0,81	355	355
697	18,0	38,70	0,81	355	355
795	18,0	44,16	0,81	355	355
833	20,0	41,66	0,81	355	355
893	20,0	44,66	0,81	355	355
992	20,0	49,58	0,81	355	355
1090	20,0	54,50	0,81	355	355
1167	22,0	53,03	0,81	355	355
1188	22,0	54,01	0,81	355	355
1287	22,0	58,48	0,81	355	355
1385	25,0	55,39	0,81	355	355
1483	25,0	59,33	0,81	355	355
1500	25,0	59,99	0,81	353	355
1582	25,0	63,26	0,81	341	355
1631	28,0	58,24	0,81	355	355
1680	28,0	59,99	0,81	353	355
1750	28,0	62,49	0,81	343	355
1778	28,0	63,51	0,81	340	355
1827	28,0	65,26	0,81	333	355
1876	28,0	67,02	0,81	327	355
1975	30,0	65,83	0,81	331	355
2073	30,0	69,10	0,81	321	355
2118	30,0	70,60	0,81	316	355
2163	30,0	72,10	0,81	312	355
2211	32,0	69,08	0,81	321	355
2258	32,0	70,56	0,81	316	355
2353	32,0	73,53	0,81	308	355
2448	32,0	76,50	0,81	300	355
2543	32,0	79,47	0,81	293	355
2638	32,0	82,44	0,81	286	355
2733	32,0	85,41	0,81	280	355

Tracé VHZ - BWK

staaf nummer	profiel D _{voet} - D _{top}	σ_{MEd} N/mm ²	σ_{NEd} N/mm ²	$\sigma_{M;plooi;d}$ N/mm ²	$\sigma_{N;plooi;d}$ N/mm ²	toetsings- regel
1	500 / 795	4,95	0,26	355	355	0,01
2	500 / 795	43,52	0,48	355	355	0,12
3	500 / 795	68,73	0,70	355	355	0,20
4	500 / 795	79,36	0,90	355	355	0,23
5	795 / 1090	68,70	1,64	355	355	0,20
6	795 / 1090	113,65	1,72	355	355	0,32
7	795 / 1090	167,40	1,86	355	355	0,48
8	795 / 1090	195,98	1,97	355	355	0,56
9	1090 / 1287	188,09	2,39	355	355	0,54
10	1090 / 1287	188,65	2,35	355	355	0,54
11	1090 / 1287	237,64	2,62	355	355	0,68
12	1287/ 1582	231,14	2,42	355	355	0,66
13	1287/ 1582	244,14	2,54	355	355	0,69
14	1287/ 1582	232,19	2,84	355	353	0,66
15	1287/ 1582	262,29	2,98	355	341	0,75
16	1582/ 1876	238,68	2,70	355	355	0,68
17	1582/ 1876	245,43	2,76	355	353	0,70
18	1582/ 1876	256,94	2,90	355	343	0,73
19	1582/ 1876	253,96	2,89	355	340	0,72
20	1582/ 1876	261,99	2,97	355	333	0,75
21	1582/ 1876	266,04	3,03	355	327	0,76
22	1876/ 2163	261,34	3,00	355	331	0,75
23	1876/ 2163	264,45	3,35	355	321	0,76
24	1876/ 2163	258,43	3,36	355	316	0,74
25	1876/ 2163	259,08	3,42	355	312	0,74
26	2163/ 2733	244,22	3,27	355	321	0,70
27	2163/ 2733	244,32	3,34	355	316	0,70
28	2163/ 2733	249,04	3,51	355	308	0,71
29	2163/ 2733	247,68	3,64	355	300	0,71
30	2163/ 2733	245,81	3,77	355	293	0,71
31	2163/ 2733	243,98	3,90	355	286	0,70
32	2163/ 2733	241,84	4,23	355	280	0,70

5.0 - Berekening ankers, bouten en flensverbindingen

uitgangspunt: gerolde draad

bouten	A_s in mm ²	f_{ub} in N/mm ²	$F_{t,Rd}$ in kN	$F_{v,Rd}$ in kN
M 48 - 8,8	1473	800	848,45	565,63
M 48 - 10,9	1473	1000	1060,56	589,20
M 45 - 8,8	1306	800	752,26	501,50
M 45 - 10,9	1306	1000	940,32	522,40
M 42 - 8,8	1121	800	645,64	430,43
M 42 - 10,9	1121	1000	807,05	448,36
M 39 - 8,8	976	800	562,04	374,70
M 39 - 10,9	976	1000	702,55	390,31
M 39 - 12,9	976	1200	843,07	468,37
M 36 - 8,8	817	800	470,59	313,73
M 36 - 10,9	817	1000	588,24	326,80
M 33 - 8,8	694	800	399,49	266,33
M 33 - 10,9	694	1000	499,36	277,42
M 30 - 8,8	561	800	322,90	215,27
M 30 - 10,9	561	1000	403,62	224,24

Max. trekkracht in de ankers en boutverbindingen :

$$F_{Ed} = M_{y,Ed} * a / I_p - N_{Ed} / n$$

Waarin :

$M_{y,Ed}$ = max. moment t.p.v aansluiting t.g.v rekenbelasting

N_{Ed} = max. normaal kracht t.p.v aansluiting t.g.v rekenbelasting

a = max. afstand bout tot zwaartepunt boutenpatroon = diameter stc. / 2

n = aantal bouten en $I_p = \sum (I_x^2 + I_y^2) = (n / 2) * (d_{stc.} / 2)^2$

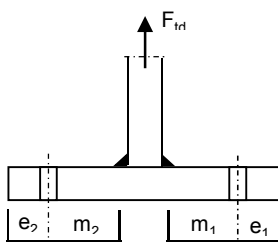
Flensverbinding met één boutrij : $I_p = (n / 2) * (d_{stc.} / 2)^2$

Flensverbinding met twee boutrij : $I_p = (n / 4) * [(d_{stc1} / 2)^2 + (d_{stc2} / 2)^2]$

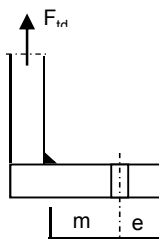
Flensverbinding met twee boutrij symmetrisch (voetplaat) :

$$I_p = (n / 2) * (d_{stc.gemiddeld.} / 2)^2$$

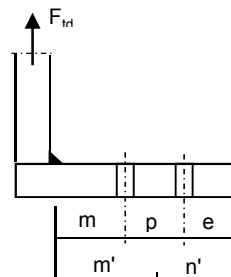
Flenzen en voetplaat:



1 -Voetplaat



2 -Flens met 1 rij bouten



3 -Flens met 2 rij bouten

Tracé VHZ - BWK

1 - Voetplaat :
 $m = \max. (m_1; m_2)$
 $e = \max. (e_1; e_2)$
 $n = \min. (1,25 * m; e)$

Bezwijkvorm 1 : $F_{t,Rd} = 4 * M_{pl} / m$
 Bezwijkvorm 2 : $F_{t,Rd} = (2 * M_{pl} + n * 2 * F_{t,u;d}) / (m + n)$
 Bezwijkvorm 3 : $F_{t,Rd} = 2 * F_{t,u;d}$

2 - Flens met 1 rij bouten :
 m, n en e zoals bij voetplaat

Bezwijkvorm 1 : $F_{t,Rd} = 2 * M_{pl} / m$
 Bezwijkvorm 2 : $F_{t,Rd} = (M_{pl} + n * F_{t,u;d}) / (m + n)$
 Bezwijkvorm 3 : $F_{t,Rd} = F_{t,u;d}$

3 - Flens met 2 rij bouten :
 $m' = m + p / 2$
 $n' = n + p / 3$
 $n = \min. (1,25 * m; e)$

Bezwijkvorm 1 : $F_{t,Ed} = M_{pl} * (1 + n' / n) / m'$
 Bezwijkvorm 2 : $F_{t,Ed} = (M_{pl} + n' * F_{t,u;d}) / (m' + n')$
 Bezwijkvorm 3 : $F_{t,Ed} = 2 * F_{t,u;d}$

$M_{pl} = (1/4) * L_{eff} * t_{fl}^2 * f_y$
 $L_{eff} = \min(p ; 4 * m + 1,25 * e ; 2 * \pi * m)$

Bouten en ankers

st.c in mm	aantal bouten	$F_{t,Ed}$ kN	$F_{v,Ed}$ kN	knoop nummer	aanwezig bout	$F_{t,Rd}$ kN	toetsing- regel
Ankers							
st.c buitenkant		3083					
st.c binnenkant		2319					
2701	104	584,77	8,93	33	M 48 - 8,8	848,4	0,69
flenzen op 19,80 m hoogte.							
st.c buitenkant		1860,00					
st.c binnenkant		1660,00					
	80	712,05	11,05	24	M 48 - 10,9	1060,6	0,67
flenzen op 43,40 m hoogte.							
st.c buitenkant		1090,00					
1090,00	28	758,49	20,31	12	M 48 - 10,9	1060,6	0,72

Tracé VHZ - BWK

Dikte voetplaat en flenzen - conform NEN - EN 1993-1-8,

Stc1	Stc2 mm	m mm	e mm	n mm	m' mm	n' mm	l _{ef} mm
voetplaat							
3083,00	2319,00	168,2	145,0	145,0			140,1
3083,00	2319,00	168,2	145,0	145,0			186,3
flenzen op 19,80 m hoogte.							
1860,00	1660,0	69,8	60,0	60,0	119,8	110	130,4
1860,00	1660,0	69,8	60,0	60,0	119,8	110	130,4
flenzen op 43,40 m hoogte.							
1090,00	1090,0	66,5	60,0	60,0			122,3
1090,00	1090,0	69,5	60,0	60,0			122,3

flens dikte mm	M _{pl;d} Nmm	bezwijk- vorm 1	bezwijk- vorm 2	bezwijk- vorm 3	maatgev. F _{t,Rd}	F _{t,Ed} kN	toetsing- regel
voetplaat							
100	1,17E+08	2790,20	1534,82	1696,90	1534,82	1169,54	0,76
100	1,56E+08	3709,44	1781,66	1696,90	1696,90	1169,54	0,69
flenzen op 19,80 m hoogte.							
140	1,76E+08	4156,32	1780,13	2121,12	1780,13	1424,10	0,80
140	1,76E+08	4156,32	1780,13	2121,12	1780,13	1424,10	0,80
flenzen op 43,40 m hoogte.							
80	6,56E+07	1971,88	1021,34	1060,56	1021,34	758,49	0,74
80	6,56E+07	1886,75	997,67	1060,56	997,67	758,49	0,76
Krachten in kN							

Lassen

A - Flenzen

Alle lassen: voorberekt 1/2 V- las met een tegenlas (K35 , lasdetail 301 van NEN 2063).

B - Buizen

Alle lassen: voorberekt X- las

Bij gelijke wanddikte (K50 , lasdetail 102 van NEN 2063).

Bij dikte overgang asymmetrisch (K45 , lasdetail 112 van NEN 2063).

Bouten

Alle bouten: Voorspanning 70% van de trekkracht met betrekking tot de capaciteit van de bout in de uiterste grenstoestand

6.0 - Controle berekening vortex shedding

Belasting loodrecht op windrichting (respons door wervelvorming) - Eurocode 1

De respons is bepaald volgens Eurocode 1, Deel 1 - 4 ,bijlage E

De kritische windsnelheid $v_{crit,1} = b * n_{i,y} / St$

b is de referentiebreedte van de doorsnede waarbij resonantie met de wervelvorming optreedt voor cirkelvormige cilinders is de referentiebreedte de uitwendige diameter.

St is de Strouhal getal conform E.1.3.2 ; voor cirkelcilinders $St = 0,18$

buis	$n_{1,y}$ Hz	$d_{buis;gem}$ m	St	$v_{krit,1}$ m/s
500 / 2733	0,72	1,617	0,18	6,43

Scrutongetal Sc

De Scrutongetal Sc word bepaald met:

$$Sc = 2 * \delta_s * m_{i,e} / \rho * b^2$$

ρ is de dichtheid van lucht: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

b is de referentiebreedte van de doorsnede waarbij resonantie met de wervelvorming optreedt

$$b = d_{w;gem}$$

δ_s is het logaritmische decrement van de constructieve demping

$$\delta_s = 0,030$$

Opmerking:

In Eurocode 1, Tabel F.2 is geen waarde gegeven voor de constructieve demping voor een hoogspanningsmast met een enkel buisprofiel. In de tabel wordt alleen de benaderde waarde van de constructieve demping van een stalen schoorsteen (met of zonder isolatie) aangegeven. In de NEN 1060 (Bovengrondse hoogspanningslijnen – voorloper van NEN-EN 50341) art. 9.2.6.5 wordt het logaritmisch decrement beschreven als $\delta = 2 \cdot \pi \cdot D$. D is de dempingsmaat bij responsie loodrecht op de windrichting en is gelijk aan 0.005. Dit resulteert $\delta = 2 \cdot \pi \cdot 0.005 = 0.0314$. Deze formule is ook aangegeven in de DIN 4133 (Schornsteine aus Stahl) en als benaderde waarde van de constructieve demping van een stalen schoorsteen met 2 of 3 koppelingen is 0.025 en 0.03 aangegeven. Daarom wordt in deze berekening voor de constructieve demping 0.03 aangehouden.

Tracé VHZ - BWK

$m_{i,e}$ is de equivalente massa m_e per lengte eenheid, in kg/m, gewogen naar de trillingsvorm :

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) * \phi_i^2(s) ds}{\int_0^l \phi_i^2(s) ds}$$

Zie berekening eigenfrequentie

knoop nummer	verpl. δ mm	$\phi_{i,1}$	staaf nummer	ϕ_i	gewicht mast kg	gewicht flenzen+ ge- leiders-kg	massa m kg/m
1	980	1,000		1,000			
2	965	0,985	1 -- 2	0,992	133	479	1072,8
3	904	0,922	2 -- 3	0,954	607		255,0
4	828	0,845	3 -- 4	0,884	869		294,4
5	754	0,769	4 -- 5	0,807	997		338,1
6	726	0,740	5 -- 6	0,755	468	3339	3310,4
7	682	0,696	6 -- 7	0,718	776		430,9
8	612	0,624	7 -- 8	0,660	1386		470,0
9	545	0,556	8 -- 9	0,590	1529		518,5
10	495	0,505	9 -- 10	0,531	1415	3405	2095,7
11	482	0,492	10 -- 11	0,499	417		641,9
12	422	0,431	11 -- 12	0,461	1990	705	913,3
13	367	0,374	12 -- 13	0,402	2428		823,1
14	315	0,321	13 -- 14	0,348	2607		883,7
15	306	0,313	14 -- 15	0,317	460	3479	7877,7
16	267	0,272	15 -- 16	0,292	2326		949,5
17	245	0,249	16 -- 17	0,261	1629		1104,7
18	223	0,228	17 -- 18	0,239	1680		1138,6
19	194	0,198	18 -- 19	0,213	2478	439	1388,9
20	183	0,187	19 -- 20	0,193	1032		1213,7
21	165	0,168	20 -- 21	0,178	1830		1240,5
22	147	0,150	21 -- 22	0,159	1880		1274,4
23	116	0,118	22 -- 23	0,134	4182		1417,5
24	88	0,089	23 -- 24	0,104	4396	3325	2617,4
25	76	0,078	24 -- 25	0,083	2083		1543,2
26	65	0,067	25 -- 26	0,072	2128		1576,5
27	55	0,056	26 -- 27	0,061	2445		1715,5
28	46	0,047	27 -- 28	0,051	2498		1753,0
29	29	0,030	28 -- 29	0,038	5156		1809,2
30	17	0,017	29 -- 30	0,023	5370		1884,2
31	7	0,008	30 -- 31	0,012	5584		1959,1
32	2	0,002	31 -- 32	0,005	5797		2034,1
33	0	0,000	32 -- 33	0,001	6011	4476	3679,7

Tracé VHZ - BWK

staaf nummer	massa m kg/m	ϕ_i	s m	$\phi_i^2 * (s)$	$\phi_i^2 * (s) * m$	$\phi_i * (s)$
1 -- 2	1073	0,992	0,570	0,56	602,34	0,57
2 -- 3	255	0,954	2,380	2,16	551,88	2,27
3 -- 4	294	0,884	2,950	2,30	678,26	2,61
4 -- 5	338	0,807	2,950	1,92	649,93	2,38
5 -- 6	3310	0,755	1,150	0,66	2169,37	0,87
6 -- 7	431	0,718	1,800	0,93	399,81	1,29
7 -- 8	470	0,660	2,950	1,28	603,60	1,95
8 -- 9	518	0,590	2,950	1,03	532,56	1,74
9 -- 10	2096	0,531	2,300	0,65	1357,79	1,22
10 -- 11	642	0,499	0,650	0,16	103,68	0,32
11 -- 12	913	0,461	2,950	0,63	573,06	1,36
12 -- 13	823	0,402	2,950	0,48	393,20	1,19
13 -- 14	884	0,348	2,950	0,36	314,89	1,03
14 -- 15	7878	0,317	0,500	0,05	395,35	0,16
15 -- 16	949	0,292	2,450	0,21	198,93	0,72
16 -- 17	1105	0,261	1,475	0,10	110,92	0,38
17 -- 18	1139	0,239	1,475	0,08	95,60	0,35
18 -- 19	1389	0,213	2,100	0,10	132,29	0,45
19 -- 20	1214	0,193	0,850	0,03	38,29	0,16
20 -- 21	1240	0,178	1,475	0,05	57,71	0,26
21 -- 22	1274	0,159	1,475	0,04	47,72	0,24
22 -- 23	1417	0,134	2,950	0,05	75,28	0,40
23 -- 24	2617	0,104	2,950	0,03	82,92	0,31
24 -- 25	1543	0,083	1,350	0,01	14,52	0,11
25 -- 26	1577	0,072	1,350	0,01	11,10	0,10
26 -- 27	1716	0,061	1,425	0,01	9,24	0,09
27 -- 28	1753	0,051	1,425	0,00	6,59	0,07
28 -- 29	1809	0,038	2,850	0,00	7,52	0,11
29 -- 30	1884	0,023	2,850	0,00	2,93	0,07
30 -- 31	1959	0,012	2,850	0,00	0,83	0,03
31 -- 32	2034	0,005	2,850	0,00	0,13	0,01
32 -- 33	3680	0,001	2,850	0,00	0,01	0,00
		Σ	67,00	13,89	10218,26	22,81

$$m_e = 10218,3 / 13,9 = 735,7 \text{ kg/m}$$

$$Sc = 2 * \delta_s * m_{i,e} / \rho * b^2$$

buis	$m_{1,e}$ kg/m	δ_s	ρ kg/m ³	b = d _w in m	Sc
500 / 2733	735,7	0,030	1,25	1,617	13,5

Berekening van verplaatsingen

de grootste $y_{f,max}$ verplaatsing kan berekend worden met:

$$y_{F,max} / b = (1/St^2) * (1/Sc) * K * K_w * C_{lat}$$

St is de Strouhal getal = 0,18

Sc is de Scrutongetal = 13,5

K is trillingsvormfactor en is gelijk aan

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m \int_{l_i} |\phi_i(s)| ds}{4 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n \int_{l_i} \phi_i^2(s) ds}$$

Voor i = 1 (eerste trillingsvorm) is m = n = 1

$$K = 22,81 / (4 \cdot \pi \cdot 13,89) = 0,131 \quad (\text{tabel E.5})$$

C_{lat} is de laterale krachtcoëfficiënt gegeven in E.1.5/2.5

$$\begin{aligned} C_{lat} : \quad & R_e(V_{crit}) < 3 \cdot 10^5 ; C_{lat} = 0,7 \\ & 5 \cdot 10^5 < R_e(V_{crit}) < 5 \cdot 10^6 ; C_{lat} = 0,2 \\ & R_e(V_{crit}) > 7 \cdot 10^7 ; C_{lat} = 0,3 \end{aligned}$$

$$R_e(V_{crit}) = b \cdot v_{crit} / \nu ;$$

ν is de kinematische viscositeit van de lucht ν = 15·10⁻⁶ m²/s

$$R_e(V_{crit}) = 1,617 \cdot 6,43 / 15 \cdot 10^{-6} = 6,9E+05$$

$$C_{lat} = 0,20$$

K_w is de effectieve correlatiefactor gegeven in E.1.5.2.4

$$K_w = \frac{\sum_{i=1}^m \int_{L_j} |\phi_i(s)| ds}{\sum_{i=1}^n \int_{l_i} |\phi_i(s)| ds} \leq 0,6$$

Voor i = 1 (eerste trillingsvorm) is m = n = 1

$$\begin{aligned} L_j / b &= 6 \\ L_j &= 9,70 \quad m - (\text{effectieve correlatielengte}) \end{aligned}$$

$$K_w = 8,46 / 22,81 = 0,37$$

$$y_{F,max} / b = 30,86 \cdot 0,074 \cdot 0,131 \cdot 0,37 \cdot 0,2 = 0,022$$

$$y_{F,max} = 1,617 \cdot 0,022 = 0,036 \quad m$$

$$\Delta \sigma_{dyn} = 2 \cdot C_{rd} \cdot y_{F,max}$$

Tracé VHZ - BWK

De factor C_{rd} volgt uit de spanning door een opgelegde verplaatsing volgens de eerste eigentrilling.

Opgelegde verplaatsing van 1000 mm

knoop nummer	staaf i--j	q_{last} N	F_{last} N	dwarskr. N	moment Nmm	hoekver. rad.	verpl. mm
1	1 -- 2		137168	137168	0,00E+00	4,7E-02	1000
2	2 -- 3			137168	7,82E+07	4,7E-02	973
3	3 -- 4			137168	4,05E+08	4,5E-02	863
4	4 -- 5			137168	8,09E+08	4,0E-02	738
5	5 -- 6			137168	1,21E+09	3,5E-02	628
6	6 -- 7			137168	1,37E+09	3,3E-02	589
7	7 -- 8			137168	1,62E+09	3,0E-02	532
8	8 -- 9			137168	2,02E+09	2,6E-02	449
9	9 -- 10			137168	2,43E+09	2,2E-02	378
10	10 -- 11			137168	2,74E+09	2,0E-02	330
11	11 -- 12			137168	2,83E+09	1,9E-02	317
12	12 -- 13			137168	3,24E+09	1,6E-02	265
13	13 -- 14			137168	3,64E+09	1,4E-02	220
14	14 -- 15			137168	4,05E+09	1,2E-02	181
15	15 -- 16			137168	4,12E+09	1,2E-02	175
16	16 -- 17			137168	4,45E+09	1,0E-02	147
17	17 -- 18			137168	4,65E+09	9,7E-03	133
18	18 -- 19			137168	4,86E+09	9,0E-03	119
19	19 -- 20			137168	5,14E+09	8,1E-03	101
20	20 -- 21			137168	5,26E+09	7,7E-03	94
21	21 -- 22			137168	5,46E+09	7,1E-03	83
22	22 -- 23			137168	5,67E+09	6,5E-03	73
23	23 -- 24			137168	6,07E+09	5,5E-03	56
24	24 -- 25			137168	6,47E+09	4,5E-03	41
25	25 -- 26			137168	6,66E+09	4,1E-03	35
26	26 -- 27			137168	6,84E+09	3,7E-03	30
27	27 -- 28			137168	7,04E+09	3,3E-03	25
28	28 -- 29			137168	7,24E+09	3,0E-03	20
29	29 -- 30			137168	7,63E+09	2,3E-03	13
30	30 -- 31			137168	8,02E+09	1,7E-03	7
31	31 -- 32			137168	8,41E+09	1,1E-03	3
32	32 -- 33			137168	8,80E+09	5,2E-04	1
33				137168	9,19E+09	0,0E+00	0

Tracé VHZ - BWK

Wissel spanning

$$\Delta\sigma_{\text{dyn}} = 2 * C_{\text{rd}} * y_{\text{F,max}}$$

staaf nummer	profiel		W _{y,el} mm ³	σ _{buiging} (C _{rd}) N/mm ²	y _{F,max} m	Δσ _{dyn} MPa
	D (mm)	t (mm)				
1	519	18,0	3429758	23	0,0358	1,6
2	598	18,0	4622182	88	0,0358	6,3
3	697	18,0	6347085	128	0,0358	9,1
4	795	18,0	8345293	145	0,0358	10,4
5	833	20,0	10146485	135	0,0358	9,7
6	893	20,0	11716965	138	0,0358	9,9
7	992	20,0	14535293	139	0,0358	10,0
8	1090	20,0	17657300	137	0,0358	9,8
9	1167	22,0	22217085	123	0,0358	8,8
10	1188	22,0	23073828	123	0,0358	8,8
11	1287	22,0	27165945	119	0,0358	8,5
12	1385	25,0	35666334	102	0,0358	7,3
13	1483	25,0	41058306	99	0,0358	7,1
14	1500	25,0	42009821	98	0,0358	7,0
15	1582	25,0	46829878	95	0,0358	6,8
16	1631	28,0	55532051	84	0,0358	6,0
17	1680	28,0	59020129	82	0,0358	5,9
18	1750	28,0	64169592	80	0,0358	5,7
19	1778	28,0	66315149	79	0,0358	5,7
20	1827	28,0	70122092	78	0,0358	5,6
21	1876	28,0	74035323	77	0,0358	5,5
22	1975	30,0	87782333	69	0,0358	5,0
23	2073	30,0	96951101	67	0,0358	4,8
24	2118	30,0	101298906	66	0,0358	4,7
25	2163	30,0	105742107	65	0,0358	4,6
26	2211	32,0	117583678	60	0,0358	4,3
27	2258	32,0	122803006	59	0,0358	4,2
28	2353	32,0	133581792	57	0,0358	4,1
29	2448	32,0	144814086	55	0,0358	4,0
30	2543	32,0	156499889	54	0,0358	3,8
31	2638	32,0	168639201	52	0,0358	3,7
32	2733	32,0	181232022	51	0,0358	3,6

Bepaling van het aantal spanningscycli

Het aantal spanningswisseling N veroorzaakt door trilling door wervelvorming wordt berekend met:

$$N = 2 * T * n_{1,y} * \epsilon_o * [V_{crit} / V_o]^2 * \exp[-(V_{crit} / V_o)^2] \geq 10^4$$

$$n_y = n_{1,y} = 0,72 \quad \text{Hz} \quad \text{eigenfrequentie van trillingsvorm loodrecht op wind}$$

T is levensduur in seconden = $3,2 * 10^7$ maal de vervachte levensduur in jaren

$$V_{crit,1} = 6,43 \quad \text{m/s} \quad \text{De kritische windsnelheid}$$

$$\epsilon_o \text{ is bandbreedtefactor} = 0,3$$

V_o is wortel(2) maal de modus van de Weibull waarschijnlijkheidsverdeling van de windsnelheid in m/s

$V_o = 20\%$ van de karakteristieke gemiddelde windsnelheid op hoogte waar wervelvorming plaatsvindt

$$z_s = 62,1505 \quad \text{m} \quad \text{- hoogte waar wervelvorming plaatsvindt} = L_{mast} - L_j / 2$$

Wedgebied II - onbebouwd

$$\text{Basiswindsnelheid } V_{b,0} = 27 \quad \text{m/s}$$

Terreincategorie : II - Onbebouwd gebied

$$\text{Richtingsfactor } C_{dir} = 1,0$$

$$\text{Seizoensfactor } C_{season} = 1,0$$

$$\text{Orografiefactor } C_o(z) = 1,0$$

$$z_0 = 0,200 \quad \text{m}$$

$$\text{Gemiddelde windsnelheid } V_m(z) = (V_{b,0} * C_{dir} * C_{season}) * c_r(z)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\{z / z_0\} \quad \text{voor } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{voor } z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \ln\{z_0 / z_{0,II}\}^{0,07} \quad z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \ln\{0,200 / 0,05\}^{0,07} = 0,21$$

$$c_r(z) = 0,21 * \ln\{28,5 / 0,200\} = 1,20$$

$$V_m(z) = 32,4 \quad \text{m/s}$$

$$V_o = 32,4 * 20 / 100 = 6,49 \quad \text{m/s}$$

$$N = 2 * 50 * 3,2 \cdot 10^7 * 0,3 * 0,72 * [6,43 / 6,50]^2 * \exp[-(6,43 / 6,50)^2] = 2,53E+08$$

Vermoeiingsschade t.g.v. dwarstrilling

De vermoeiingsschade vindt plaats door het belastingspectrum te toetsen aan de bij het detail behorende $\Delta\sigma$ -N lijn conform NEN 2063.

$$\Delta\sigma < 0,55 \Delta\sigma_k \rightarrow N = \infty$$

$$0,55 \Delta\sigma_k < \Delta\sigma < \Delta\sigma_k \rightarrow N \cdot \Delta\sigma^5 = N_k \cdot \Delta\sigma_k^5$$

$$\Delta\sigma > \Delta\sigma_k \rightarrow N \cdot \Delta\sigma^3 = N_k \cdot \Delta\sigma_k^3$$

$$N_k = 10^7$$

$\Delta\sigma_i$ is het i^e spanningsniveau

$\Delta\sigma_k$ is het spanningsinterval behorende bij 10^7 wisselingen op de $\Delta\sigma_i$ -N lijn.

$$\gamma * \Delta\sigma = 1,2 * \Delta\sigma$$

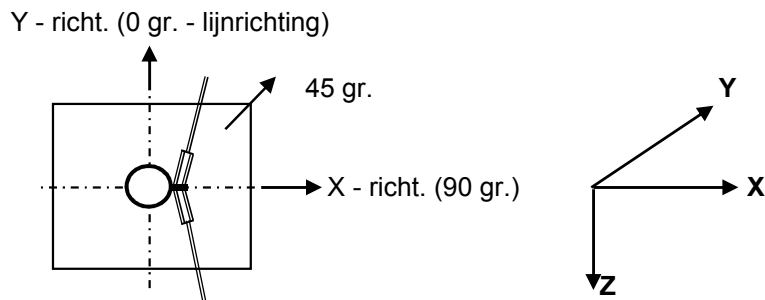
$\Delta\sigma_k = 45$ MPa Voorbewerkt X- las (K45 , lasdetail 112 van NEN 2063).

$\Delta\sigma_k = 35$ MPa Voorbewerkt 1/2V- las (K35 , lasdetail 301 van NEN 2063).

Plaats van trilling		$\gamma * \Delta\sigma =$	$\Delta\sigma_k$	$0,55 \Delta\sigma_k$	N - wissel.	N	D
Knoop		in MPa	in MPa	in MPa	$\Delta\sigma_i$ -N lijn	span.wissl.	beschadiging < 1
3	Lasnaad	7,52	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
4	Lasnaad	10,96	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
5	Lasnaad	12,50	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
6							
7	Lasnaad	11,87	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
8	Lasnaad	11,96	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
9	Lasnaad	11,82	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
10							
11	Lasnaad	10,55	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
12	flenzen	10,24	35	19,25	1,000E+10	2,53E+08	0,03
13	Lasnaad	8,78	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
14	Lasnaad	8,47	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
15							
16	Lasnaad	8,17	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
17							
18	Lasnaad	7,07	35	19,25	1,000E+10	2,53E+08	0,03
19							
20	Lasnaad	6,82	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
21							
22	Lasnaad	6,58	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
23	Lasnaad	5,94	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
24	flenzen	5,74	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
25							
26	Lasnaad	5,56	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
27							
28	Lasnaad	5,06	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
29	Lasnaad	4,91	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
30	Lasnaad	4,76	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
31	Lasnaad	4,62	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
32	Lasnaad	4,48	45	24,75	1,000E+10	2,53E+08	0,03
33	voetplaat	4,36	35	19,25	1,000E+10	2,53E+08	0,03

7.0 - Fundatie belastingen

Fundatie belastingen in ULS-toestand - (Ultimate limit state)



Belasting geval / comb	X - reactie kN	Y - reactie kN	Z - reactie kN	M _x - reactie kNm	M _y - reactie kNm	M _z - reactie kNm
Windrich. 90 graden						
1 - EG mast			1004			
2 - Windbelasting mast	144	6		189	4477	
3 - Belasting geval 1a	783	53	124	1574	37313	111
4 - Belasting geval 1b	512	42	138	1225	24156	86
5 - Belasting geval 3	849	113	251	3338	40260	235
6 - Belasting geval 4	519	47	160	1381	24481	97
Combinatie 1 : BG1 * 1,2 + BG2 * 1,6 + BG3 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	927	59	1128	1763	41791	
Combinatie 2 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG4 * (1,2 eg, 0,3 windbel.)	539	43	1142	1261	24995	
Combinatie 3 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,45 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	889	115	1255	3391	41519	
Combinatie 4 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	546	48	1164	1416	25321	

Samenvatting Fundatiebelastingen

	B.C. 1 - SLS $\gamma_{eg}=1.0$, $\gamma_q=1.0$	B.C. 2 - ULS $\gamma_{eg}=1.2$, $\gamma_q=1.6$	B.C. 3 - ULS $\gamma_{eg}=0.9$, $\gamma_q=1.6$
Voetmoment - XY	34474 kNm	41828 kNm	41828 kNm
Dwarskracht - XY	763 kN	929 kN	929 kN
Verticale kracht	618 kN	1128 kN	557 kN

Opmerking:

De voetmoment en de dwarskracht zijn de vectoriële som van de belastingen in X - en Y richting.

8.0 - Betonspanning onder voetplaat en instorting

st.c in mm	aantal ankers	$F_{t,Ed}$ kN	$F_{v,Ed}$ kN	knoop nummer	aanwezig anker	$F_{t,Rd}$ kN	Percentage belasting
Ankers krachten in ULS-toestand							
st.c buitenkant		3083,00					
st.c binnenkant		2319,00					
2701	104	584,77	8,93	33	M 48 - 8,8	848,45	0,69
Voorspanning ankers in SLS-toestand (100%)							
st.c buitenkant		3083,00					
st.c binnenkant		2319,00					
2701	104	484,96	7,33	33	M 48 - 8,8	848,45	0,57

Maximale trekkracht in de anker :

$$F_{t,Ed} = 584,8 \text{ kN}$$

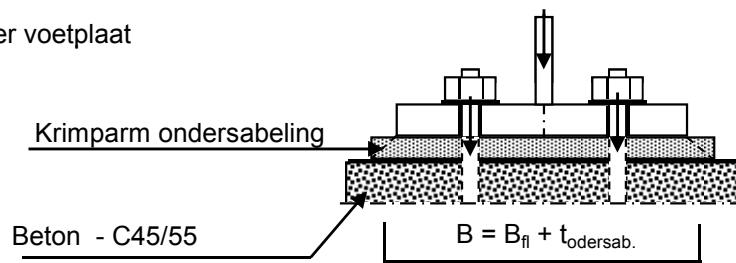
Maximale voorspanning in de anker :

$$F_{t,Ed} = 485,0 \text{ kN}$$

Maximale drukkracht :

$$F_{c,Ed} = 606,5 + 1,00 * 485,0 = 1091,4 \text{ kN}$$

A - drukspanning onder voetplaat



Toetsing :

$$\sigma_b < 0,7 * f_{cd} = 0,7 * 45 / 1,5 = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

$$B_{fl} = 672,0 \text{ mm} \quad D = 2701 \text{ mm}$$

$$t_{ondersab} = 40,0 \text{ mm} \quad n = 104$$

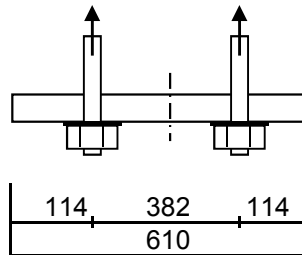
$$B = 712,0 \text{ mm}$$

$$A_{voetpl} = 712 * 2 * \pi * D / n = 116185 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{b,voet} = 2 * F_{c,Ed} / A = 18,8 \text{ N/mm}^2 < 21,0 \text{ -- Voldoet}$$

Tracé VHZ - BWK

B - drukspanning onder instorting



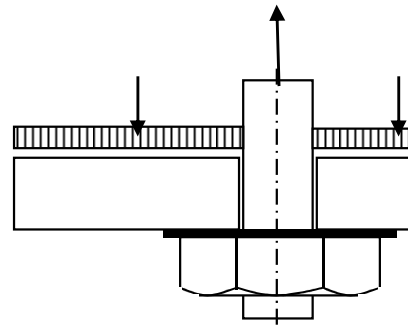
$$\begin{aligned} D &= 2701 \text{ mm} \\ n &= 104 \end{aligned}$$

$$A_{\text{storting}} = 610 * 2 * \pi * D / n = 99541 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{b;\text{stortr.}} = 2 * F_{c,Ed} / A = 11,7 \text{ N/mm}^2 < 21,0 \text{ -- Voldoet}$$

Dikte instorting

$$\begin{aligned} L_{\text{uitkr.}} &= 114 \text{ mm} \\ L_{\text{veld}} &= 382 \text{ mm} \\ t &= 45 \text{ mm} \\ f_{y;d} &= 355 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



$$M_{Ed;st} = 76347 \text{ Nmm/mm}' ; V_{z;Ed;st} = 2244 \text{ N/mm}'$$

of $M_{Ed;veld} = 137967 \text{ Nmm/mm}' ; V_{z;Ed;st} = 0 \text{ N/mm}'$

$$M_{Ed;max} = 137967 \text{ Nmm/mm}' ; V_{z;Ed;st} = 2244 \text{ N/mm}'$$

$$M_{Rd} = (1/4) * 1,0 * t^2 * f_y = 179719 \text{ Nmm/mm}'$$

$$V_{Rd} = 1,0 * t * f_y / 3^{0,5} = 9223 \text{ N/mm}'$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 137967 / 179718,8 = 0,77 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 272,5 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Ed} / V_{Rd} = 2244 / 9223 = 0,24 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 49,9 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

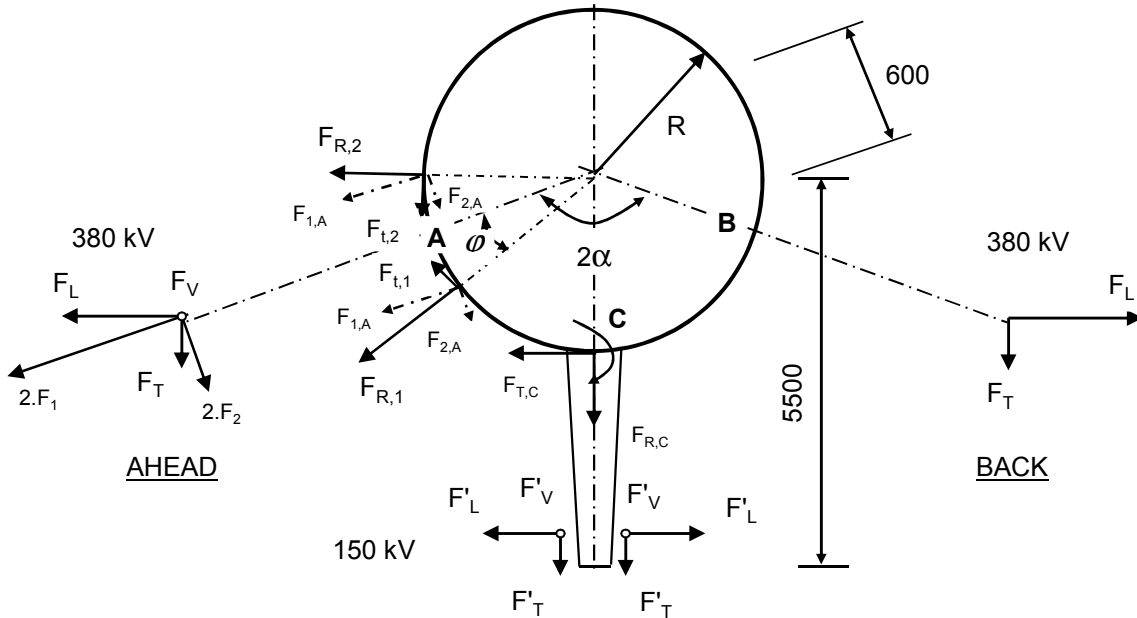
$$\sigma_{vlg} = (272,5^2 + 3 * 49,9^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 286 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ MPa -- Voldoet}$$

9.0 - Detailberekeningen

9.1 - Berekening afspanpunt trekisolatoren 380 kV

Schema



F_V en F'_V : Verticale kracht resp. 380kV en 150kV

F_T en F'_T : Transverse kracht resp. 380kV en 150kV

F_L en F'_L : Longitudinale kracht resp. 380kV en 150kV

2α is hoek tussen lijnen en α is bissectrice van hoek tussen de lijnen

380 kV: Per bevevestigingsring

$$F_{1,A} = (F_{L,Ah} \cdot \sin \alpha + F_{T,Ah} \cdot \cos \alpha) / 4 ; F_{1,B} = (F_{L,Ba} \cdot \sin \alpha + F_{T,Ba} \cdot \cos \alpha) / 4$$

$$F_{2,A} = (F_{L,Ah} \cdot \cos \alpha - F_{T,Ah} \cdot \sin \alpha) / 4 ; F_{2,B} = (F_{L,Ba} \cdot \cos \alpha - F_{T,Ba} \cdot \sin \alpha) / 4$$

$$F_{3,A} = F_{V,ah} / 4 ; F_{3,B} = F_{V,bh} / 4 ;$$

$$F_{R;1,A} = F_{1,A} \cdot \cos \varphi + F_{2,A} \cdot \sin \varphi ; F_{T;1,A} = F_{1,A} \cdot \sin \varphi - F_{2,A} \cdot \cos \varphi$$

$$F_{R;2,A} = F_{1,A} \cdot \cos \varphi - F_{2,A} \cdot \sin \varphi ; F_{T;2,A} = F_{1,A} \cdot \sin \varphi + F_{2,A} \cdot \cos \varphi$$

$$M_w = I F_{T;1,A} + F_{T;2,A} I \cdot R$$

$$F_{R;1,B} = F_{1,B} \cdot \cos \varphi + F_{2,B} \cdot \sin \varphi ; F_{T;1,B} = F_{1,B} \cdot \sin \varphi - F_{2,B} \cdot \cos \varphi$$

$$F_{R;2,B} = F_{1,B} \cdot \cos \varphi - F_{2,B} \cdot \sin \varphi ; F_{T;2,B} = F_{1,B} \cdot \sin \varphi + F_{2,B} \cdot \cos \varphi$$

$$M_w = I F_{T;1,B} + F_{T;2,B} I \cdot R$$

150 kV: Per bevevestigingsring

$$F_{T;C} = \sum F'_L / 2 \quad M_{T;C} = F_{T;C} \cdot (5500 - R)$$

$$F_{R;C} = \sum F'_T / 2$$

$$F_{V;C} = \sum F'_V / 2 \quad M_{V;C} = 2 \cdot F_{V;C} \cdot (5500 - R)$$

$$F'_{R;C} = \pm M_{C;L} / (2 \cdot z)$$

$$z = 2 \cdot (d_{uit}^3 - d_{inw}^3) / 3 \cdot \pi \cdot (d_{uit}^2 - d_{inw}^2)$$

$$F_{R;C;max} = F_{R;C} + F'_{R;C}$$

Opmerking:

In mast W2H400A+10 zijn de geleiders van de 150 kV niet aanwezig.

9.1.1 - Afspanpunt trekisolatoren op 57,0 meter hoogte

Ring gegevens:

$t_{\text{buis;nom}} = 20 \text{ mm}$

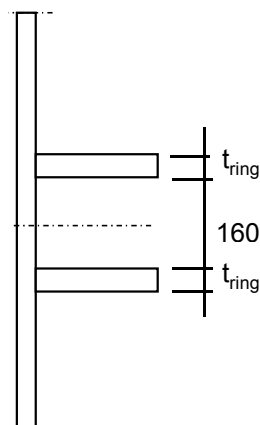
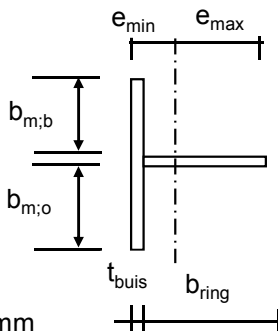
$t_{\text{buis;reken}} = 20 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;nom}} = 20 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;reken}} = 20 \text{ mm}$

$b_{\text{ring}} = 135 \text{ mm}$

Afstand tussen ringen = 160 mm



Mee werkende breedte :DIN 18801

$$b_m = 0,138 * t * \lambda_a$$

$$\lambda_a = \pi * (E / f_y)^{0,5}$$

Staal S355 ; $f_y = 355,0 \text{ N/mm}^2$

$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$

$b_{m;b} = 210,9 \text{ mm}$

$b_{m;o} = 80 \text{ mm}$

$A = 8918 \text{ mm}^2$

$e_{\text{min}} = 33,5 \text{ mm}$

$e_{\text{max}} = 121,5 \text{ mm}$

$I = 15614845 \text{ mm}^4$

$W_{\text{min}} = 128480 \text{ mm}^3$

$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$

$N_{\text{Rd}} = 2111 \text{ kN}$

$M_{y;\text{Rd}} = 30 \text{ kNm}$

$M_{w;\text{Rd}} = 4803 \text{ kNm} \text{ (torsieweerstand mast)}$

$V_{\text{Rd}} = 369 \text{ kN}$

Belastingen op 57,0 meter

Zie KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-001 38 REV V10.0 - Appendix AM en AM1

Belastingen - geleiders 380 kV

	Ahead			Back		
	F_V N	F_T N	F_L N	F_V N	F_T N	F_L N
BG 1a - (wind (90 gr))	18836	124973	205636	18836	124973	-205636
BG 3 - (wind (90) + ijs)	34605	123071	229096	34605	123071	-229096
BG 1a - (wind (45 gr))	20662	67118	135058	18727	130892	-213646
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	35368	103053	216039	34506	125330	-231326
1a- Bundelbr.-(90 gr)	19809	88691	157780	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	23505	94792	175430	0,0	0,0	0,0
1a- Bundelbr.-(45 gr)	20736	64612	133945	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	24242	76696	160509	0,0	0,0	0,0

Tracé VHZ - BWK

Diameter mast t.p.v ringen $D = 833$ mm

 $R = 416,6$ mm

Mast 133 : Lijnhoeck = $2 \cdot \alpha = 172$ graden

Lijnhoeck = $2 \cdot \alpha = 172$ graden maatgevend

hoek $\varphi = \arcsin(300 / (417+80)) = 37,2$ graden

	A		B		C	
	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;max;Ed}$ kN	$M_{T;Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	59,3	25,9	59,3	25,9		
BG 3 - (wind (90) + ijs)	63,4	31,1	63,4	31,1		
BG 1a - (wind (45 gr))	36,5	19,1	61,7	26,8		
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	57,6	31,1	64,2	31,3		
1a- Bundelbr.-(90 gr)	44,3	20,9	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	48,6	23,8	0,0	0,0		
1a- Bundelbr.-(45 gr)	35,8	19,2	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	42,8	23,1	0,0	0,0		

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 20

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 19

Tracé VHZ - BWK

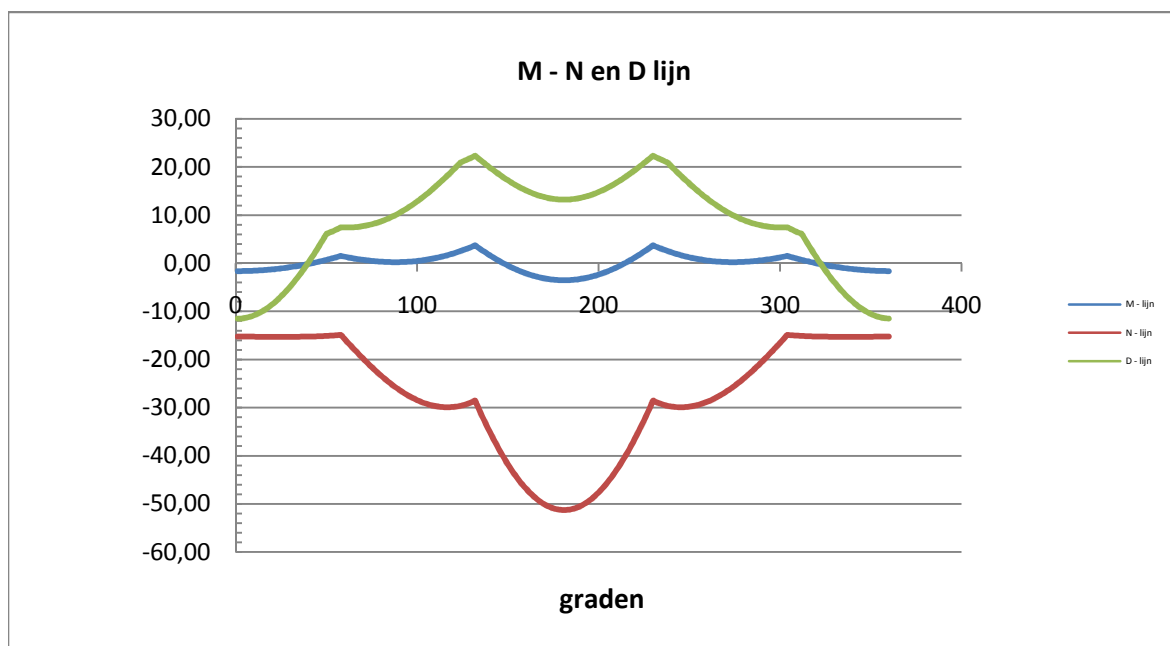
Belastinggeval : BG 1 - wind 90 gr.

φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-1,61	-15,23	-11,51	0,22	2,54
15,0	-1,39	-15,24	-9,68	0,65	7,62
30,0	-0,74	-15,25	-4,43	1,09	12,70
45,0	0,35	-15,14	3,61	0,95	11,13
60,0	1,30	-16,12	7,44	0,83	9,74
75,0	0,47	-21,92	8,21	0,21	2,47
90,0	0,26	-26,51	10,63	0,54	6,31
105,0	0,80	-29,29	14,61	1,37	16,01
120,0	2,17	-29,79	19,81	0,49	5,77
135,0	2,66	-31,87	21,12	3,31	38,69
150,0	-0,65	-42,33	17,01	2,11	24,68
165,0	-2,77	-48,98	14,22	0,73	8,48
180,0	-3,49	-51,26	13,24	0,73	8,48
195,0	-2,77	-48,98	14,22	2,11	24,68
210,0	-0,65	-42,33	17,01	3,31	38,69
225,0	2,66	-31,87	21,12	0,49	5,77
240,0	2,17	-29,79	19,81	1,37	16,01
255,0	0,80	-29,29	14,61	0,54	6,31
270,0	0,26	-26,51	10,63	0,21	2,47
285,0	0,47	-21,92	8,21	0,83	9,74
300,0	1,30	-16,12	7,44	0,95	11,13
315,0	0,35	-15,14	3,61	1,09	12,70
330,0	-0,74	-15,25	-4,43	0,65	7,62
345,0	-1,39	-15,24	-9,68	0,22	2,53
360,0	-1,61	-15,23	-11,50	0,00	0,01

$$F_{s;d,langs} = \Delta M_{s;d} * S / I$$

$$S = 182250 \text{ mm}^3$$

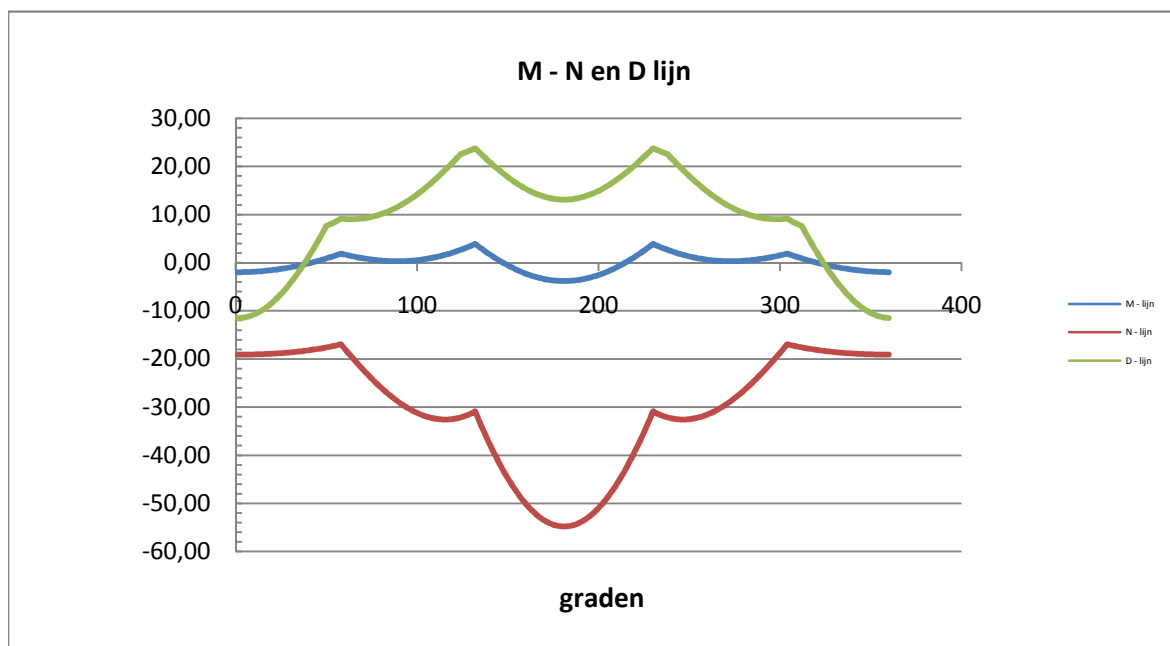
$$I = 15614845 \text{ mm}^4$$



Tracé VHZ - BWK

Belastinggeval : BG 3 - wind 90 gr + ijs.

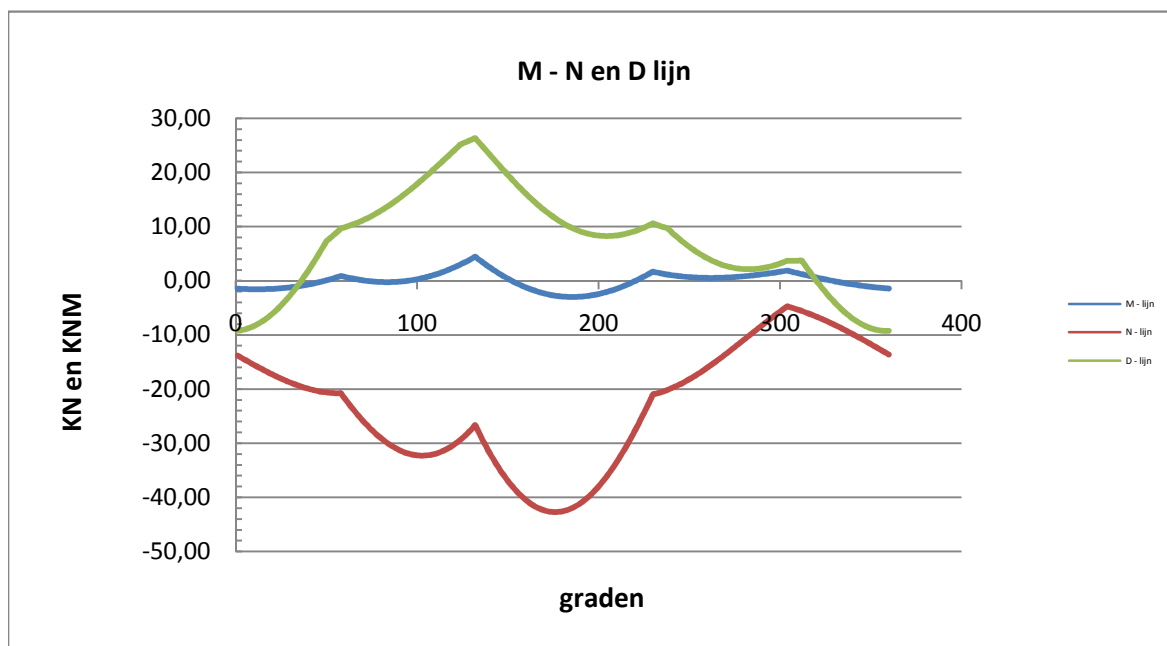
φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-1,96	-19,09	-11,50	0,27	3,18
15,0	-1,68	-18,97	-9,52	0,81	9,50
30,0	-0,87	-18,59	-3,80	1,34	15,68
45,0	0,47	-17,85	4,93	1,17	13,70
60,0	1,65	-18,28	9,09	1,00	11,69
75,0	0,65	-24,47	9,64	0,31	3,57
90,0	0,34	-29,26	11,97	0,52	6,13
105,0	0,86	-32,06	16,01	1,43	16,74
120,0	2,30	-32,40	21,40	0,51	5,97
135,0	2,81	-34,42	22,35	3,55	41,45
150,0	-0,74	-45,43	17,53	2,26	26,42
165,0	-3,00	-52,43	14,27	0,78	9,07
180,0	-3,78	-54,83	13,13	0,78	9,07
195,0	-3,00	-52,43	14,27	2,26	26,42
210,0	-0,74	-45,43	17,53	3,55	41,45
225,0	2,81	-34,42	22,35	0,51	5,97
240,0	2,30	-32,40	21,40	1,43	16,74
255,0	0,86	-32,06	16,01	0,52	6,13
270,0	0,34	-29,26	11,97	0,31	3,57
285,0	0,65	-24,47	9,64	1,00	11,69
300,0	1,65	-18,28	9,09	1,17	13,70
315,0	0,47	-17,85	4,93	1,34	15,68
330,0	-0,87	-18,59	-3,80	0,81	9,50
345,0	-1,68	-18,97	-9,52	0,27	3,16
360,0	-1,96	-19,09	-11,49	0,00	0,01



Tracé VHZ - BWK

Belastinggeval : BG 1a - wind 45 gr.

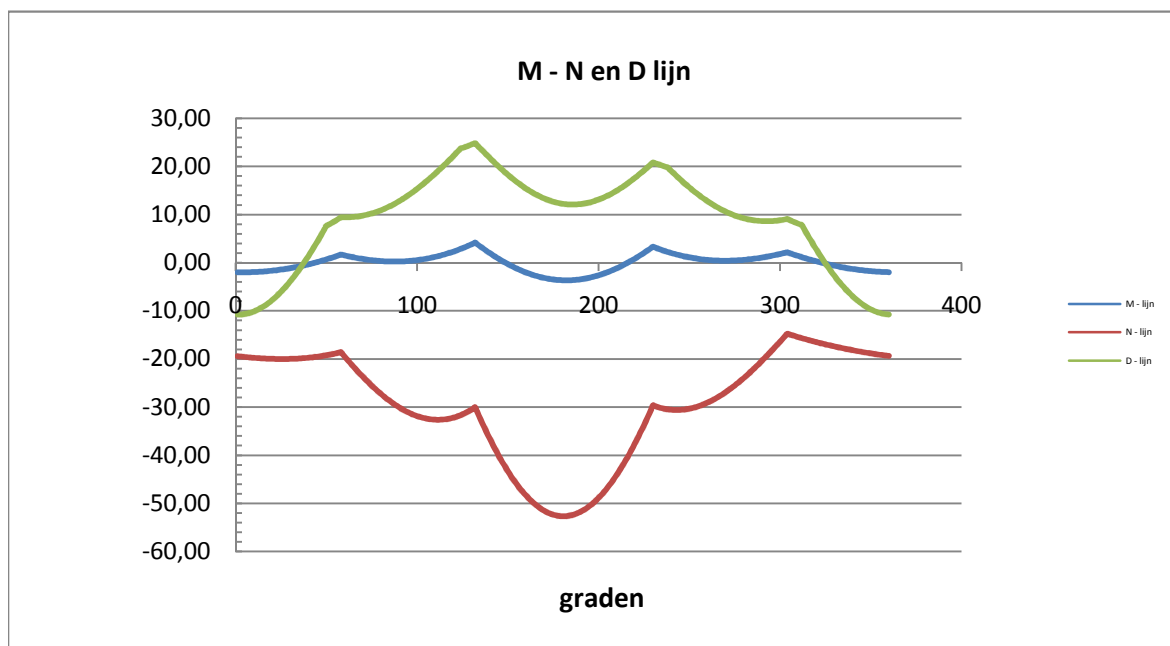
φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-1,43	-13,83	-9,19	0,10	1,17
15,0	-1,53	-16,60	-7,17	0,37	4,35
30,0	-1,16	-18,92	-2,25	0,91	10,63
45,0	-0,25	-20,42	5,07	0,91	10,58
60,0	0,66	-22,13	9,98	0,79	9,19
75,0	-0,13	-27,87	12,17	0,00	0,03
90,0	-0,13	-31,39	15,46	0,89	10,42
105,0	0,76	-32,21	19,63	1,81	21,07
120,0	2,57	-30,10	24,25	0,86	10,07
135,0	3,43	-29,33	24,82	3,22	37,53
150,0	0,22	-37,36	19,18	2,16	25,18
165,0	-1,94	-41,83	14,20	0,97	11,34
180,0	-2,91	-42,48	10,53	0,23	2,71
195,0	-2,68	-39,39	8,57	1,35	15,75
210,0	-1,33	-32,94	8,44	2,28	26,65
225,0	0,95	-23,78	9,97	0,06	0,69
240,0	1,01	-19,74	8,77	0,44	5,14
255,0	0,57	-16,96	4,92	0,04	0,49
270,0	0,61	-13,33	2,68	0,42	4,92
285,0	1,03	-9,35	2,18	0,69	8,04
300,0	1,72	-5,48	3,32	0,81	9,41
315,0	0,92	-6,11	1,84	1,05	12,22
330,0	-0,13	-8,31	-4,29	0,81	9,44
345,0	-0,94	-10,96	-8,15	0,47	5,53
360,0	-1,41	-13,64	-9,22	0,02	0,25



Tracé VHZ - BWK

Belastinggeval : BG 3 - wind 45 gr + ijs.

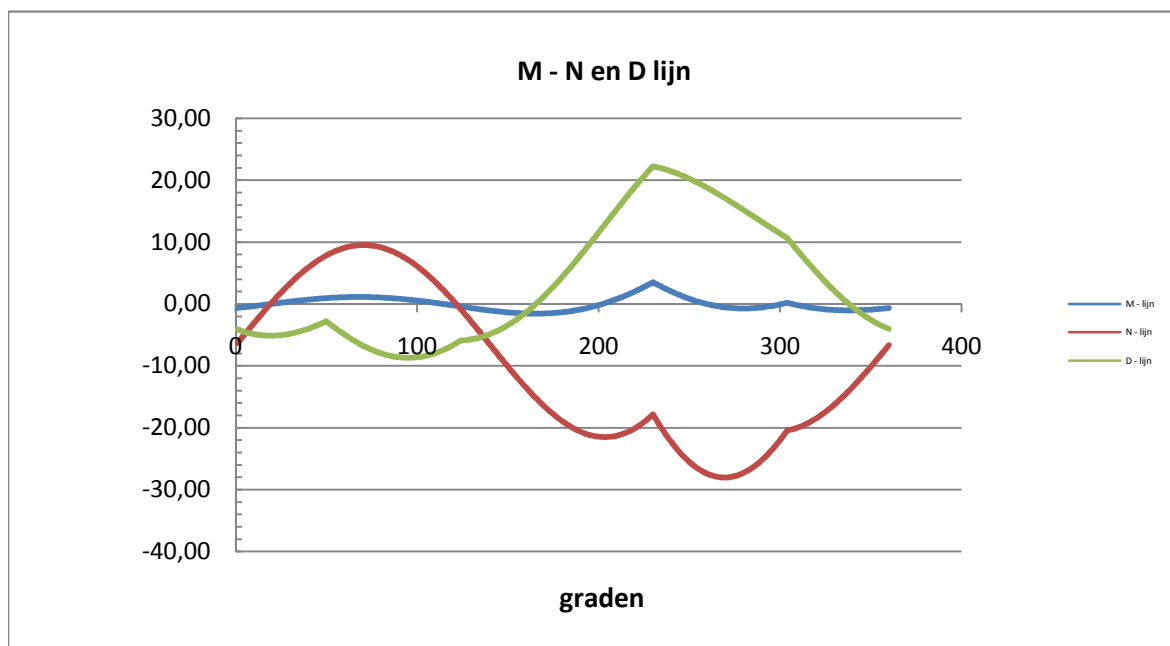
φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-1,97	-19,43	-10,74	0,18	2,05
15,0	-1,80	-19,92	-8,89	0,74	8,68
30,0	-1,05	-19,99	-3,41	1,31	15,32
45,0	0,26	-19,49	5,05	1,19	13,84
60,0	1,45	-19,93	9,44	0,96	11,16
75,0	0,49	-25,91	10,37	0,22	2,57
90,0	0,27	-30,28	13,00	0,64	7,46
105,0	0,91	-32,47	17,20	1,56	18,21
120,0	2,47	-32,09	22,57	0,61	7,06
135,0	3,07	-33,41	23,28	3,55	41,42
150,0	-0,47	-43,91	17,97	2,30	26,90
165,0	-2,78	-50,52	14,08	0,87	10,18
180,0	-3,65	-52,69	12,21	0,62	7,25
195,0	-3,03	-50,28	12,63	2,05	23,89
210,0	-0,98	-43,52	15,21	3,28	38,29
225,0	2,30	-32,99	19,49	0,36	4,26
240,0	1,93	-30,58	18,72	1,17	13,68
255,0	0,76	-29,71	13,87	0,33	3,84
270,0	0,43	-26,66	10,47	0,43	5,00
285,0	0,86	-21,91	8,81	1,05	12,27
300,0	1,91	-16,02	8,89	1,19	13,87
315,0	0,72	-16,10	5,26	1,41	16,43
330,0	-0,68	-17,49	-3,18	0,91	10,61
345,0	-1,59	-18,60	-8,75	0,37	4,32
360,0	-1,96	-19,38	-10,73	0,01	0,10



Tracé VHZ - BWK

Belastinggeval : BG 1a - Bundelbreuk 90 gr

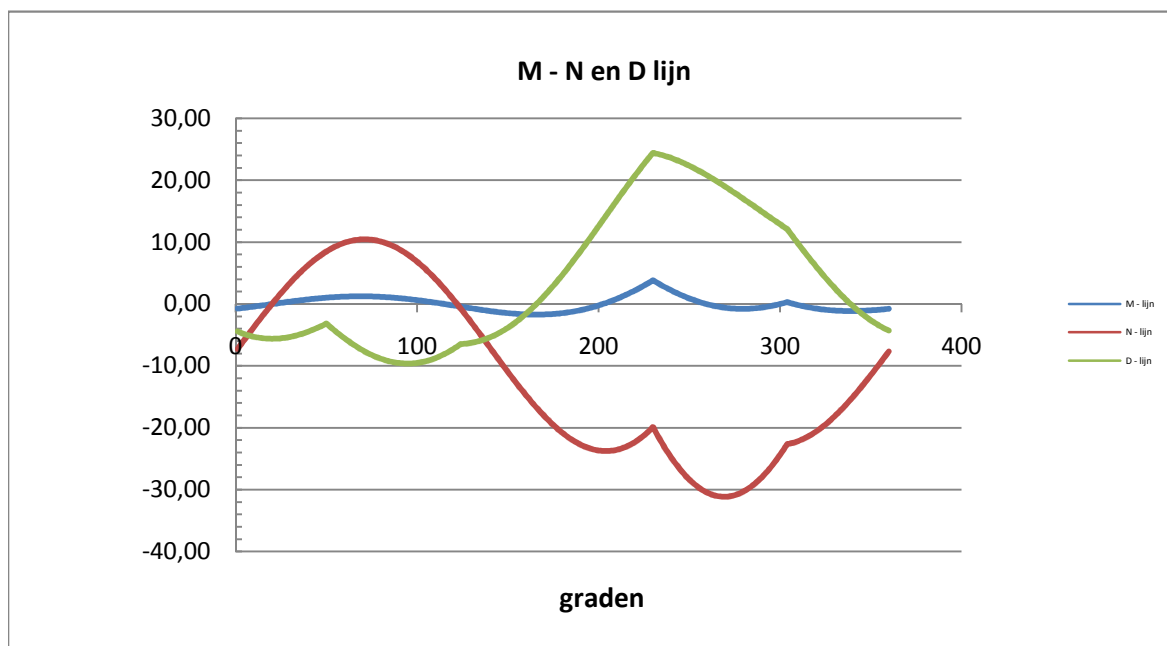
φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-0,65	-6,32	-4,12	0,51	6,01
15,0	-0,14	-1,08	-5,08	0,55	6,38
30,0	0,41	3,59	-4,74	0,45	5,22
45,0	0,85	7,12	-3,30	0,25	2,88
60,0	1,10	9,13	-5,14	0,01	0,11
75,0	1,09	9,37	-7,52	0,27	3,18
90,0	0,82	7,81	-8,63	0,49	5,74
105,0	0,33	4,62	-8,28	0,62	7,24
120,0	-0,29	0,16	-6,44	0,62	7,27
135,0	-0,92	-5,08	-5,28	0,48	5,57
150,0	-1,39	-10,48	-3,24	0,18	2,09
165,0	-1,57	-15,39	0,16	0,26	3,00
180,0	-1,32	-19,16	4,72	0,80	9,34
195,0	-0,51	-21,24	10,05	1,40	16,36
210,0	0,89	-21,23	15,66	2,00	23,37
225,0	2,89	-18,89	20,96	0,98	11,49
240,0	1,90	-22,66	21,34	1,63	19,04
255,0	0,27	-26,84	19,37	0,87	10,18
270,0	-0,60	-28,03	16,84	0,08	0,92
285,0	-0,68	-26,21	14,04	0,66	7,74
300,0	-0,01	-21,64	11,20	0,53	6,24
315,0	-0,55	-19,18	6,48	0,45	5,21
330,0	-1,00	-16,00	1,84	0,01	0,09
345,0	-0,99	-11,51	-1,78	0,30	3,56
360,0	-0,68	-6,67	-4,01	0,03	0,35



Tracé VHZ - BWK

Belastinggeval : BG 3 - Bundelbreuk 90 gr + ijs

φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-0,75	-7,27	-4,43	0,56	6,52
15,0	-0,19	-1,47	-5,57	0,60	7,03
30,0	0,41	3,71	-5,25	0,50	5,83
45,0	0,91	7,69	-3,73	0,28	3,31
60,0	1,20	9,98	-5,77	0,00	0,04
75,0	1,20	10,33	-8,38	0,29	3,35
90,0	0,91	8,70	-9,57	0,53	6,20
105,0	0,38	5,25	-9,15	0,68	7,91
120,0	-0,29	0,37	-7,08	0,69	8,00
135,0	-0,98	-5,39	-5,84	0,53	6,20
150,0	-1,51	-11,36	-3,64	0,21	2,43
165,0	-1,72	-16,81	0,07	0,27	3,14
180,0	-1,45	-21,03	5,05	0,87	10,10
195,0	-0,58	-23,41	10,92	1,53	17,84
210,0	0,94	-23,49	17,11	2,19	25,60
225,0	3,14	-21,00	22,99	1,08	12,59
240,0	2,06	-25,20	23,49	1,78	20,76
255,0	0,28	-29,81	21,42	0,94	10,92
270,0	-0,66	-31,11	18,73	0,06	0,64
285,0	-0,71	-29,07	15,74	0,77	8,96
300,0	0,06	-23,97	12,70	0,61	7,13
315,0	-0,55	-21,32	7,48	0,53	6,13
330,0	-1,08	-17,89	2,30	0,02	0,21
345,0	-1,10	-12,99	-1,76	0,32	3,73
360,0	-0,78	-7,67	-4,30	0,03	0,37



Maatgevende belastinggeval : BG 3 - wind 45 gr + ijs

Controle spanningen :

$$\begin{array}{llll} N_{Ed,max} = & 42,7 & \text{kN} & N_{Rd} = 2111 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,max} = & 4,44 & \text{kNm} & M_{Rd} = 30 \text{ kNm} \\ M_{w,Ed,max} = & 18,3 & \text{kNm} & M_{Rd} = 4803 \text{ kNm} \\ V_{Ed,max} = & 26,3 & \text{kN} & V_{Rd} = 369 \text{ kN} \end{array}$$

$$N_{Ed,max} / N_{Rd} = 42,69 / 2111 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} = 4,44 / 30,4 = 0,15 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 34,6 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd} = 26,34 / 369 = 0,07 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

Bij maximale moment : $N_{Ed} = 26,66$
 $V_{Ed} = 26,34$

$$\sigma_b + \sigma_N = 34,6 + 3,0 = 37,5 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = \{ (\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_z^2 \}^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 41 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las.

Per bevestiging (2 * bevestigingspunten en 2 * ringen)

$$\begin{array}{ll} F_{R,1,h} = & 63,37 \text{ kN} \\ F_{T,1,h} = & 57,09 \text{ kN} \\ F_z = & 17,30 \text{ kN} \\ F_{Langs,Ed} = & 41,45 \text{ kN} \end{array}$$

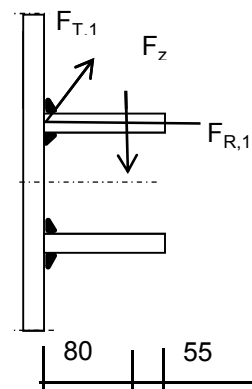
$$L_{las} = b_{m,ring} = 0,138 \cdot t \cdot \pi \cdot (E/f_y)^{0,5} = 210 \text{ mm}$$

of

$$L_{las} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 160 \text{ mm} - \text{maatgevend}$$

$$\text{lasdikte } a = 5 \text{ mm} - \text{hoeklas}$$



t.g.v. $F_{R,1,h}$:

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{R,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 28,0 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{T,1,h}$:

$$\tau_2 = F_{T,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 35,68 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{Langs,Ed}$:

$$\tau_2 = F_{Langs,Ed,max} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 25,90 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. F_z :

$$\sigma_1 = \tau_1 = [(F_z \cdot 1000 \cdot 80) / (t_{ring} + 2 \cdot a / 3)] / (a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 52,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 80,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 193,0 \text{ N/mm}^2$$

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{m;extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \quad \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 193,0 / 302,2 = 0,64 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 80,4 / 244,8 = 0,33 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.1.2 - Afspanpunt trekisolatoren op 47,0 meter hoogte

Ring gegevens:

$t_{\text{buis,nom}} = 22 \text{ mm}$

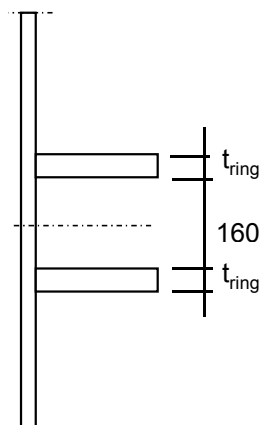
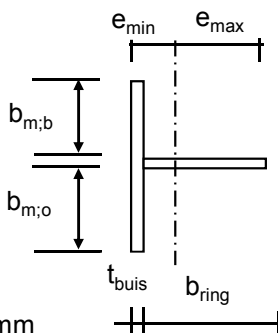
$t_{\text{buis,teken}} = 22 \text{ mm}$

$t_{\text{ring,nom}} = 20 \text{ mm}$

$t_{\text{ring,teken}} = 20 \text{ mm}$

$b_{\text{ring}} = 135 \text{ mm}$

Afstand tussen ringen = 160 mm



Mee werkende breedte :DIN 18801

$$b_m = 0,138 * t * \lambda_a$$

$$\lambda_a = \pi * (E / f_y)^{0,5}$$

Staal S355 ; $f_y = 355,0 \text{ N/mm}^2$

$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$

$b_{m,b} = 232,0 \text{ mm}$

$b_{m,o} = 80 \text{ mm}$

$A = 10004 \text{ mm}^2$

$e_{\text{min}} = 32,2 \text{ mm}$

$e_{\text{max}} = 124,8 \text{ mm}$

$I = 16542576 \text{ mm}^4$

$W_{\text{min}} = 132539 \text{ mm}^3$

$\gamma_{m,\text{extra}} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

$N_{Rd} = 2367 \text{ kN}$

$M_{y,Rd} = 31 \text{ kNm}$

$M_{w,Rd} = 10516 \text{ kNm}$ (torsieweerstand mast)

$V_{Rd} = 369 \text{ kN}$

Belastingen op 47,0 meter (gelijkgesteld aan de belastingen van de geleiders op 57 m)

Belastingen - geleiders 380 kV

	Ahead			Back		
	F_V N	F_T N	F_L N	F_V N	F_T N	F_L N
BG 1a - (wind (90 gr))	18836	124973	205636	18836	124973	-205636
BG 3 - (wind (90) + ijs)	34605	123071	229096	34605	123071	-229096
BG 1a - (wind (45 gr))	20662	67118	135058	18727	130892	-213646
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	35368	103053	216039	34506	125330	-231326
1a- Bundelbr.-(90 gr)	19809	88691	157780	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	23505	94792	175430	0,0	0,0	0,0
1a- Bundelbr.-(45 gr)	20736	64612	133945	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	24242	76696	160509	0,0	0,0	0,0

Tracé VHZ - BWK

Diameter mast t.p.v ringen $D = 1167$ mm

 $R = 583,3$ mm

Mast 133 : Lijnhoeek = $2 \cdot \alpha = 172$ graden

Lijnhoeek = $2 \cdot \alpha = 172$ graden maatgevend

hoek $\varphi = \arcsin(300 / (583+80)) = 26,9$ graden

	A		B		C	
	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;max;Ed}$ kN	$M_{T;Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	60,2	35,2	60,2	35,2		
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,9	40,8	64,9	40,8		
BG 1a - (wind (45 gr))	37,6	24,6	62,6	36,5		
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	59,6	39,7	65,7	41,1		
1a- Bundelbr.-(90 gr)	45,2	27,7	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	49,8	31,2	0,0	0,0		
1a- Bundelbr.-(45 gr)	37,0	24,6	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	44,3	29,5	0,0	0,0		

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 20

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 19

Tracé VHZ - BWK

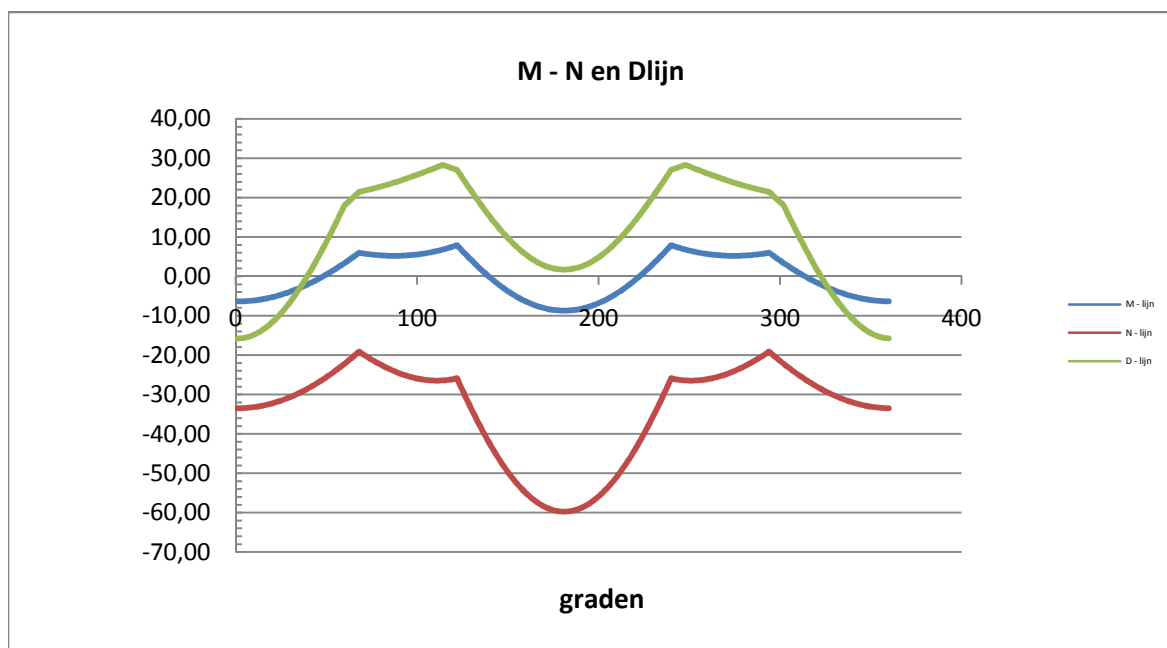
Maatgevende belastinggeval : BG 3 - wind 90 gr. + ijs

φ in gr.	$M_{s;d}$ kNm	$T_{s;d}$ kN	$V_{s;d}$ kN	$\Delta M_{s;d}$ kN	$F_{s;d,langs}$ kN
0,0	-6,39	-33,46	-15,79	0,67	7,34
15,0	-5,72	-32,70	-13,25	1,97	21,69
30,0	-3,75	-30,44	-5,91	3,18	35,04
45,0	-0,57	-26,76	5,31	4,25	46,78
60,0	3,67	-21,79	18,47	1,80	19,85
75,0	5,48	-21,39	22,33	0,25	2,73
90,0	5,23	-24,69	24,36	0,73	8,09
105,0	5,96	-26,32	26,87	1,78	19,61
120,0	7,74	-25,96	27,23	6,35	70,01
135,0	1,39	-39,16	17,69	5,46	60,16
150,0	-4,07	-50,29	9,25	3,46	38,16
165,0	-7,54	-57,35	3,67	1,19	13,07
180,0	-8,72	-59,76	1,72	1,19	13,07
195,0	-7,54	-57,35	3,67	3,46	38,16
210,0	-4,07	-50,29	9,25	5,46	60,16
225,0	1,39	-39,16	17,69	6,35	70,01
240,0	7,74	-25,96	27,23	1,78	19,61
255,0	5,96	-26,32	26,87	0,73	8,09
270,0	5,23	-24,69	24,36	0,25	2,73
285,0	5,48	-21,39	22,33	1,80	19,85
300,0	3,67	-21,79	18,47	4,25	46,78
315,0	-0,57	-26,76	5,31	3,18	35,04
330,0	-3,75	-30,44	-5,91	1,97	21,69
345,0	-5,72	-32,70	-13,25	0,66	7,31
360,0	-6,38	-33,46	-15,78	0,00	0,03

$$F_{s;d,langs} = \Delta M_{s;d} \cdot S / I$$

$$S = 182250 \text{ mm}^3$$

$$I = 16542576 \text{ mm}^4$$



Tracé VHZ - BWK

Controle spanningen :

$N_{Ed,max} =$	59,8	kN	$N_{Rd} =$	2367	kN
$M_{y,Ed,max} =$	8,72	kNm	$M_{Rd} =$	31	kNm
$M_{w,Ed,max} =$	27,8	kNm	$M_{Rd} =$	10516	kNm
$V_{Ed,max} =$	28,3	kN	$V_{Rd} =$	369	kN
$N_{Ed,max} / N_{Rd} =$	59,76	/	2367	=	0,03
			$\sigma_N =$	6,0	N/mm ²
$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} =$	8,72	/	31,4	=	0,28
			$\sigma_b =$	65,8	N/mm ²
$V_{Ed,max} / V_{Rd} =$	28,31	/	369	=	0,08
			$\tau_z =$	10,5	N/mm ²
Bij maximale moment : $N_{Ed} = 59,76$					
$V_{Ed} = 1,72$					
$\sigma_b + \sigma_N =$	65,8	+	6,0	=	71,8 N/mm ²
					< 236 MPa -- Voldoet
$\tau_z =$	0,6				N/mm ²
$\sigma_{vlg} = \{ (\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_z^2 \}^{0,5}$					
$\sigma_{vlg} =$	72				N/mm ²
					< 236 MPa -- Voldoet

Controle spanningen in las.

Per bevestiging (2 * bevestigingspunten en 2 * ringen)

$F_{R,1,h} =$	64,95	kN
$F_{T,1,h} =$	50,62	kN
$F_z =$	17,30	kN
$F_{Langs,Ed} =$	70,01	kN

$$L_{las} = b_{m,ring} = 0,138 \cdot t \cdot \pi \cdot (E/fy)^{0,5} = 210 \text{ mm}$$

of

$$L_{las} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 160 \text{ mm} - \text{maatgevend}$$

$$\text{lasdikte } a = 5 \text{ mm} - \text{hoeklas}$$

t.g.v. $F_{R,1,h}$:

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{R,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 28,7 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{T,1,h}$:

$$\tau_2 = F_{T,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 31,64 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{Langs,Ed}$:

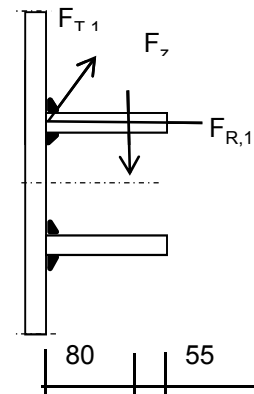
$$\tau_2 = F_{Langs,Ed,max} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 43,75 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. F_z :

$$\sigma_1 = \tau_1 = [(F_z \cdot 1000 \cdot 80) / (t_{ring} + 2 \cdot a / 3)] / (a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 52,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 81,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 208,3 \text{ N/mm}^2$$



Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{w;u;d} = f_{t;d} / (\beta * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{m;extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \quad \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 208,3 / 302,2 = 0,69 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 81,1 / 244,8 = 0,33 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.1.3 - Afspanpunt trekisolatoren op 37,0 meter hoogte

Ring gegevens:

$t_{\text{buis;nom}} = 25 \text{ mm}$

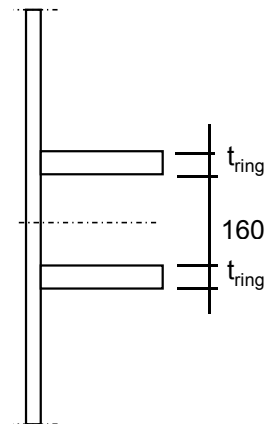
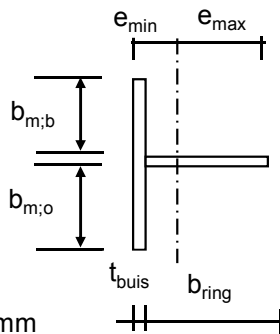
$t_{\text{buis;reken}} = 25 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;nom}} = 20 \text{ mm}$

$t_{\text{ring;reken}} = 20 \text{ mm}$

$b_{\text{ring}} = 135 \text{ mm}$

Afstand tussen ringen = 160 mm



Mee werkende breedte :DIN 18801

$$b_m = 0,138 * t * \lambda_a$$

$$\lambda_a = \pi * (E / f_y)^{0,5}$$

Staal S355 ; $f_y = 355,0 \text{ N/mm}^2$

$E = 210000,0 \text{ N/mm}^2$

$b_{m;b} = 263,6 \text{ mm}$

$b_{m;o} = 80 \text{ mm}$

$A = 11790 \text{ mm}^2$

$e_{\text{min}} = 30,8 \text{ mm}$

$e_{\text{max}} = 129,2 \text{ mm}$

$I = 17896923 \text{ mm}^4$

$W_{\text{min}} = 138543 \text{ mm}^3$

$\gamma_{m;\text{extra}} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

$N_{\text{Rd}} = 2790 \text{ kN}$

$M_{y;\text{Rd}} = 33 \text{ kNm}$

$M_{w;\text{Rd}} = 19885 \text{ kNm}$ (torsieweerstand mast)

$V_{\text{Rd}} = 369 \text{ kN}$

Belastingen op 37,0 meter (gelijkgesteld aan de belastingen van de geleiders op 57 m)

Belastingen - geleiders 380 kV

	Ahead			Back		
	F_V N	F_T N	F_L N	F_V N	F_T N	F_L N
BG 1a - (wind (90 gr))	18836	124973	205636	18836	124973	-205636
BG 3 - (wind (90) + ijs)	34605	123071	229096	34605	123071	-229096
BG 1a - (wind (45 gr))	20662	67118	135058	18727	130892	-213646
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	35368	103053	216039	34506	125330	-231326
1a- Bundelbr.-(90 gr)	19809	88691	157780	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	23505	94792	175430	0,0	0,0	0,0
1a- Bundelbr.-(45 gr)	20736	64612	133945	0,0	0,0	0,0
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	24242	76696	160509	0,0	0,0	0,0

Tracé VHZ - BWK

Diameter mast t.p.v ringen $D = 1500$ mm

 $R = 749,9$ mm

Mast 133 : Lijnhoek = $2 \cdot \alpha = 172$ graden

hoek tussen lijnen $2 \cdot \alpha = 172$ graden maatgevend

hoek $\varphi = \arcsin(300 / (750+80)) = 21,2$ graden

	A		B		C	
	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;1;Ed}$ kN	$F_{R;2;Ed}$ kN	$F_{R;max;Ed}$ kN	$M_{T;Ed}$ kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	59,8	39,9	59,8	39,9		
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,9	45,6	64,9	45,6		
BG 1a - (wind (45 gr))	37,7	27,3	62,3	41,4		
BG 3 - (wind (45)+ ijs)	59,8	44,0	65,7	46,0		
1a- Bundelbr.-(90 gr)	45,1	31,1	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(90 gr + ijs)	49,8	34,9	0,0	0,0		
1a- Bundelbr.-(45 gr)	37,2	27,2	0,0	0,0		
3 - Bundelbr.-(45 gr + ijs)	44,5	32,7	0,0	0,0		

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 20

Roark's Formulas for stress & strain - tabel 9.2 - 19

Tracé VHZ - BWK

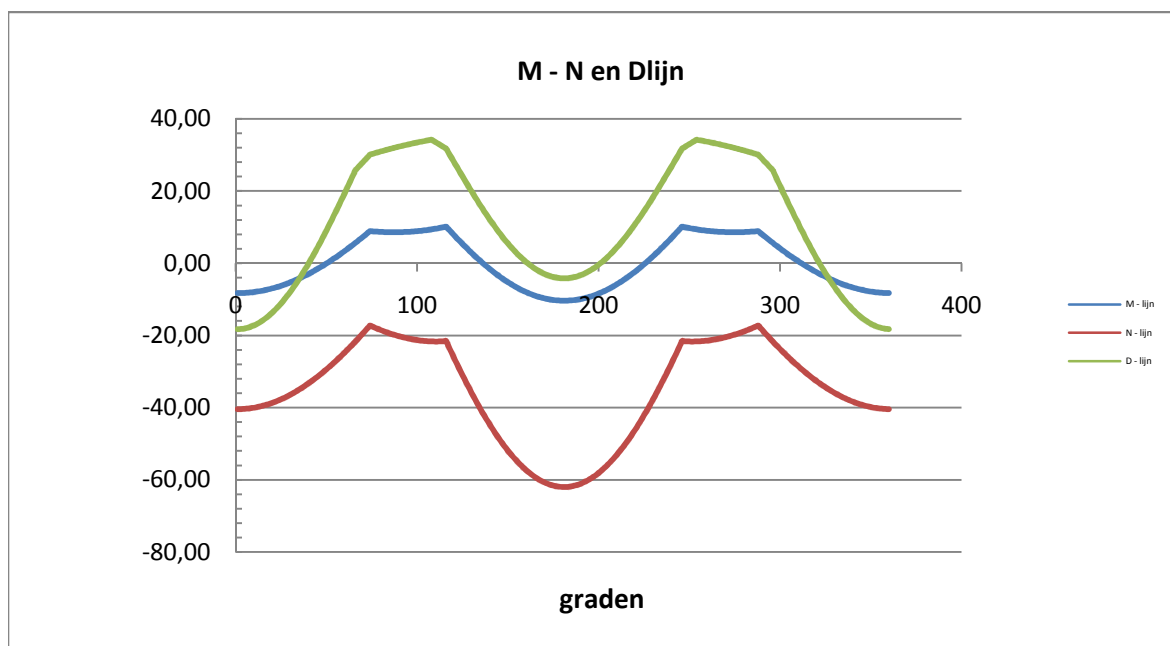
Maatgevende belastinggeval : BG 3 - wind 90 gr. + ijs

φ in gr.	$M_{s,d}$ kNm	$T_{s,d}$ kN	$V_{s,d}$ kN	$\Delta M_{s,d}$ kN	$F_{s,d,langs}$ kN
0,0	-8,31	-40,45	-18,29	0,80	8,20
15,0	-7,50	-39,38	-15,45	2,37	24,16
30,0	-5,13	-36,21	-7,30	3,81	38,83
45,0	-1,32	-31,10	5,18	5,05	51,43
60,0	3,74	-24,30	20,44	5,09	51,82
75,0	8,82	-17,74	30,40	0,19	1,95
90,0	8,63	-20,39	32,45	0,62	6,30
105,0	9,25	-21,65	34,05	1,82	18,55
120,0	7,43	-26,94	27,49	7,33	74,62
135,0	0,10	-41,36	15,15	5,69	57,89
150,0	-5,58	-52,53	4,91	3,60	36,65
165,0	-9,18	-59,60	-1,84	1,23	12,54
180,0	-10,41	-62,02	-4,19	1,23	12,54
195,0	-9,18	-59,60	-1,84	3,60	36,65
210,0	-5,58	-52,53	4,91	5,69	57,89
225,0	0,10	-41,36	15,15	7,33	74,62
240,0	7,43	-26,94	27,49	1,82	18,55
255,0	9,25	-21,65	34,05	0,62	6,30
270,0	8,63	-20,39	32,45	0,19	1,95
285,0	8,82	-17,74	30,40	5,09	51,82
300,0	3,74	-24,30	20,44	5,05	51,43
315,0	-1,32	-31,10	5,18	3,81	38,83
330,0	-5,13	-36,21	-7,30	2,37	24,16
345,0	-7,50	-39,38	-15,45	0,80	8,16
360,0	-8,30	-40,45	-18,27	0,00	0,04

$$F_{s,d,langs} = \Delta M_{s,d} * S / I$$

$$S = 182250 \text{ mm}^3$$

$$I = 17896923 \text{ mm}^4$$



Tracé VHZ - BWK

Controle spanningen :

$$\begin{array}{llll} N_{Ed,max} = & 62,0 & \text{kN} & N_{Rd} = 2790 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,max} = & 10,41 & \text{kNm} & M_{Rd} = 33 \text{ kNm} \\ M_{w,Ed,max} = & 37,3 & \text{kNm} & M_{Rd} = 19885 \text{ kNm} \\ V_{Ed,max} = & 34,2 & \text{kN} & V_{Rd} = 369 \text{ kN} \end{array}$$

$$N_{Ed,max} / N_{Rd} = 62,02 / 2790 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 5,3 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} = 10,41 / 32,8 = 0,32 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 75,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd} = 34,22 / 369 = 0,09 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 12,7 \text{ N/mm}^2$$

Bij maximale moment : $N_{Ed} = 62,02$
 $V_{Ed} = 4,19$

$$\sigma_b + \sigma_N = 75,2 + 5,3 = 80,4 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = \{ (\sigma_b + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_z^2 \}^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 80 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las.

Per bevestiging (2 * bevestigingspunten en 2 * ringen)

$$\begin{array}{ll} F_{R,1,h} = & 64,92 \text{ kN} \\ F_{T,1,h} = & 46,32 \text{ kN} \\ F_z = & 17,30 \text{ kN} \\ F_{Langs,Ed} = & 74,62 \text{ kN} \end{array}$$

$$L_{las} = b_{m,ring} = 0,138 \cdot t \cdot \pi \cdot (E/fy)^{0,5} = 210 \text{ mm}$$

of

$$L_{las} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ mm}$$

$$L_{las} = 160 \text{ mm} - \text{maatgevend}$$

$$\text{lasdikte } a = 5 \text{ mm} - \text{hoeklas}$$

t.g.v. $F_{R,1,h}$:

$$\sigma_1 = \tau_1 = F_{R,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 28,7 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{T,1,h}$:

$$\tau_2 = F_{T,1,h} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 28,95 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. $F_{Langs,Ed}$:

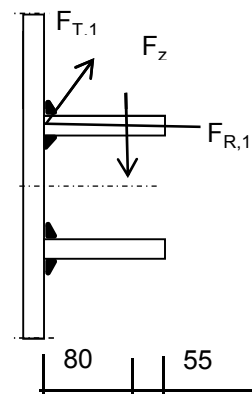
$$\tau_2 = F_{Langs,Ed,max} / (2 \cdot a \cdot L_{las,min}) = 46,64 \text{ N/mm}^2$$

t.g.v. F_z :

$$\sigma_1 = \tau_1 = [(F_z \cdot 1000 \cdot 80) / (t_{ring} + 2 \cdot a / 3)] / (a \cdot L_{las,min} \cdot 2^{0,5}) = 52,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \tau_1 = 81,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{ \sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2) \}^{0,5} = 208,5 \text{ N/mm}^2$$



Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{w;u;d} = f_{t;d} / (\beta * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{m;extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

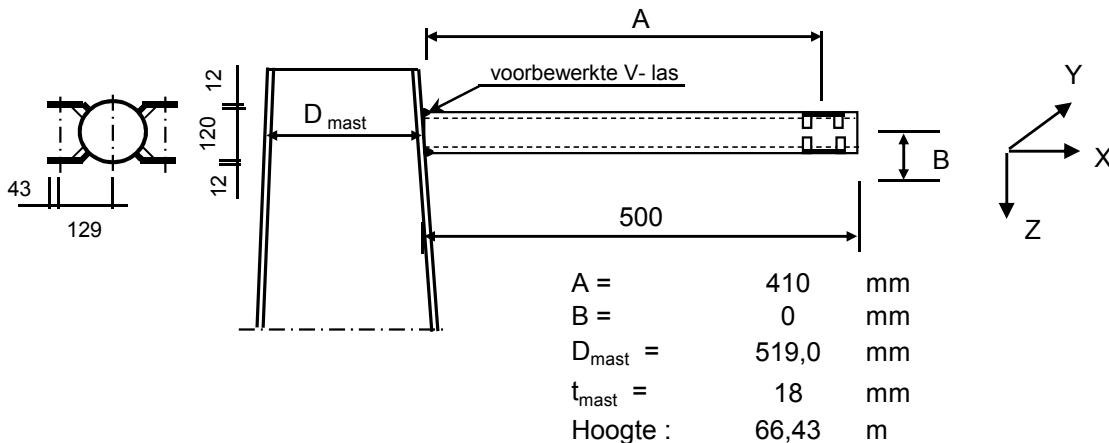
$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \quad \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 208,5 / 302,2 = 0,69 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\tau_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 81,1 / 244,8 = 0,33 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.2 - Berekening draagarm bliksemdraad



Buisgegevens

Buis Ø168,3 * 8 - S355 ;

$$\gamma_{m,extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal - S 355 ; } f_y = 355 / \gamma_{m,extra} = 236,7 \text{ N/mm}^2$$

$A = 4029 \text{ mm}^2$	$N_{Ed} = A * f_y = 953 \text{ kN}$
$W_y = W_z = 1,54E+05 \text{ mm}^3$	$M_{y,Ed} = W_y * f_y = 36,5 \text{ kNm}$
$W_x = 3,08E+05 \text{ mm}^3$	$M_{z,Ed} = W_z * f_y = 36,5 \text{ kNm}$
	$M_{x,Ed} = W_x * f_y / 3^{0,5} = 42,1 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = 0,5 * A * f_y / 3^{0,5} = 275,2 \text{ kN}$

Belastingen : Zie KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-001 38 REV V10.0 - Appendix AM en AM1

	AHEAD			BACK		
	F_x	F_y	F_z	F_x	F_y	F_z
	N	N	N	N	N	N
BG 1a - (wind (90 gr))	20427	32676	2405	20427	-32676	2405
BG 3 - (wind (90) + ijs)	32447	58144	10564	32447	-58144	10564
BG 1a - (wind (45 gr))	9102	17936	2690	21512	-34167	2393
BG 3 - (wind (45) + ijs)	26383	54949	10774	33112	-58712	10537
BG 1a - bundelbr. (90gr).	13529	23227	2532	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (90gr+ijs).	20827	35524	4305	0	0	0
BG 1a - bundelbr. (45gr).	8595	17608	2707	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (45gr+ijs).	13832	28362	4573	0	0	0
BG 1a - bundelbr. (-45gr).	14071	23956	2518	0	0	0
BG 3 - bundelbr. (-45gr+ijs)	21592	36479	4282	0	0	0

F_x = Transverse kracht

F_y = Longitudinale kracht

F_z = Verticale kracht

Trace' VHZ - BWK

	$F_{x,Ed}$	$F_{y,Ed}$	$F_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	40,85	0,00	4,81	0,00	1,97	0,00
BG 3 - (wind (90) + ijs)	64,89	0,00	21,13	0,00	8,66	0,00
BG 1a - (wind (45 gr))	30,61	16,23	5,08	0,00	2,08	6,65
BG 3 - (wind (45) + ijs)	59,49	3,76	21,31	0,00	8,74	1,54
BG 1a - bundelbr. (90gr).	13,53	23,23	2,53	0,00	1,04	9,52
BG 3 - bundelbr. (90gr+ijs).	20,83	35,52	4,31	0,00	1,77	14,56
BG 1a - bundelbr. (45gr).	8,59	17,61	2,71	0,00	1,11	7,22
BG 3 - bundelbr. (45gr+ijs).	13,83	28,36	4,57	0,00	1,87	11,63
BG 1a - bundelbr. (-45gr).	14,07	23,96	2,52	0,00	1,03	9,82
BG 3 - bundelbr. (-45gr+ijs)	21,59	36,48	4,28	0,00	1,76	14,96

$$M_{x,Ed} = F_{y,Ed} * B ; B = 0$$

$$M_{y,Ed} = F_{z,Ed} * A \pm F_{x,Ed} * B ; M_{y,Ed,max} = F_{z,Ed} * A$$

$$M_{z,Ed} = F_{y,Ed} * A$$

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - bundelbreuk (wind -45 gr + ijs)

$$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 1,76 / 36 = 0,05 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 11,4 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 14,96 / 36 = 0,41 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,z} = 97,0 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 21,59 / 953 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 5,4 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 4,28 / 275 = 0,02 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{y,Ed} / V_{y,Rd} = 36,48 / 275 = 0,13 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_y = 18,1 \text{ N/mm}^2$$

Maximale spanning

$$\sigma_{max} = (\sigma_{b,y}^2 + \sigma_{b,z}^2)^{0,5} + \sigma_N = 103 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{max}^2 + 3*\tau_y^2 + 3*\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 108 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{M,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Buis 168,3*8 :

Lassen : Rondom voorbereikte V- las met volledige doorsnede doorlassen

9.2.1 - Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast

Momentcapaciteit in het vlak

buis	d_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	519,0	18,0	28331	S355	355	3429758
1	168,3	8,0	4029	S355	355	154162

$$M_{ip,1,Rd} = \{4,85 * (f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (\beta * k_p * g^{0,5})\} / \gamma_{M5}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\theta_1 = 90 \quad \text{graden} ; \quad \beta = d_i / d_0 = 0,32$$

$$\gamma = d_0 / 2 * t_0 = 14,4$$

$$n_p = \{N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0})\} + \{M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0})\}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 7,24 \quad \text{kN} \quad \text{drukkracht} \\ M_{0,Ed} = 16,10 \quad \text{kNm} \end{array} \right\} \text{ t.g.v. max. belasting}$$

$$n_p = 0,01 \quad \text{of} \quad n_p = -0,013$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \quad (\text{trek}) ;$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2, \text{ voor } n_p > 0 \quad (\text{druk}) \text{ maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 1,00$$

$$M_{ip,1,Rd} = 76,7 \quad \text{kNm}$$

Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{ip,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((1 + 3 * \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 69,7 \quad \text{kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{ip,1,Rd} = 8,74 / 69,7 = 0,13 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Momentcapaciteit uit het vlak

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (2,7 / (1 - 0,81 * \beta)) * k_p\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 47,1 \quad \text{kNm}$$

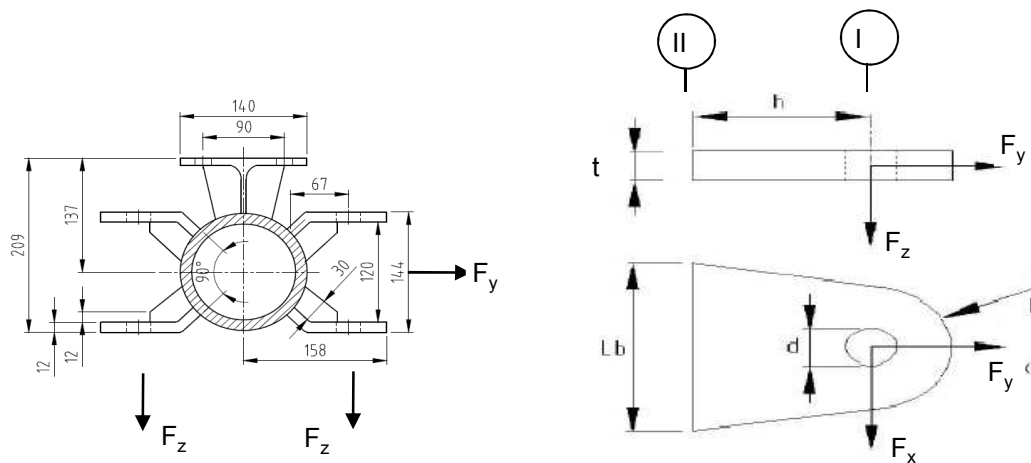
Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((3 + \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 69,7 \quad \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} / M_{op,1,Rd} = 14,96 / 47,1 = 0,32 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.2.2 - Berekening clip bliksemdraad (clip type 2)



R =	42	mm	;	t =	12	mm
Lb =	120	mm	;	d =	27	mm
h =	65	mm	;	a las =	5	mm (hoeklas)

Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$F_{z,Ed}$ kN
BG 1a - (wind (90 gr))	20,43	32,68	2,40
BG 3 - (wind (90) + ijs)	32,45	58,14	10,56
BG 1a - (wind (45 gr))	9,10	17,94	2,69
BG 3 - (wind (45) + ijs)	26,38	54,95	10,77

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - (wind 90 gr + ijs)

Per clip :	16,22	29,07	10,56
------------	--------------	--------------	--------------

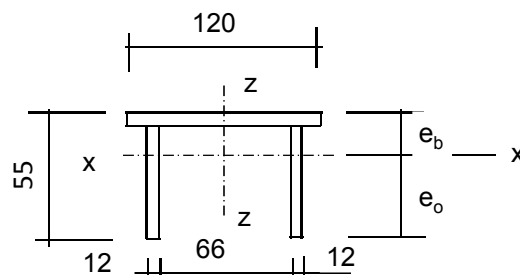
Doorsnede I ; ter hoogte van het gat

Per clip: $F_{Ed,max} = (F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2)^{0,5} = 29,5 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 43 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips



Trace' VHZ - BWK

$$e_b = 17,5 \text{ mm}$$

$$e_o = 37,5 \text{ mm}$$

$$A = 2472 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{schot}} = 1032 \text{ mm}^3$$

$$I_x = 630925 \text{ mm}^4$$

$$W_{x,\min} = 16816 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 3310056 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 55168 \text{ mm}^3$$

$$N_{Rd} = A * f_y = 585 \text{ kN}$$

$$M_{x,Rd} = W_{x,\min} * f_y = 4,0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = W_z * f_y = 10,5 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Rd} = A_{\text{schot}} * f_y / 3^{0,5} = 141,0 \text{ kN}$$

$$V_{x,Rd} = A_{\text{ribbe}} * f_y / 3^{0,5} = 196,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 29,07 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 10,56 \text{ kN}$$

$$V_{x,Ed} = 16,22 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = V_{x,Ed} * h = 1,05 \text{ kNm}$$

$$M_{x,Ed} = V_{z,Ed} * h = 0,69 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 29,07 / 585 = 0,05 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 1,05 / 10,5 = 0,10 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,z} = 23,7 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{x,Ed} / M_{x,Rd} = 0,69 / 4,0 = 0,17 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,x} = 40,8 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 10,56 / 141 = 0,07 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 10,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{x,Ed} / V_{x,Rd} = 16,22 / 197 = 0,08 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_x = 11,3 \text{ N/mm}^2$$

Maximale spanning

$$\sigma_{\max} = 76,3 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{\max}^2 + 3*\tau_x^2 + 3*\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 81 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \quad \gamma_{m,extra} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\text{Materiaal S 355} \rightarrow f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad \quad \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : hoeklas 5 mm rondom

$$a = 5 \text{ mm} \quad \quad \quad t = 12 \text{ mm}$$

$$t_1 = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Per mm las: } \sigma_1 = \tau_1 = \sigma_{max} * t / (2 * a * 2^{0,5})$$

$$\tau_2 = \tau_{y,max} * t / (2 * a) \quad \text{of} \quad \tau_2 = \tau_{z,max} * t_1 / (2 * a)$$

$$\sigma_1 = 64,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 64,7 \text{ N/mm}^2$$

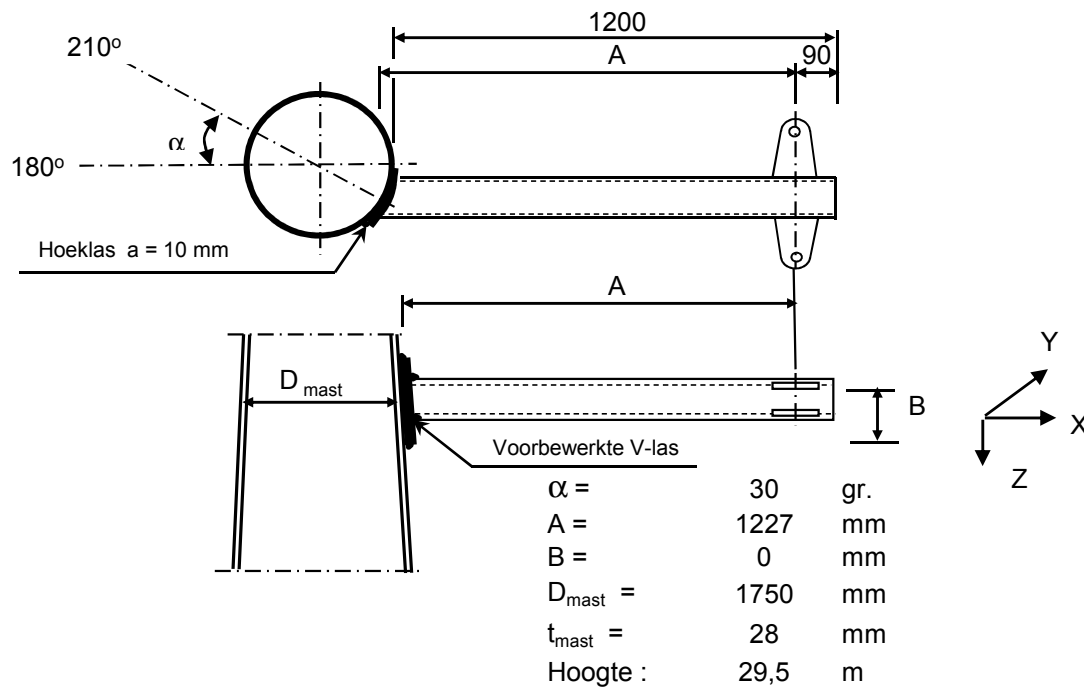
$$\tau_2 = 0 \quad \quad \quad 13,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{\sigma_1^2 + 3 * (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 131,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 131,5 / 302,2 = 0,44 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 64,7 / 244,8 = 0,26 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.3 - Berekening draagarm "Retourstroomgeleider"



Buisgegevens

Buis Ø406,4 * 8 - S355 ;

$\gamma_{m,extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / \gamma_{m,extra} = 236,7 \text{ N/mm}^2$

$A =$	10013	mm ²	$N_{Ed} = A * f_y =$	2370	kN
$W_y = W_z =$	9,78E+05	mm ³	$M_{y,Ed} = W_y * f_y =$	231,5	kNm
$W_x =$	1,96E+06	mm ³	$M_{z,Ed} = W_z * f_y =$	231,5	kNm
			$M_{x,Ed} = W_x * f_y / 3^{0,5} =$	267,3	kNm
			$V_{Rd} = 0,5 * A * f_y / 3^{0,5} =$	684,1	kN

Belastingen : Zie KEMA rapport 74100706-ETD/POL 12-001 38 REV V10.0 - Appendix AM en AM1

	AHEAD			BACK		
	F_x	F_y	F_z	F_x	F_y	F_z
	N	N	N	N	N	N
BG 1a - (wind (90 gr))	31950	53370	5154	0	0	0
BG 3 - (wind (90) + ijs)	60006	113147	21553	0	0	0
BG 1a - (wind (45 gr))	18081	36618	5606	0	0	0
BG 3 - (wind (45) + ijs)	52709	110823	21766	0	0	0
BG 1a - (wind (-45 gr))	33407	55358	5123	0	0	0
BG 3 - (wind (-45) + ijs)	60787	113655	21522	0	0	0

$F_x =$ Transverse kracht
 $F_y =$ Longitudinale kracht
 $F_z =$ Verticale kracht

Trace' VHZ - BWK

	$F_{x,Ed}$	$F_{y,Ed}$	$F_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
BG 1a - (wind (90 gr))	31,95	53,37	5,15	0,00	6,32	65,50
BG 3 - (wind (90) + ijs)	60,01	113,15	21,55	0,00	26,45	138,86
BG 1a - (wind (45 gr))	18,08	36,62	5,61	0,00	6,88	44,94
BG 3 - (wind (45) + ijs)	52,71	110,82	21,77	0,00	26,71	136,00
BG 1a - (wind (-45 gr))	33,41	55,36	5,12	0,00	6,29	67,94
BG 3 - (wind (-45) + ijs)	60,79	113,65	21,52	0,00	26,41	139,48

$$M_{x,Ed} = F_{y,Ed} * B ; B = 0$$

$$M_{y,Ed} = F_{z,Ed} * A \pm F_{x,Ed} * B ; M_{y,Ed,max} = F_{z,Ed} * A$$

$$M_{z,Ed} = F_{y,Ed} * A$$

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - (wind -45 gr + ijs)

$$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 26,41 / 231 = 0,11 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 27,0 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 139,48 / 231 = 0,60 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 142,6 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 60,79 / 2370 = 0,03 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 6,1 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 21,52 / 684 = 0,03 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_z = 4,3 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{y,Ed} / V_{y,Rd} = 113,65 / 684 = 0,17 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\tau_y = 22,7 \text{ N/mm}^2$$

Maximale spanning

$$\sigma_{max} = (\sigma_{b,y}^2 + \sigma_{b,z}^2)^{0,5} + \sigma_N = 151 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{max}^2 + 3*\tau_y^2 + 3*\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 156 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{M,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

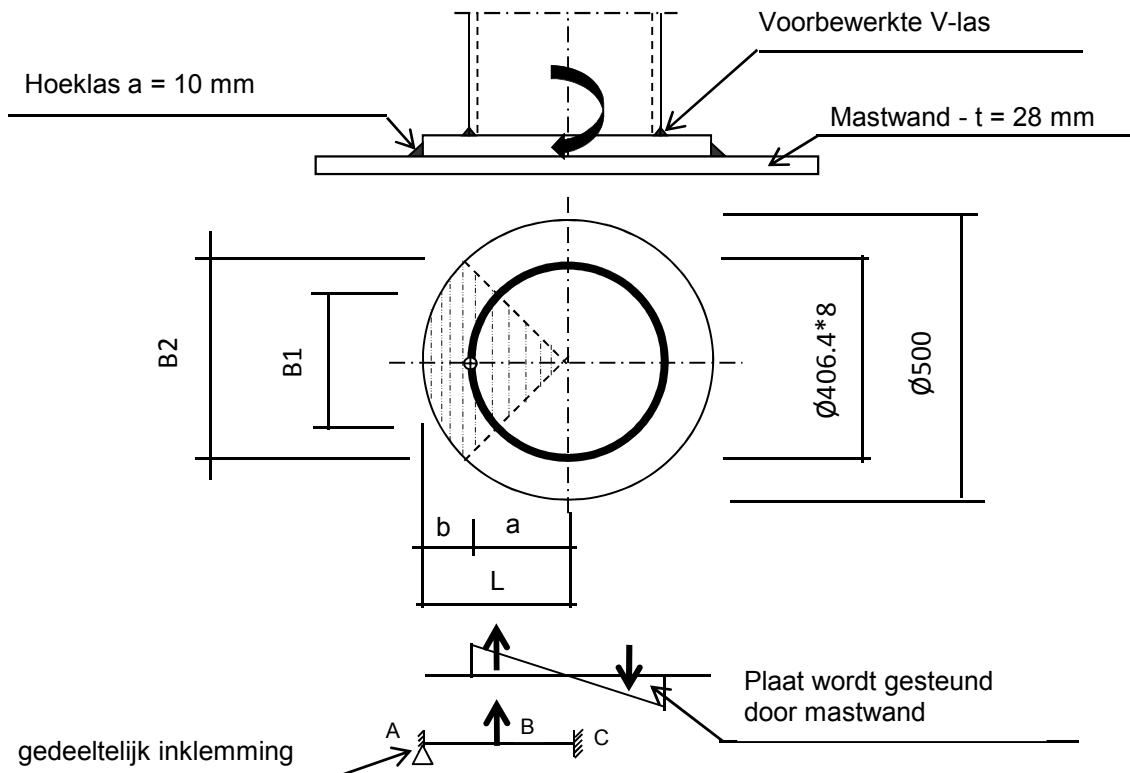
$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Buis 406,4*8 aan de versterkingsplaat

Lassen : Rondom voorbewerkte V- las met volledige doorsnede doorlassen

Berekening versterkingsplaat



Plaat rond 500 * 25 - S355

Buis Ø406,4 * 8 - S355 ;
 $A = 10013 \text{ mm}^2$
 $W = 978046 \text{ mm}^3$
 $I = 198738928 \text{ mm}^4$
 $R = 203 \text{ mm}$

Hoeklas a = 10,0 mm
 $\gamma_{m,extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

Maatgevend belasting

$$M_{ed,max} = (M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2)^{0,5} = 142,0 \text{ kNm}$$

$$F_{Ed} = [((M_{Ed} * R_{buis} / I) * (1 + \cos 45^\circ)) / 2] * (A_{buis} / 4)$$

$$F_{Ed} = 310,1 \text{ kN}$$

$$a = R_{buis} = 203,2$$

$$b = R_{pl} - a = 46,8$$

$$B1 = 287,4 \text{ mm} ; \text{ Boog B1} = 319 \text{ mm}$$

$$B2 = 353,6 \text{ mm} ; \text{ Boog B2} = 393 \text{ mm}$$

$$\text{Percentage inklemming} = a_{las} / t_{pl} = 40,0\%$$

$$\text{Percentage vrij oplegging} = 60,0\%$$

Volledig opleggingg:

$$M_{A,Ed} = 0 \quad 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{B,Ed} = (F_{Ed} * b/2) * (2 - 3*b/L + b^3/L^3) = 10,49 \text{ kNm}$$

$$R_{A,Ed} = (F_{Ed} * a^2 / 2.L^3) * (b + 2.L) = 224,1 \text{ kN}$$

Volledig inklemming:

$$\begin{aligned} M_{A;Ed} &= (F_{Ed} * b * a^2 / L^2) = & 9,59 & \text{ kNm} \\ M_{B;Ed} &= (2 * F_{Ed} * a^2 * b^2 / L^3) = & 3,59 & \text{ kNm} \\ R_{A;Ed} &= F_{Ed} * (a / L)^2 * (1 + 2 * b / L) = & 281,6 & \text{ kN} \end{aligned}$$

Gedeeltelijk inklemming:

$$\begin{aligned} M_{A;Ed} &= 0,0 * 60,0\% + 9,6 * 40,0\% = 3,84 & \text{ kNm} \\ M_{B;Ed} &= 10,5 * 60,0\% + 3,6 * 40,0\% = 7,73 & \text{ kNm} \\ R_{A;Ed} &= 224,1 * 60,0\% + 281,6 * 40,0\% = 247,1 & \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{A;Rd} &= ((1/4) * t_{pl}^2 * \text{Boog B2} * 355 / 1,5) / 10^{-6} = & 14,52 & \text{ kNm} \\ M_{B;Rd} &= ((1/4) * t_{pl}^2 * \text{Boog B1} * 355 / 1,5) / 10^{-6} = & 11,80 & \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{A;Ed} / M_{A;Rd} &= 3,84 / 14,52 = 0,26 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\ \sigma_{b,A} &= 62,5 & \text{ N/mm}^2 \\ M_{B;Ed} / M_{B;Rd} &= 7,73 / 11,80 = 0,65 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\ \sigma_{b,B} &= 154,9 & \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Ter plaatse van buiten ring:

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 247,1 & \text{ kN} \\ \tau &= V_{Ed} * 1000 / t_{pl} * \text{Boog B2} = 25,2 & \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Ter plaatse van binnen ring :

$$\begin{aligned} \tau &= V_{Ed} * 1000 / t_{pl} * \text{Boog B1} = 31,0 & \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{vlg,max} &= \{ \sigma_b^2 + 3 * \tau^2 \}^{0,5} = 164,0 & \text{ N/mm}^2 \\ &< 237 \text{ MPa -- Voldoet} \end{aligned}$$

Controle spanningen in las.

Toetsing regel :

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed} &\leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} \\ f_{v,w,d} &= f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3)) \\ \gamma_M &= 1,25 ; \gamma_{m;extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)} \\ \text{Materiaal S 355} &\text{ ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9 \\ f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) &= 302 \text{ N/mm}^2 & 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Lassen hoeklas a = 10 mm rondom

Per mm las:

t.g.v buigspanning:

$$\sigma_1 = \tau_1 = \sigma_b * t / (1 * a * 2^{0,5}) = 110,5 & \text{ N/mm}^2$$

t.g.v schuifspanning:

$$\sigma_1 = \tau_1 = \pm \tau * t / (1 * a * 2^{0,5}) = 44,5 & \text{ N/mm}^2$$

Trace' VHZ - BWK

$$\begin{aligned}
 \sigma_{1,\max} &= 110,5 + 44,5 = 155,0 \quad \text{N/mm}^2 \\
 \tau_{1,\max} &= 110,5 - 44,5 = 66,0 \quad \text{N/mm}^2 \\
 \tau_2 &= 0 \\
 \sigma_{\text{Ed}} &= \{\sigma_1^2 + 3 * (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 192,6 \quad \text{N/mm}^2 \\
 \sigma_{\text{Ed}} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) &= 192,6 / 302,2 = 0,64 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_1 \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2} &= 155,0 / 244,8 = 0,63 < 1,0 \text{ -- Voldoet}
 \end{aligned}$$

9.3.1 - Controle capaciteit van de aansluiting - draagarm aan mast

Momentcapaciteit in het vlak

buis	d_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	1749,8	28,0	151459	S355	355	64169592
Plaat	500,0		196350	S355	355	12271846

$$M_{ip,1,Rd} = \{4,85 * (f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (\beta * k_p * g^{0,5})\} / \gamma_{M5}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\theta_1 = 90 \quad \text{graden} ; \quad \beta = d_i / d_0 = 0,29$$

$$\gamma = d_0 / 2 * t_0 = 31,2$$

$$n_p = \{N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0})\} + \{M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0})\}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 429,7 \quad \text{kN} \quad \text{drukkracht} \\ M_{0,Ed} = 15563,7 \quad \text{kNm} \end{array} \right\} \text{ t.g.v. max. belasting}$$

$$n_p = 0,69 \quad \text{of} \quad n_p = -0,675$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \quad (\text{trek}) ;$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2, \text{ voor } n_p > 0 \quad (\text{druk}) \text{ maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,65$$

$$M_{ip,1,Rd} = 466,7 \quad \text{kNm}$$

Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{ip,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((1 + 3 * \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 956,5 \quad \text{kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{ip,1,Rd} = 26,71 / 466,7 = 0,06 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Momentcapaciteit uit het vlak

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1 / \sin\theta_1) * (2,7 / (1 - 0,81 * \beta)) * k_p\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 211,6 \quad \text{kNm}$$

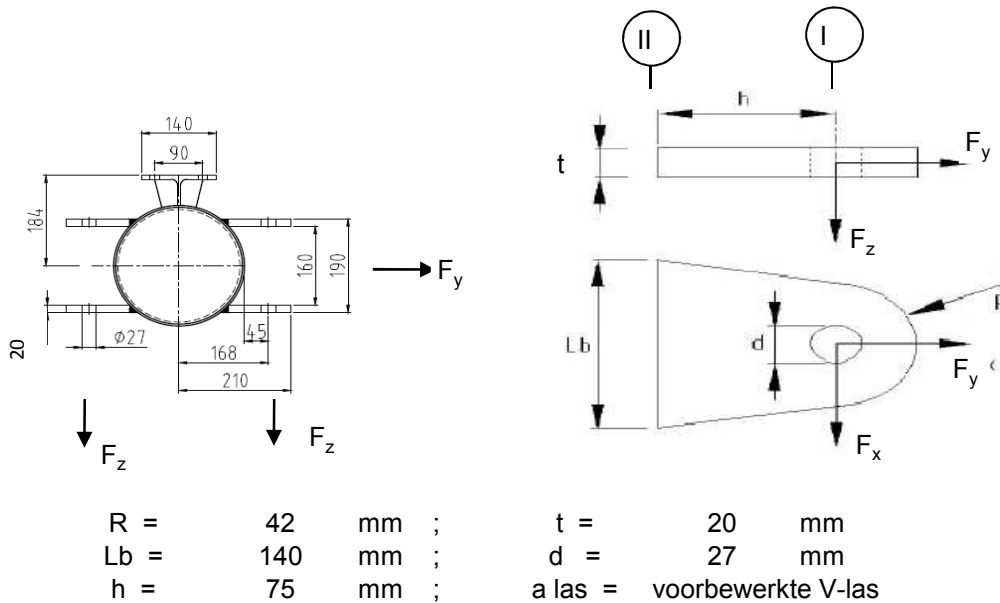
Pons controle ; Voor $d_1 \leq d_0 - 2 * t_0$:

$$M_{op,1,Rd} = \{(f_{y0} * t_0^2 * d_1^2 / 3^{0,5}) * ((3 + \sin\theta_1) / 4 * \sin^2\theta_1)\} / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 956,5 \quad \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} / M_{op,1,Rd} = 139,48 / 211,6 = 0,66 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

9.3.2 - Berekening clip "Retourstroomgeleider" (clip type 2)



Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$F_{z,Ed}$ kN
BG 1a - (wind (90 gr))	31,95	53,37	5,15
BG 3 - (wind (90) + ijs)	60,01	113,15	21,55
BG 1a - (wind (45 gr))	18,08	36,62	5,61
BG 3 - (wind (45) + ijs)	52,71	110,82	21,77
BG 1a - (wind (-45 gr))	33,41	55,36	5,12
BG 3 - (wind (-45) + ijs)	60,79	113,65	21,52

Maatgevend belastinggeval : BG 3 - (wind -45 gr + ijs)

Per clip :	30,39	56,83	21,52
------------	--------------	--------------	--------------

Doorsnede I ; ter hoogte van het gat

Per clip: $F_{Ed,max} = (F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2)^{0,5} = 57,6 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 51 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips

$A = 2800 \text{ mm}^2$	$N_{Rd} = A * f_y = 663 \text{ kN}$
$W_z = 6,53E+04 \text{ mm}^3$	$M_{z,Rd} = W_z * f_y = 15,5 \text{ kNm}$
$W_x = 9,33E+03 \text{ mm}^3$	$M_{x,Rd} = W_x * f_y = 2,2 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = A * f_y / 3^{0,5} = 382,6 \text{ kN}$
$N_{Ed} = 56,83 \text{ kN}$	$M_{z,Ed} = V_{x,Ed} * h = 2,28 \text{ kNm}$
$V_{z,Ed} = 21,52 \text{ kN}$	$M_{x,Ed} = V_{z,Ed} * h = 1,61 \text{ kNm}$
$V_{x,Ed} = 30,39 \text{ kN}$	

Trace' VHZ - BWK

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} / N_{Rd} &= 56,83 / 663 = 0,09 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_N &= 20,3 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{z,Ed} / M_{z,Rd} &= 2,28 / 15,5 = 0,15 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,z} &= 34,9 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{x,Ed} / M_{x,Rd} &= 1,61 / 2,2 = 0,73 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,x} &= 172,9 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{z,Ed} / V_{z,Rd} &= 21,52 / 383 = 0,06 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_z &= 7,7 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{x,Ed} / V_{x,Rd} &= 30,39 / 383 = 0,08 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_x &= 10,9 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maximale spanning

$$\sigma_{\max} = 228,1 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{\max}^2 + 3\tau_x^2 + 3\tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 229 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 * f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w * \gamma_M * \text{wortel}(3))$$

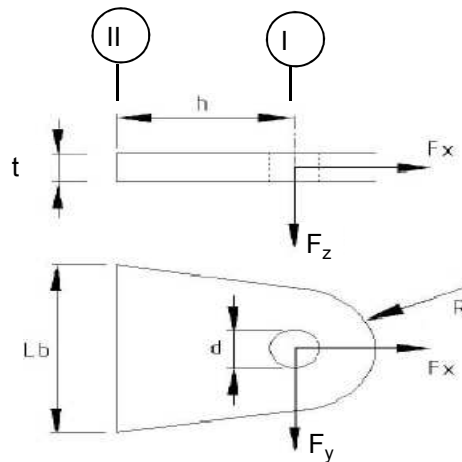
$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{m,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 * f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : Rondom voorberewte V- las met volledige doorsnede doorlassen

9.4 - Berekening Clip 17 - t.b.v installatie geleiders (op 0,5m hoogte)



$R = 55 \text{ mm}$; $t = 20 \text{ mm}$
 $Lb = 110 \text{ mm}$; $d = 27 \text{ mm}$
 $h = 55 \text{ mm}$; las : Voorbeverklte K-las

$\gamma_{m,extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)
 Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

	$F_{x,Ed}$ kN	$F_{y,Ed}$ kN	$F_{z,Ed}$ kN
BG 200 kN	141,42	141,42	0,00
of	0,00	200,00	

Doorsnede I ; ter hoogte van de gat (twee clips)

Per clip: $F_{Ed,max} = 0,5 * (F_{y,Ed}^2 + F_{x,Ed}^2)^{0,5} = 100,0 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 60 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips (twee clips)

$A = 2200 \text{ mm}^2$	$N_{Rd} = A * f_y = 521 \text{ kN}$
$W_y = 4,03E+04 \text{ mm}^3$	$M_{x,Rd} = W_y * f_y = 9,5 \text{ kNm}$
$W_z = 7,33E+03 \text{ mm}^3$	$M_{y,Rd} = W_z * f_y = 1,7 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = A * f_y / 3^{0,5} = 300,6 \text{ kN}$
$N_{Ed} = 70,71 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = V_{y,Ed} * h = 3,889 \text{ kNm}$
$V_{y,Ed} = 70,71 \text{ kN}$	

Trace' VHZ - BWK

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} / N_{Rd} &= 70,71 / 521 = 0,14 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_N &= 32,1 \text{ N/mm}^2 \\
 M_{y,Ed} / M_{y,Rd} &= 3,89 / 10 = 0,41 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,y} &= 96,4 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{z,Ed} / V_{z,Rd} &= 70,71 / 301 = 0,24 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_y &= 32,1 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maximale buigspanning

$$\sigma_{b,max} = \{ 32,1 + 96,4 \} = 128,6 \text{ N/mm}^2$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,max}^2 + 3 \cdot \tau_y^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 140 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa -- Voldoet}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 0,00 \text{ kN} & M_{y,Ed} &= V_{y,Ed} \cdot h = 5,500 \text{ kNm} \\
 V_{y,Ed} &= 100,00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{y,Ed} / M_{y,Rd} &= 5,50 / 10 = 0,58 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \sigma_{b,y} &= 136,4 \text{ N/mm}^2 \\
 V_{z,Ed} / V_{z,Rd} &= 100,00 / 301 = 0,33 < 1,0 \text{ -- Voldoet} \\
 \tau_y &= 45,5 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

vergelijkingsspanning :

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,max}^2 + 3 \cdot \tau_y^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 157 \text{ N/mm}^2 < 230 \text{ MPa -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las.

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{M,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \qquad 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : Voorbewerkte K- las met volledige doorsnede doorlassen

9.4.1 - Controle capaciteit van de aansluiting

Plaats van de aansluiting ; 0,5m boven voetplaat

buis/plaat	d _i / h _i (mm)	t _i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f _y	W _b (mm ³)
0	2716,3	32,0	269859	S355	355	178989953
clip	110,0	20,0	2200	S355	355	40333

$$N_{i,Rd} = \{ (5 * k_p * f_{y0} * t_0^2) * (1 + 0,25 * \eta) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,i,Rd} = h_i * N_{i,Rd} ; \quad M_{op,i,Rd} = 0$$

Toepassingsgebied:

$$\eta = h_i / d_0 \leq 4 \quad h_i / d_0 = 0,04 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\eta = h_i / d_0 = 0,04$$

$$n_p = \{ N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0}) \} + \{ M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0}) \}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 1128,0 \text{ kN} \\ M_{0,Ed} = 41892,1 \text{ kNm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{drukkracht} \\ \text{t.g.v. max. belasting} \end{array}$$

$$n_p = 0,67 \quad \text{of} \quad n_p = -0,648$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \text{ (trek)}$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \text{ (druk) maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,66$$

$$N_{1,Rd} = 812,2 \text{ kN} \quad \text{--->} \quad > N_{1,Ed} ; \text{ voldoet}$$

$$N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 70,71 / 812,2 = 0,09 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$M_{op,i,Rd} = 89,3 \text{ kNm} \quad \text{--->} \quad > M_{1,Ed} ; \text{ voldoet}$$

$$M_{1,Ed} / M_{op,1,Rd} = 3,89 / 89,3 = 0,04 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Pons controle

$$\sigma_{\max,t_i} = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) * t_i \leq \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5}$$

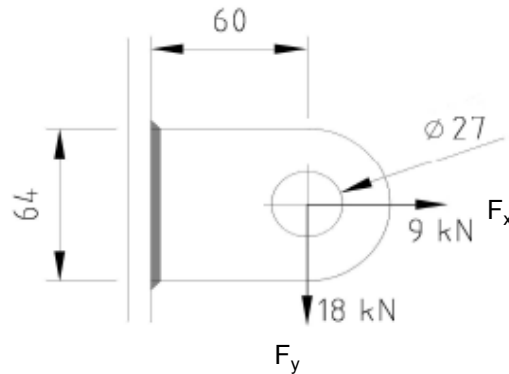
$$N_{1,Ed} = 70,71 \text{ kN} ; \quad M_{1,Ed} = 3,889 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{\max,t_i} = & 2571 \text{ N/mm}^2 \\ \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5} = & 8745 \text{ N/mm}^2 \text{ ---> voldoet} \end{array}$$

9.5 - Berekening clip hulprail - clip 8

Clip hoogte:

66,43 - 64,93 - 56,8 - 54,3 - 46,8 - 44,3 - 36,8 en 34,3 m



R =	32	mm	;	t =	20	mm
Lb =	64	mm	;	d =	27	mm
h =	60	mm	;	a las =	5	mm - hoeklas

$\gamma_{m;extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)

Materiaal - S 355 ; $f_y = 355 / 1,5 = 236,7 \text{ N/mm}^2$

$F_{x,Ed}$	$F_{y,Ed}$	$F_{z,Ed}$
kN	kN	kN
9,00	18,00	0,00

Doorsnede I ; ter hoogte van het gat

Per clip: $F_{Ed,max} = (F_{y,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)^{0,5} = 20,1 \text{ kN}$

$\tau_{toel} = (355 / 1,5) / 3^{0,5} = 137 \text{ N/mm}^2$

$\tau = F_{Ed,max} / (2 * (t * (R - d/2))) = 27 \text{ N/mm}^2 < 137 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Doorsnede II ; per clips

A =	1280	mm ²	$N_{Rd} = A * f_y =$	303	kN
$W_y =$	1,37E+04	mm ³	$M_{x,Rd} = W_y * f_y =$	3,2	kNm
$W_z =$	4,27E+03	mm ³	$M_{y,Rd} = W_z * f_y =$	1,0	kNm
			$V_{Rd} = A * f_y / 3^{0,5} =$	174,9	kN

$N_{Ed} =$	9,00	kN	$M_{y,Ed} = V_{y,Ed} * h =$	1,080	kNm
$V_{y,Ed} =$	18,00	kN			

$N_{Ed} / N_{Rd} = 9,00 / 303 = 0,03 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$
 $\sigma_N = 7,0 \text{ N/mm}^2$

$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 1,08 / 3 = 0,33 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$
 $\sigma_{b,y} = 79,1 \text{ N/mm}^2$

$V_{z,Ed} / V_{z,Rd} = 18,00 / 175 = 0,10 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$
 $\tau_y = 14,1 \text{ N/mm}^2$

Maximale buigspanning

$$\sigma_{b,max} = \{ 7,0 + 79,1 \} = 86,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,max}^2 + 3 \cdot \tau_y^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 90 \text{ N/mm}^2 < 237 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \text{ of } \sigma_1 = \sigma_{loodrecht} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \gamma_{m,extra} = 1,5 \text{ (extra materiaalfactor)}$$

$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \text{ N/mm}^2 \text{ en } \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 302 \text{ N/mm}^2 \quad 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 245 \text{ N/mm}^2$$

Lassen : hoeklas 5 mm rondom

$$a = 5 \text{ mm} \quad t = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Per mm las: } \sigma_1 = \tau_1 = \sigma_{max} \cdot t / (2 \cdot a \cdot 2^{0,5})$$

$$\tau_2 = \tau_{max} \cdot t / (2 \cdot a)$$

$$\sigma_1 = 121,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_1 = 121,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_2 = 0 \quad 28,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = \{\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2)\}^{0,5} = 248,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 248,4 / 302,2 = 0,82 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad 121,8 / 244,8 = 0,50 < 1,0 \text{ -- Voldoet}$$

9.5.1 - Controle capaciteit van de aansluiting

Clip op 34.3 meter hoogte - (diameter buis maximum)

buis/plaat	d_i / h_i (mm)	t_i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f_y	W_b (mm ³)
0	1589,8	28,0	137386	S355	355	52715966
clip	64,0	20,0	1280	S355	355	13653

$$N_{i,Rd} = \{ (5 * k_p * f_{y0} * t_0^2) * (1 + 0,25 * \eta) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,i,Rd} = h_i * N_{i,Rd} ; \quad M_{op,i,Rd} = 0$$

Toepassingsgebied:

$$\eta = h_i / d_0 \leq 4 \quad h_i / d_0 = 0,04 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\eta = h_i / d_0 = 0,04$$

$$n_p = \{ N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0}) \} + \{ M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0}) \}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 355,1 \text{ kN} \\ M_{0,Ed} = 11445,1 \text{ kNm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{drukkracht} \\ \text{t.g.v. max. belasting} \end{array}$$

$$n_p = 0,62 \quad \text{of} \quad n_p = -0,604$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \text{ (trek)}$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \text{ (druk) maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,70$$

$$N_{1,Rd} = 655,4 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 9,00 / 655,4 = 0,01 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$M_{op,i,Rd} = 41,9 \text{ kNm}$$

$$M_{1,Ed} / M_{op,1,Rd} = 1,08 / 41,9 = 0,03 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

Pons controle

$$\sigma_{\max,t_i} = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) * t_i \leq \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Ed} = 9,00 \text{ kN} ; \quad M_{1,Ed} = 1,080 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{ll} \sigma_{\max,t_i} = & 1723 \text{ N/mm}^2 \\ \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5} = & 7652 \text{ N/mm}^2 \end{array} \quad \text{---> voldoet}$$

Clip op 64,93 m hoogte -(wanddikte buis minimum / diameter maximum)

buis/plaat	d _i / h _i (mm)	t _i (mm)	A (mm ²)	kwaliteit	f _y	W _b (mm ³)
0	569,0	18,0	31158	S355	355	4160559
clip	64,0	20,0	1280	S355	355	13653

$$N_{i,Rd} = \{ (5 * k_p * f_{y0} * t_0^2) * (1 + 0,25 * \eta) \} / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,i,Rd} = h_i * N_{i,Rd} ; \quad M_{op,i,Rd} = 0$$

Toepassingsgebied:

$$\eta = h_i / d_0 \leq 4 \quad h_i / d_0 = 0,11 \quad \text{voldoet}$$

$$\gamma_{M5} = 1,50 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

$$\eta = h_i / d_0 = 0,11$$

$$n_p = \{ N_{0,Ed} / (A_0 * f_{y,0}) \} + \{ M_{0,Ed} / (W_0 * f_{y,0}) \}$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{0,Ed} = 36,9 \text{ kN} \\ M_{0,Ed} = 567,9 \text{ kNm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{drukkracht} \\ \text{t.g.v. max. belasting} \end{array}$$

$$n_p = 0,39 \quad \text{of} \quad n_p = -0,381$$

$$k_p = 1,0 \quad , \text{ voor } n_p \leq 0 \text{ (trek)}$$

$$k_p = 1,0 - 0,3 * n_p - 0,3 * n_p^2 \quad , \text{ voor } n_p > 0 \text{ (druk) maar } k_p \leq 1$$

$$k_p = 0,84$$

$$N_{1,Rd} = 330,5 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} / N_{1,Rd} = 9,00 / 330,5 = 0,03 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$M_{op,i,Rd} = 21,2 \text{ kNm}$$

$$M_{1,Ed} / M_{op,1,Rd} = 1,08 / 21,2 = 0,05 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

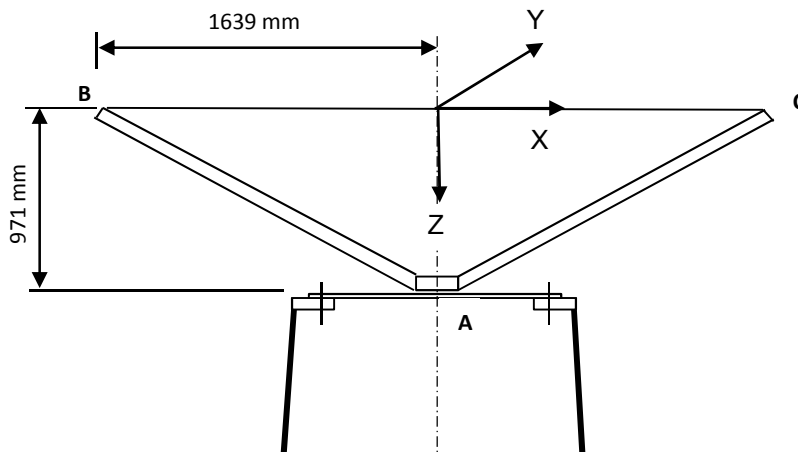
Pons controle

$$\sigma_{\max,t_i} = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) * t_i \leq \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Ed} = 9,00 \text{ kN} ; \quad M_{1,Ed} = 1,080 \text{ kNm}$$

$$\begin{array}{l} \sigma_{\max,t_i} = 1723 \text{ N/mm}^2 \\ \{ (f_{y,0} / 3^{0,5}) * 2 * t_0 \} / \gamma_{M5} = 4919 \text{ N/mm}^2 \end{array} \quad \text{---> voldoet}$$

9.6 - Ondersteuning hijsbalk op de top van de mast



Buis rond 500 * 18

Afstand aangrijpingspunt tot as = 1639 mm

Hoogte aangrijpingspunt boven ring = 971 mm

Verticale belasting $F_{z,Ed} = 35$ kN

Horizontale belasting $F_{x,Ed} = F_{y,Ed} = 15$ kN

	BG 1	BG 2	BG 3	BG 4
$F_{z;B,Ed}$	35	35	35	35
$F_{z;c,Ed}$	35	0	35	0
$F_{x;B,Ed}$	15	15	0	0
$F_{x;c,Ed}$	15	0	0	0
$F_{y;B,Ed}$	0	0	15	15
$F_{y;c,Ed}$	0	0	-15	0

Verticaal:	$R_{z,A}$ (kN)	70	35	70	35
Horizontaal:	$R_{x(y),A}$ (kN)	30	15	0	0
Moment:	$M_{y(x),A}$ (kNm)	29,13	71,93	0	57,365
Wringing:	$M_{z,A}$ (kNm)	0	0	49,17	24,585

Ringgegevens ;

D-uitwendig	500	mm
D-inwendig	300	mm
StC	360	mm
plaat dikte t =	30	mm

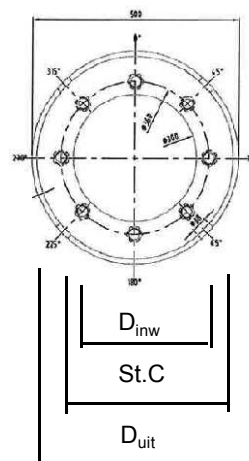
Staalkwaliteit S-355; $f_y = 355$ N/mm²

Aantal bouten 8

Bouten M24 - 8,8

M24 -8,8 :	$F_{t,Rd} = 203,03 / 1,5 = 135,4$	kN
	$F_{v,Rd} = 135,36 / 1,5 = 90,2$	kN

$\gamma_{m,extra} = 1,5$ (extra materiaalfactor)



controle bouten

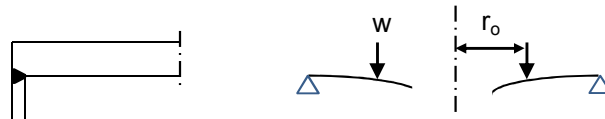
	BG 1	BG 2	BG 3	BG 4	
$F_{t,Ed}$ - kN	31,7	95,5	0,0	75,3	
$F_{v,Ed}$ - kN	3,8	1,9	34,1	17,1	
$F_{t,Ed} / F_{t,Rd} =$	0,23	0,71	0,00	0,56	< 1 ; voldoet
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} =$	0,04	0,02	0,38	0,19	< 1 ; voldoet
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1,4 * F_{t,Rd} =$	0,21	0,52	0,38	0,59	< 1 ; voldoet

Controle ring :

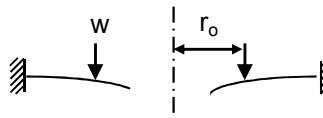
maatgevend belastinggeval : BG2.

Ten gevolge van verticale belasting ; $F_z = 35$ kN

Voor de formule zie: Roark's formulas for stress & strain - Tabel 11,2 - 1



Voor de formule zie: Roark's formulas for stress & strain - Tabel 11,2 - 1e



De ring wordt ondersteunt door buis met een las gelijk aan de dikte van de buis.

Verdeling van belasting:

Percentage inklemming (tabel 11,2-1e) = $t_{buis} / t_{pl} = 60,0\%$

Percentage vrij oplegging = 40,0%

$W =$	35,0	kN		
$w_{(ro)} =$	31	N/mm'	$v =$	0,3
$a =$	250	mm	$E =$	210000 N/mm ²
$b =$	150	mm	$f_y =$	237 N/mm ²
$r_o =$	180	mm		

$$D = E \cdot t^3 / 12 \cdot (1 - v^2) = 519230769$$

$$C_1 = 0,5 \cdot (1 + v) \cdot ((b/a) \cdot \ln(a/b)) + 0,25 \cdot ((1 - v) \cdot ((a/b) - (b/a))) = 0,3859$$

$$C_4 = 0,5 \cdot [(1 + v) \cdot (b/a) + (1 - v) \cdot (a/b)] = 0,9733$$

$$C_7 = 0,5 \cdot (1 - v^2) \cdot ((a/b) - (b/a)) = 0,4853$$

$$L_3 = (r_o/4a) \cdot \{[(r_o/a)^2 + 1] \cdot \ln(a/r_o) + (r_o/a)^2 - 1\} = 0,0031$$

$$L_6 = (r_o/4a) \cdot [(r_o/a)^2 - 1 + 2 \cdot \ln(a/r_o)] = 0,0316$$

$$L_9 = (r_o/a) \cdot \{0,5 \cdot (1 + v) \cdot \ln(a/r_o) + 0,25 \cdot (1 - v) \cdot [1 - (r_o/a)^2]\} = 0,2144$$

$$F_7 = 0,5 \cdot (1 - v^2) \cdot ((r/b) - (b/r)) ; \text{ en voor } r = r_o = 0,1668$$

$$\theta_b = w \cdot a^2 \cdot L_6 / D \cdot C_4 = 0,0001$$

$$M_{ra} = \text{percentage inkl.} \cdot w \cdot a (L_9 - C_7 \cdot L_6 / C_4) = 922 \text{ Nmm/mm'}$$

$$Q_a = w \cdot r_o / a = 22 \quad \text{N/mm'}$$

Ten gevolge van moment ; $M_{y,Ed} = 71,93 \quad \text{kNm}$

$$w = F_{\text{bout,max}} / (2 \cdot \pi \cdot r_o / n_{\text{bout}})$$

$$w = (4 \cdot M_{y,Ed} \cdot 1000 / (360 \cdot 8)) / (2\pi \cdot 180 / 8) = 707 \quad \text{N/mm'}$$

$$M_{ra} = \text{percentage inkl.} \cdot w \cdot a (L_9 - C_7 \cdot L_6 / C_4) = 21060 \quad \text{Nmm/mm'}$$

$$M_{ra;\text{max},Ed} = 21982 \quad \text{Nmm/mm'}$$

$$Q_a = w \cdot r_o / a = 509 \quad \text{N/mm'}$$

$$Q_{a\text{max}} = 531$$

$$M_{Rd} = (1/6) \cdot 1 \cdot t^2 \cdot f_y = 35500 \quad \text{Nmm/mm'}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 21982 / 35500 = 0,62 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_b = 146,5 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_z = w_{\text{tot}} / t = 531 / 30 = 17,70 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{vlg} = (\sigma_{b,\text{max}}^2 + 3 \cdot \tau_z^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{vlg} = 150 \quad \text{N/mm}^2 < 237 \quad \text{MPa -- Voldoet}$$

Controle spanning in de buis

Buis Ø500 * 18 - S355 ;

$$A = 27256 \quad \text{mm}^2 \quad N_{Ed} = A \cdot f_y = 9676 \quad \text{kN}$$

$$W_y = W_z = 3,17E+06 \quad \text{mm}^3 \quad M_{y,Ed} = W_y \cdot f_y = 1125,6 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 35 \quad \text{kN}$$

$$M_{y,Ed} = 71,93 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 35,00 / 9676 = 0,00 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_N = 1,3 \quad \text{N/mm}^2$$

$$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} = 71,93 / 1126 = 0,06 < 1,0 \quad \text{-- Voldoet}$$

$$\sigma_{b,y} = 22,7 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} = 24,0 \quad \text{N/mm}^2$$

Controle spanningen in las:

Toetsing regel :

$$\sigma_{Ed} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \text{of} \quad \sigma_1 = \sigma_{\text{loodrecht}} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$f_{v,w,d} = f_u / (\beta_w \cdot \gamma_M \cdot \text{wortel}(3))$$

$$\gamma_M = 1,25 ; \quad \gamma_{M;\text{extra}} = 1,5 \quad (\text{extra materiaalfactor})$$

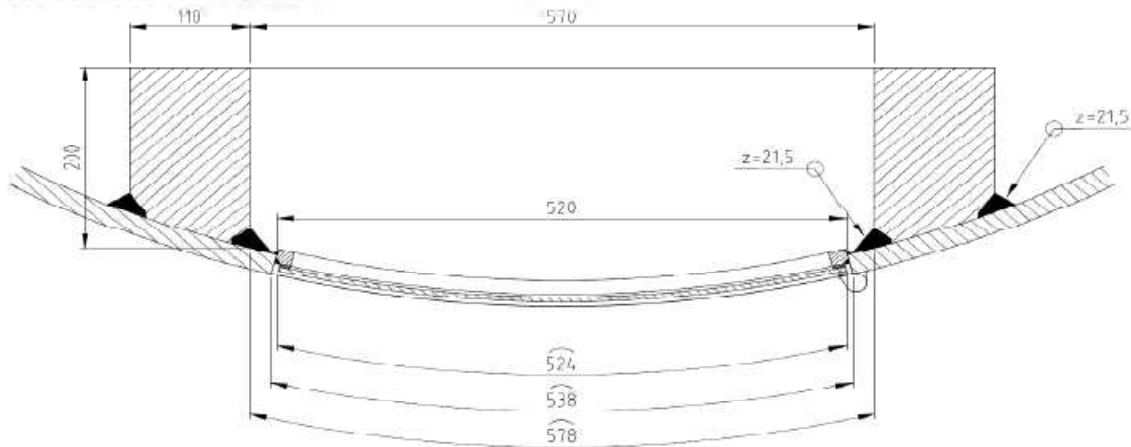
$$\text{Materiaal S 355 ----> } f_u = 510 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{en} \quad \beta_w = 0,9$$

$$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 302 \quad \text{N/mm}^2 \quad 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} = 245 \quad \text{N/mm}^2$$

Lassen : Rondom voorbewerkte V- las met volledige doorsnede doorlassen

9.7 - Berekening versterking deur

Geometrie versterking deur



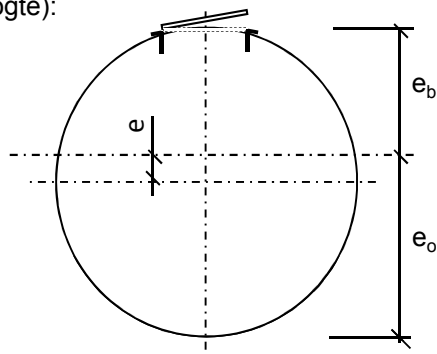
Doorsnede ter hoogte van de hart opening (1,225m hoogte):

Buisdiameter : 2692 mm
dikte t ; 32 mm

$A_{\text{buis}} = 267430 \text{ mm}^2$
 $A_{\text{versterking}} = 40756 \text{ mm}^2$
 $A_{\text{verlies}} = 16546 \text{ mm}^2$
 $A_{\text{tot}} = 291639 \text{ mm}^2$

$e = 89,3 \text{ mm}$
 $e_b = 1256,8 \text{ mm}$; $e_o = 1435,4 \text{ mm}$

$I_{\text{tot}} = 2,62\text{E}+11 \text{ mm}^4$
 $W_{\text{min}} = 1,82\text{E}+08 \text{ mm}^3$
 $W_{\text{max}} = 2,08\text{E}+08 \text{ mm}^3$



Krachten: Maximale krachten t.p.v. mastvoet - knoop 33 (inclusief 2^e orde effect)

$M_{\text{Ed}} = 42292 \text{ kNm}$; $N_{\text{Ed}} = 1128 \text{ kN}$

$\sigma_N = N_{\text{Ed}} / A_{\text{tot}} = 3,9 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_b = M_{\text{Ed}} / W_{\text{min}} = 231,9 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{\text{max}} = 3,9 + 231,9 = 235,8 \text{ N/mm}^2 < 355 \text{ MPa} \text{ -- Voldoet}$

Bijlage A

Rapport KEMA - 74100224-ETD/POL 12-00138 V10,0 - 18 -11-2013

bijlage AM, AM1 en AM2

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Appendix AM

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20535	70457	137541	20535	70457	-137541
	380C1F2 / 380C2F2	20567	69654	136873	20567	69654	-136873
	380C1F3 / 380C2F3	20605	68667	136107	20605	68667	-136107
	GW / opgw	2662	9796	18589	2662	9796	-18589
	Comp. gl	5578	18864	37162			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21292	72977	153790	21292	72977	-153790
	380C1F2 / 380C2F2	21293	72878	153790	21293	72878	-153790
	380C1F3 / 380C2F3	21296	72754	153794	21296	72754	-153794
	GW / opgw	2774	9509	19910	2774	9509	-19910
	Comp. gl	5746	19348	40834			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	35343	104308	216117	35343	104308	-216117
	380C1F2 / 380C2F2	35350	104016	216079	35350	104016	-216079
	380C1F3 / 380C2F3	35357	103650	216048	35357	103650	-216048
	GW / opgw	10767	26780	54943	10767	26780	-54943
	Comp. gl	21759	53218	110749			
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	24366	73760	155468	24366	73760	-155468
	380C1F2 / 380C2F2	24367	73665	155476	24367	73665	-155476
	380C1F3 / 380C2F3	24369	73546	155489	24369	73546	-155489
	GW / opgw	3606	10784	22642	3606	10784	-22642
	Comp. gl	7412	21973	46464			
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	23267	68714	147358	23267	68714	-147358
	380C1F2 / 380C2F2	23267	68714	147358	23267	68714	-147358
	380C1F3 / 380C2F3	23267	68714	147358	23267	68714	-147358
	GW / opgw	3042	9033	19370	3042	9033	-19370
	Comp. gl	6308	18706	40115			
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20662	67118	135058	18727	130892	-213646
	380C1F2 / 380C2F2	20676	66676	134801	18849	124298	-204724
	380C1F3 / 380C2F3	20694	66130	134514	19025	115903	-193407
	GW / opgw	2690	9102	17936	2393	21512	-34167
	Comp. gl	5606	18081	36618			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21299	72551	153812	21031	79758	-157648
	380C1F2 / 380C2F2	21299	72490	153820	21069	78952	-156960
	380C1F3 / 380C2F3	21300	72414	153833	21114	77961	-156170
	GW / opgw	2776	9428	19903	2717	10900	-20986
	Comp. gl	5747	19246	40842			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	35368	103053	216039	34506	125330	-231326
	380C1F2 / 380C2F2	35371	102877	216046	34616	122818	-228850
	380C1F3 / 380C2F3	35374	102654	216063	34753	119723	-225945
	GW / opgw	10774	26383	54949	10537	33112	-58712
	Comp. gl	21766	52709	110823			
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	24371	73349	155521	24179	79984	-158123
	380C1F2 / 380C2F2	24371	73290	155533	24207	79259	-157612
	380C1F3 / 380C2F3	24372	73215	155550	24240	78367	-157033
	GW / opgw	3607	10709	22648	3568	11965	-23268
	Comp. gl	7413	21876	46482			
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	18836	124973	205636	18836	124973	-205636
	380C1F2 / 380C2F2	18960	118865	197393	18960	118865	-197393
	380C1F3 / 380C2F3	19137	111112	186984	19137	111112	-186984
	GW / opgw	2405	20427	32676	2405	20427	-32676
	Comp. gl	5154	31950	53370			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21065	79033	157027	21065	79033	-157027
	380C1F2 / 380C2F2	21099	78306	156438	21099	78306	-156438
	380C1F3 / 380C2F3	21139	77413	155764	21139	77413	-155764
	GW / opgw	2724	10748	20826	2724	10748	-20826
	Comp. gl	5698	20776	41529			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	34605	123071	229096	34605	123071	-229096
	380C1F2 / 380C2F2	34705	120802	226938	34705	120802	-226938
	380C1F3 / 380C2F3	34828	118007	224416	34828	118007	-224416
	GW / opgw	10564	32447	58144	10564	32447	-58144
	Comp. gl	21553	60006	113147			
4	380C1F1 / 380C2F1	24204	79332	157662	24204	79332	-157662

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Appendix AM

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	24228	78678	157228	24228	78678	-157228
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	24257	77871	156739	24257	77871	-156739
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	3573	11840	23166	3573	11840	-23166
	Comp. gl	7381	23236	46801			
1a	380C1F1 / 380C2F1	18727	130892	213646	20662	67118	-135058
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	18849	124298	204724	20676	66676	-134801
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	19025	115903	193407	20694	66130	-134514
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2393	21512	34167	2690	9102	-17936
	Comp. gl	5123	33407	55358			
1b	380C1F1 / 380C2F1	21031	79758	157648	21299	72551	-153812
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	21069	78952	156960	21299	72490	-153820
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	21114	77961	156170	21300	72414	-153833
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2717	10900	20986	2776	9428	-19903
	Comp. gl	5691	20946	41666			
3	380C1F1 / 380C2F1	34506	125330	231326	35368	103053	-216039
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	34616	122818	228850	35371	102877	-216046
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	34753	119723	225945	35374	102654	-216063
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	10537	33112	58712	10774	26383	-54949
	Comp. gl	21522	60787	113655			
4	380C1F1 / 380C2F1	24179	79984	158123	24371	73349	-155521
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	24207	79259	157612	24371	73290	-155533
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	24240	78367	157033	24372	73215	-155550
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	3568	11965	23268	3607	10709	-22648
	Comp. gl	7376	23380	46883			
1a	380C1F1 / 380C2F1	15422	58488	111876	15422	58488	-111876
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15461	57534	110885	15461	57534	-110885
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	15509	56365	109729	15509	56365	-109729
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	1988	8291	15363	1988	8291	-15363
	Comp. gl	4191	15495	29938			
1b	380C1F1 / 380C2F1	16205	59272	124401	16205	59272	-124401
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16208	59166	124383	16208	59166	-124383
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	16211	59032	124367	16211	59032	-124367
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2106	7664	15952	2106	7664	-15952
	Comp. gl	4364	15551	32691			
3	380C1F1 / 380C2F1	30398	93212	192322	30398	93212	-192322
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	30406	92905	192253	30406	92905	-192253
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	30415	92522	192185	30415	92522	-192185
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	10139	25649	52518	10139	25649	-52518
	Comp. gl	20458	50870	105713			
4	380C1F1 / 380C2F1	19350	61249	128638	19350	61249	-128638
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19352	61149	128635	19352	61149	-128635
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	19354	61024	128636	19354	61024	-128636
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2951	9163	19166	2951	9163	-19166
	Comp. gl	6056	18625	39283			
6	380C1F1 / 380C2F1	15721	49434	106011	15721	49434	-106011
Permanent, +10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15721	49434	106011	15721	49434	-106011
Permanent loads yg= 1.35	380C1F3 / 380C2F3	15721	49434	106011	15721	49434	-106011
	GW / opgw	2052	6441	13813	2052	6441	-13813
	Comp. gl	4257	13367	28666			
1a	380C1F1 / 380C2F1	15582	54545	108098	13806	126006	-203173
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	15602	54030	107684	13890	119001	-193370
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	15625	53398	107212	14016	110000	-180753
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2021	7466	14428	1768	21037	-33148
	Comp. gl	4227	14575	29100			
1b	380C1F1 / 380C2F1	16215	58815	124356	15857	67190	-130698
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16216	58751	124357	15905	66222	-129664
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	16217	58671	124361	15964	65038	-128458
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2108	7575	15928	2034	9312	-17581
	Comp. gl	4366	15442	32684			
3	380C1F1 / 380C2F1	30428	91900	192122	29451	116087	-211509
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	30432	91717	192115	29570	113337	-208524

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Appendix AM

Loadcases for tower strength (ultimate limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]
Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	30436 10146 20465	91487 25246 50355	192116 52512 105775	29719 9897	109946 32170	-204983 -56692
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	19357 19357 19358 2953 6057	60818 60757 60680 9084 18525	128650 128657 128669 19164 39295	19112 19147 19188 2906	68193 67364 66345 10470	-132842 -132104 -131256 -20062
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	13881 13969 14100 1776 3796	119720 113188 104813 19912 30324	194377 185223 173480 31571 49885	13881 13969 14100 1776	119720 113188 104813 19912	-194377 -185223 -173480 -31571
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	15900 15943 15996 2042 4299	66320 65450 64385 9129 17201	129767 128869 127826 17355 33862	15900 15943 15996 2042	66320 65450 64385 9129	-129767 -128869 -127826 -17355
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	29558 29667 29802 9924 20237	113615 111128 108065 31483 57832	208821 206198 203101 56078 108487	29558 29667 29802 9924	113615 111128 108065 31483	-208821 -206198 -203101 -56078
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	19143 19174 19210 2911 6017	67447 66700 65782 10328 19993	132177 131543 130817 19925 39846	19143 19174 19210 2911	67447 66700 65782 10328	-132177 -131543 -130817 -19925
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	13806 13890 14016 1768 3774	126006 119001 110000 21037 31888	203173 193370 180753 33148 52102	15582 15602 15625 2021	54545 54030 53398 7466	-108098 -107684 -107212 -14428
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	15857 15905 15964 2034 4290	67190 66222 65038 9312 17404	130698 129664 128458 17581 34071	16215 16216 16217 2108	58815 58751 58671 7575	-124356 -124357 -124361 -15928
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	29451 29570 29719 9897 20205	116087 113337 109946 32170 58639	211509 208524 204983 56692 109050	30428 30432 30436 10146	91900 91717 91487 25246	-192122 -192115 -192116 -52512
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	19112 19147 19188 2906 6011	68193 67364 66345 10470 20153	132842 132104 131256 20062 39963	19357 19357 19358 2953	60818 60757 60680 9084	-128650 -128657 -128669 -19164

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012) Appendix AM1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20699	65977	134441	20699	65977	-134441
	380C1F2 / 380C2F2	20708	65654	134296	20708	65654	-134296
	380C1F3 / 380C2F3	20720	65253	134139	20720	65253	-134139
	GW / opgw	2698	8869	17762	2698	8869	-17762
	Comp. gl	5614	17812	36486			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21296	72727	153795	21296	72727	-153795
	380C1F2 / 380C2F2	21297	72651	153801	21297	72651	-153801
	380C1F3 / 380C2F3	21299	72555	153811	21299	72555	-153811
	GW / opgw	2775	9462	19904	2775	9462	-19904
	Comp. gl	5747	19288	40837			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	24217	77768	160718	24217	77768	-160718
	380C1F2 / 380C2F2	24223	77516	160650	24223	77516	-160650
	380C1F3 / 380C2F3	24231	77203	160580	24231	77203	-160580
	GW / opgw	4560	14234	28537	4560	14234	-28537
	Comp. gl	9345	28197	57771			
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23664	71801	151809	23664	71801	-151809
	380C1F2 / 380C2F2	23665	71727	151819	23665	71727	-151819
	380C1F3 / 380C2F3	23666	71634	151835	23666	71634	-151835
	GW / opgw	3430	10310	21723	3430	10310	-21723
	Comp. gl	7060	21062	44641			
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	23267	68714	147358	23267	68714	-147358
	380C1F2 / 380C2F2	23267	68714	147358	23267	68714	-147358
	380C1F3 / 380C2F3	23267	68714	147358	23267	68714	-147358
	GW / opgw	3042	9033	19370	3042	9033	-19370
	Comp. gl	6308	18706	40115			
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20736	64612	133945	19712	91430	-161221
	380C1F2 / 380C2F2	20740	64426	133904	19820	88382	-157396
	380C1F3 / 380C2F3	20745	64192	133864	19961	84600	-152759
	GW / opgw	2707	8595	17608	2518	14071	-23956
	Comp. gl	5622	17489	36384			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21300	72397	153836	21124	77744	-156006
	380C1F2 / 380C2F2	21301	72350	153845	21150	77158	-155583
	380C1F3 / 380C2F3	21302	72290	153858	21180	76436	-155104
	GW / opgw	2777	9399	19904	2737	10478	-20559
	Comp. gl	5748	19209	40848			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	24242	76696	160509	23415	96871	-177798
	380C1F2 / 380C2F2	24245	76547	160498	23515	94559	-175168
	380C1F3 / 380C2F3	24249	76360	160492	23641	91710	-172042
	GW / opgw	4573	13832	28362	4282	21592	-36479
	Comp. gl	9357	27714	57666			
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23668	71479	151867	23538	76505	-153345
	380C1F2 / 380C2F2	23668	71433	151878	23557	75966	-153023
	380C1F3 / 380C2F3	23668	71374	151894	23579	75301	-152663
	GW / opgw	3431	10251	21730	3404	11206	-22118
	Comp. gl	7061	20986	44659			
1a Wind, 10 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19809	88691	157780	19809	88691	-157780
	380C1F2 / 380C2F2	19910	85922	154364	19910	85922	-154364

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012) Appendix AM1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	20042 2532 5408	82494 13529 23161	150243 23227 41795	20042 2532 5408	82494 13529 23161	-150243 -23227 -41795
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	21147 21170 21196 2742 5716	77217 76688 76036 10368 20350	155624 155265 154860 20456 41220	21147 21170 21196 2742 5716	77217 76688 76036 10368 20350	-155624 -155265 -154860 -20456 -41220
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	23505 23597 23711 4305 9035	94792 92703 90132 20827 35848	175430 173116 170378 35524 64462	23505 23597 23711 4305 9035	94792 92703 90132 20827 35848	-175430 -173116 -170378 -35524 -64462
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	23555 23572 23591 3408 7039	76021 75533 74930 11112 22031	153054 152784 152483 22050 44824	23555 23572 23591 3408 7039	76021 75533 74930 11112 22031	-153054 -152784 -152483 -22050 -44824
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	19712 19820 19961 2518 5384	91430 88382 84600 14071 23813	161221 157396 152759 23956 42604	20736 20740 20745 2707 5384	64612 64426 64192 8595 23813	-133945 -133904 -133864 -17608 -42604
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	21124 21150 21180 2737 5711	77744 77158 76436 10478 20474	156006 155583 155104 20559 41304	21300 21301 21302 2777 5711	72397 72350 72290 9399 20474	-153836 -153845 -153858 -19904 -41304
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	23415 23515 23641 4282 8998	96871 94559 91710 21592 36770	177798 175168 172042 36479 65509	24242 24245 24249 4573 8998	76696 76547 76360 13832 36770	-160509 -160498 -160492 -28362 -65509
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	23538 23557 23579 3404 7036	76505 75966 75301 11206 22140	153345 153023 152663 22118 44876	23668 23668 23668 3431 7036	71479 71433 71374 10251 22140	-151867 -151878 -151894 -21730 -44876
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	15631 15644 15659 2032 4238	53222 52852 52395 7191 14265	107089 106842 106565 14164 28881	15631 15644 15659 2032 4238	53222 52852 52395 7191 14265	-107089 -106842 -106565 -14164 -28881
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw	16211 16213 16215 2107	59002 58921 58819 7611	124364 124359 124356 15936	16211 16213 16215 2107	59002 58921 58819 7611	-124364 -124359 -124356 -15936

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012) Appendix AM1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
	Comp. gl	4365	15487	32685			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19175	65151	133662	19175	65151	-133662
	380C1F2 / 380C2F2	19184	64874	133539	19184	64874	-133539
	380C1F3 / 380C2F3	19194	64530	133405	19194	64530	-133405
	GW / opgw	3908	12761	25379	3908	12761	-25379
	Comp. gl	7997	25101	51130			
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	18642	59156	124693	18642	59156	-124693
	380C1F2 / 380C2F2	18644	59079	124696	18644	59079	-124696
	380C1F3 / 380C2F3	18645	58982	124703	18645	58982	-124703
	GW / opgw	2775	8662	18188	2775	8662	-18188
	Comp. gl	5701	17660	37345			
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	15721	49434	106011	15721	49434	-106011
	380C1F2 / 380C2F2	15721	49434	106011	15721	49434	-106011
	380C1F3 / 380C2F3	15721	49434	106011	15721	49434	-106011
	GW / opgw	2052	6441	13813	2052	6441	-13813
	Comp. gl	4257	13367	28666			
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15681	51673	106198	14568	82988	-143122
	380C1F2 / 380C2F2	15687	51465	106112	14665	79514	-138382
	380C1F3 / 380C2F3	15694	51208	106019	14797	75160	-132520
	GW / opgw	2043	6874	13917	1855	13161	-22006
	Comp. gl	4249	13902	28691			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	16218	58653	124362	15976	64778	-128204
	380C1F2 / 380C2F2	16218	58603	124366	16010	64081	-127542
	380C1F3 / 380C2F3	16219	58541	124374	16051	63227	-126778
	GW / opgw	2109	7544	15925	2057	8805	-16970
	Comp. gl	4366	15403	32687			
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19209	63980	133241	18249	87128	-156908
	380C1F2 / 380C2F2	19213	63820	133206	18353	84478	-153553
	380C1F3 / 380C2F3	19218	63620	133173	18488	81196	-149499
	GW / opgw	3923	12329	25138	3623	20729	-34628
	Comp. gl	8011	24589	50965			
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	18647	58821	124723	18478	64373	-127328
	380C1F2 / 380C2F2	18647	58774	124731	18503	63757	-126843
	380C1F3 / 380C2F3	18648	58713	124742	18531	63001	-126289
	GW / opgw	2775	8600	18190	2742	9652	-18786
	Comp. gl	5702	17581	37358			
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	14654	79867	138862	14654	79867	-138862
	380C1F2 / 380C2F2	14749	76687	134564	14749	76687	-134564
	380C1F3 / 380C2F3	14877	72714	129275	14877	72714	-129275
	GW / opgw	1866	12565	21161	1866	12565	-21161
	Comp. gl	4006	20558	36214			
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	16007	64151	127607	16007	64151	-127607
	380C1F2 / 380C2F2	16037	63524	127038	16037	63524	-127038
	380C1F3 / 380C2F3	16073	62756	126383	16073	62756	-126383
	GW / opgw	2063	8673	16820	2063	8673	-16820
	Comp. gl	4322	16695	33383			
3	380C1F1 / 380C2F1	18342	84746	153890	18342	84746	-153890

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Appendix AM1

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	18440 18566 3644 7657	82341 79371 19917 33468	150900 147305 33572 59360	18440 18566 3644 7657	82341 79371 19917 33468	-150900 -147305 -33572 -59360
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	18500 18522 18547 2746 5674	63819 63265 62582 9546 18707	126890 126476 126006 18691 37694	18500 18522 18547 2746 5674	63819 63265 62582 9546 18707	-126890 -126476 -126006 -18691 -37694
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	14568 14665 14797 1855 3984	82988 79514 75160 13161 21310	143122 138382 132520 22006 37236	15681 15687 15694 2043 36874	51673 51465 51208 6874 13917	-106198 -106112 -106019 -13917 -13917
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	15976 16010 16051 2057 4316	64778 64081 63227 8805 16842	128204 127542 126778 16970 33515	16218 16218 16219 2109 3923	58653 58603 58541 7544 12329	-124362 -124366 -124374 -15925 -25138
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	18249 18353 18488 3623 7620	87128 84478 81196 20729 34471	156908 153553 149499 34628 60580	19209 19213 19218 3923 7620	63980 63820 63620 12329 34471	-133241 -133206 -133173 -25138 -60580
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: -45 dgr	380C1F1 / 380C2F1 380C1F2 / 380C2F2 380C1F3 / 380C2F3 GW / opgw Comp. gl	18478 18503 18531 2742 5670	64373 63757 63001 9652 18828	127328 126843 126289 18786 37772	18647 18647 18648 2775 5670	58821 58774 58713 8600 18828	-124723 -124731 -124742 -18190 -37772

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20699	65977	134441	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	20708	65654	134296	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	20720	65253	134139	0	0	0
	GW / opgw	2698	8869	17762	0	0	0
	Comp. gl	5614	17812	36486	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21296	72727	153795	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	21297	72651	153801	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	21299	72555	153811	0	0	0
	GW / opgw	2775	9462	19904	0	0	0
	Comp. gl	5747	19288	40837	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	24217	77768	160718	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	24223	77516	160650	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	24231	77203	160580	0	0	0
	GW / opgw	4560	14234	28537	0	0	0
	Comp. gl	9345	28197	57771	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23664	71801	151809	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23665	71727	151819	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	23666	71634	151835	0	0	0
	GW / opgw	3430	10310	21723	0	0	0
	Comp. gl	7060	21062	44641	0	0	0
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	23267	68714	147358	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23267	68714	147358	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	23267	68714	147358	0	0	0
	GW / opgw	3042	9033	19370	0	0	0
	Comp. gl	6308	18706	40115	0	0	0
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	20736	64612	133945	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	20740	64426	133904	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	20745	64192	133864	0	0	0
	GW / opgw	2707	8595	17608	0	0	0
	Comp. gl	5622	17489	36384	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21300	72397	153836	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	21301	72350	153845	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	21302	72290	153858	0	0	0
	GW / opgw	2777	9399	19904	0	0	0
	Comp. gl	5748	19209	40848	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	24242	76696	160509	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	24245	76547	160498	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	24249	76360	160492	0	0	0
	GW / opgw	4573	13832	28362	0	0	0
	Comp. gl	9357	27714	57666	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23668	71479	151867	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23668	71433	151878	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	23668	71374	151894	0	0	0
	GW / opgw	3431	10251	21730	0	0	0
	Comp. gl	7061	20986	44659	0	0	0
1a Wind, 10 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19809	88691	157780	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19910	85922	154364	0	0	0

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
Permanent loads yg= 1.2 Wind angle: 90 dgr	380C1F3 / 380C2F3	20042	82494	150243	0	0	0
	GW / opgw	2532	13529	23227	0	0	0
	Comp. gl	5408	23161	41795	0	0	0
1b Wind, -20 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21147	77217	155624	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	21170	76688	155265	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	21196	76036	154860	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2742	10368	20456	0	0	0
	Comp. gl	5716	20350	41220	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23505	94792	175430	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23597	92703	173116	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	23711	90132	170378	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	4305	20827	35524	0	0	0
	Comp. gl	9035	35848	64462	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23555	76021	153054	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23572	75533	152784	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	23591	74930	152483	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	3408	11112	22050	0	0	0
	Comp. gl	7039	22031	44824	0	0	0
1a Wind, 10 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19712	91430	161221	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19820	88382	157396	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	19961	84600	152759	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2518	14071	23956	0	0	0
	Comp. gl	5384	23813	42604	0	0	0
1b Wind, -20 dgr	380C1F1 / 380C2F1	21124	77744	156006	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	21150	77158	155583	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	21180	76436	155104	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2737	10478	20559	0	0	0
	Comp. gl	5711	20474	41304	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23415	96871	177798	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23515	94559	175168	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	23641	91710	172042	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	4282	21592	36479	0	0	0
	Comp. gl	8998	36770	65509	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F1 / 380C2F1	23538	76505	153345	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	23557	75966	153023	0	0	0
Permanent loads yg= 1.2	380C1F3 / 380C2F3	23579	75301	152663	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	3404	11206	22118	0	0	0
	Comp. gl	7036	22140	44876	0	0	0
1a Wind, 10 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15631	53222	107089	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15644	52852	106842	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	15659	52395	106565	0	0	0
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2032	7191	14164	0	0	0
	Comp. gl	4238	14265	28881	0	0	0
1b Wind, -20 dgr	380C1F1 / 380C2F1	16211	59002	124364	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	16213	58921	124359	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	16215	58819	124356	0	0	0
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2107	7611	15936	0	0	0

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Transverse [N]	Longitudinal [N]
	Comp. gl	4365	15487	32685	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19175	65151	133662	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19184	64874	133539	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19194	64530	133405	0	0	0
	GW / opgw	3908	12761	25379	0	0	0
	Comp. gl	7997	25101	51130	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 0 dgr	380C1F1 / 380C2F1	18642	59156	124693	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	18644	59079	124696	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	18645	58982	124703	0	0	0
	GW / opgw	2775	8662	18188	0	0	0
	Comp. gl	5701	17660	37345	0	0	0
6 Permanent, +10 dgr Permanent loads yg= 1.35	380C1F1 / 380C2F1	15721	49434	106011	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15721	49434	106011	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15721	49434	106011	0	0	0
	GW / opgw	2052	6441	13813	0	0	0
	Comp. gl	4257	13367	28666	0	0	0
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	15681	51673	106198	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	15687	51465	106112	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	15694	51208	106019	0	0	0
	GW / opgw	2043	6874	13917	0	0	0
	Comp. gl	4249	13902	28691	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	16218	58653	124362	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	16218	58603	124366	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	16219	58541	124374	0	0	0
	GW / opgw	2109	7544	15925	0	0	0
	Comp. gl	4366	15403	32687	0	0	0
3 Wind+ice, -5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	19209	63980	133241	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	19213	63820	133206	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	19218	63620	133173	0	0	0
	GW / opgw	3923	12329	25138	0	0	0
	Comp. gl	8011	24589	50965	0	0	0
4 Construction/maintenance, +5 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 45 dgr	380C1F1 / 380C2F1	18647	58821	124723	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	18647	58774	124731	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	18648	58713	124742	0	0	0
	GW / opgw	2775	8600	18190	0	0	0
	Comp. gl	5702	17581	37358	0	0	0
1a Wind, 10 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	14654	79867	138862	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	14749	76687	134564	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	14877	72714	129275	0	0	0
	GW / opgw	1866	12565	21161	0	0	0
	Comp. gl	4006	20558	36214	0	0	0
1b Wind, -20 dgr Permanent loads yg=0.9 Wind angle: 90 dgr	380C1F1 / 380C2F1	16007	64151	127607	0	0	0
	380C1F2 / 380C2F2	16037	63524	127038	0	0	0
	380C1F3 / 380C2F3	16073	62756	126383	0	0	0
	GW / opgw	2063	8673	16820	0	0	0
	Comp. gl	4322	16695	33383	0	0	0
3	380C1F1 / 380C2F1	18342	84746	153890	0	0	0

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Loadcases for tower strength (special limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]	Vertical [N]	Trans verse [N]	Longitudinal [N]
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	18440	82341	150900	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	18566	79371	147305	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	3644	19917	33572	0	0	0
	Comp. gl	7657	33468	59360	0	0	0
4	380C1F1 / 380C2F1	18500	63819	126890	0	0	0
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	18522	63265	126476	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	18547	62582	126006	0	0	0
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2746	9546	18691	0	0	0
	Comp. gl	5674	18707	37694	0	0	0
1a	380C1F1 / 380C2F1	14568	82988	143122	0	0	0
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	14665	79514	138382	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	14797	75160	132520	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	1855	13161	22006	0	0	0
	Comp. gl	3984	21310	37236	0	0	0
1b	380C1F1 / 380C2F1	15976	64778	128204	0	0	0
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16010	64081	127542	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	16051	63227	126778	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2057	8805	16970	0	0	0
	Comp. gl	4316	16842	33515	0	0	0
3	380C1F1 / 380C2F1	18249	87128	156908	0	0	0
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	18353	84478	153553	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	18488	81196	149499	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	3623	20729	34628	0	0	0
	Comp. gl	7620	34471	60580	0	0	0
4	380C1F1 / 380C2F1	18478	64373	127328	0	0	0
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	18503	63757	126843	0	0	0
Permanent loads yg=0.9	380C1F3 / 380C2F3	18531	63001	126289	0	0	0
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2742	9652	18786	0	0	0
	Comp. gl	5670	18828	37772	0	0	0

W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Appendix AM2

Loadcases for tower deflection analyses (Servicability limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Transverse	Longitudinal	Vertical	Transverse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1a	380C1F1 / 380C2F1	17279	58927	117335	17279	58927	-117335
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17298	58429	116970	17298	58429	-116970
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	17320	57816	116556	17320	57816	-116556
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2244	8041	15633	2244	8041	-15633
	Comp. gl	4688	15792	31671			
1b	380C1F1 / 380C2F1	17918	63549	134475	17918	63549	-134475
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17919	63485	134478	17919	63485	-134478
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	17920	63404	134485	17920	63404	-134485
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2332	8213	17291	2332	8213	-17291
	Comp. gl	4828	16750	35482			
3	380C1F1 / 380C2F1	27294	84616	176414	27294	84616	-176414
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	27298	84424	176394	27298	84424	-176394
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	27303	84182	176378	27303	84182	-176378
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	7709	20637	42599	7709	20637	-42599
	Comp. gl	15603	41147	85989			
4	380C1F1 / 380C2F1	19851	62101	131369	19851	62101	-131369
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19852	62039	131376	19852	62039	-131376
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	19852	61960	131388	19852	61960	-131388
Wind angle: 0 dgr	GW / opgw	2876	8891	18744	2876	8891	-18744
	Comp. gl	5920	18179	38546			
1a	380C1F1 / 380C2F1	17351	56851	116000	15955	98185	-165875
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17360	56574	115867	16063	93713	-159762
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	17369	56231	115721	16214	88074	-152123
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2260	7613	15270	2033	15816	-25943
	Comp. gl	4703	15304	31383			
1b	380C1F1 / 380C2F1	17921	63272	134504	17768	67816	-136504
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17922	63232	134511	17790	67314	-136123
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	17922	63182	134521	17817	66698	-135690
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2333	8161	17290	2299	9081	-17880
	Comp. gl	4829	16683	35490			
3	380C1F1 / 380C2F1	27310	83788	176380	26752	98431	-186132
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	27311	83672	176387	26826	96772	-184515
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	27313	83525	176400	26917	94733	-182630
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	7714	20369	42597	7548	24967	-45349
	Comp. gl	15608	40805	86033			
4	380C1F1 / 380C2F1	19854	61831	131413	19742	66084	-132785
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19854	61792	131422	19759	65625	-132496
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	19854	61743	131435	19778	65059	-132171
Wind angle: 45 dgr	GW / opgw	2876	8841	18749	2853	9651	-19102
	Comp. gl	5920	18115	38560			
1a	380C1F1 / 380C2F1	16052	94169	160383	16052	94169	-160383
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16159	90057	154798	16159	90057	-154798
Permanent loads y _g = 1.0	380C1F3 / 380C2F3	16308	84886	147853	16308	84886	-147853
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2045	15061	24882	2045	15061	-24882

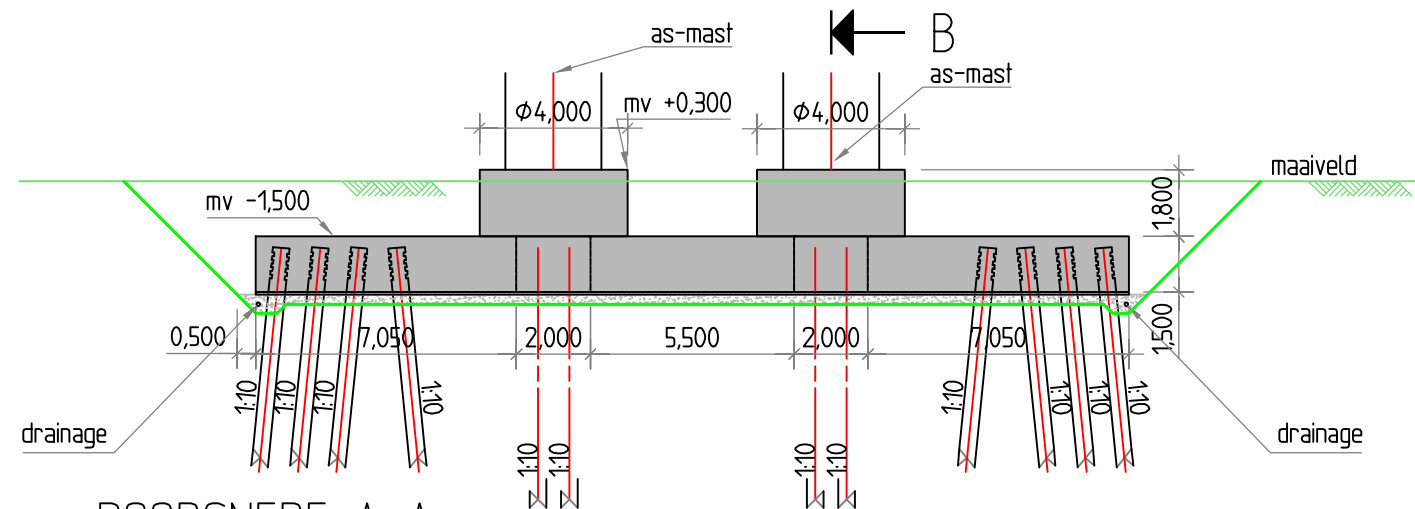
W2H400A+10 TOWER (rev 8.0, date: 23-11-2012)

Appendix AM2

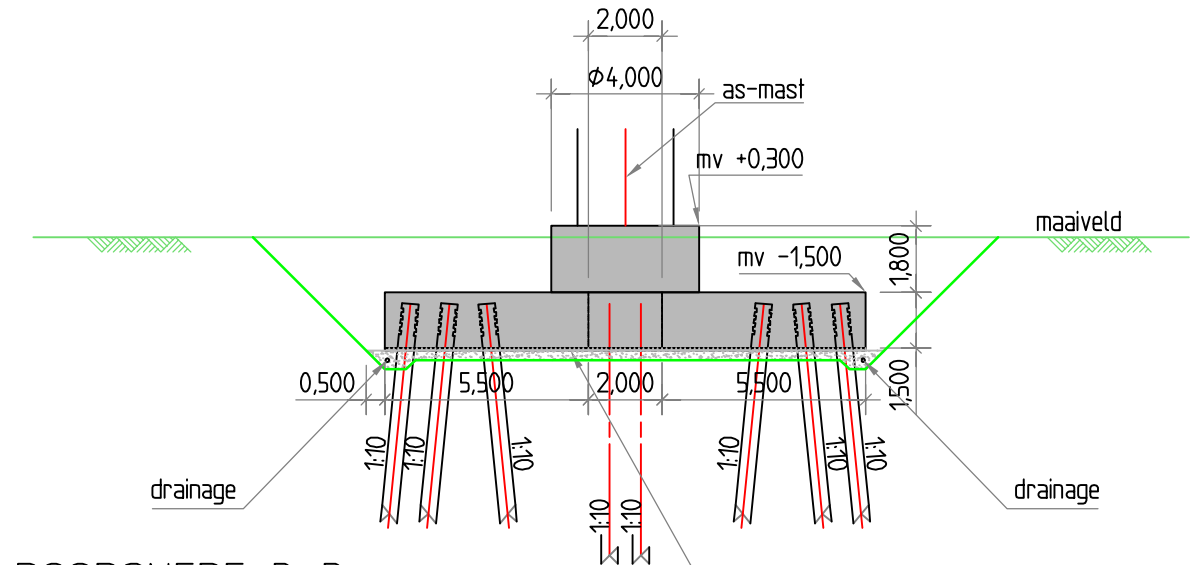
Loadcases for tower deflection analyses (Servicability limit state)

Loadcase according to 50341-3-15	Attachment point	AHEAD			BACK		
		Vertical	Trans verse	Longitudinal	Vertical	Trans verse	Longitudinal
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
	Comp. gl	4391	24164	41725			
1b	380C1F1 / 380C2F1	17788	67365	136160	17788	67365	-136160
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17808	66913	135836	17808	66913	-135836
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	17831	66356	135469	17831	66356	-135469
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2303	8986	17789	2303	8986	-17789
	Comp. gl	4801	17651	35835			
3	380C1F1 / 380C2F1	26819	96939	184675	26819	96939	-184675
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	26886	95443	183272	26886	95443	-183272
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	26966	93605	181644	26966	93605	-181644
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	7567	24507	44936	7567	24507	-44936
	Comp. gl	15461	45750	87759			
4	380C1F1 / 380C2F1	19757	65672	132524	19757	65672	-132524
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19771	65257	132280	19771	65257	-132280
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	19788	64744	132008	19788	64744	-132008
Wind angle: 90 dgr	GW / opgw	2856	9570	19041	2856	9570	-19041
	Comp. gl	5901	18997	38721			
1a	380C1F1 / 380C2F1	15955	98185	165875	17351	56851	-116000
Wind, 10 dgr	380C1F2 / 380C2F2	16063	93713	159762	17360	56574	-115867
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	16214	88074	152123	17369	56231	-115721
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2033	15816	25943	2260	7613	-15270
	Comp. gl	4365	25140	43060			
1b	380C1F1 / 380C2F1	17768	67816	136504	17921	63272	-134504
Wind, -20 dgr	380C1F2 / 380C2F2	17790	67314	136123	17922	63232	-134511
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	17817	66698	135690	17922	63182	-134521
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2299	9081	17880	2333	8161	-17290
	Comp. gl	4797	17757	35910			
3	380C1F1 / 380C2F1	26752	98431	186132	27310	83788	-176380
Wind+ice, -5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	26826	96772	184515	27311	83672	-176387
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	26917	94733	182630	27313	83525	-176400
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	7548	24967	45349	7714	20369	-42597
	Comp. gl	15439	46283	88127			
4	380C1F1 / 380C2F1	19742	66084	132785	19854	61831	-131413
Construction/maintenance, +5 dgr	380C1F2 / 380C2F2	19759	65625	132496	19854	61792	-131422
Permanent loads yg= 1.0	380C1F3 / 380C2F3	19778	65059	132171	19854	61743	-131435
Wind angle: -45 dgr	GW / opgw	2853	9651	19102	2876	8841	-18749
	Comp. gl	5899	19090	38768			

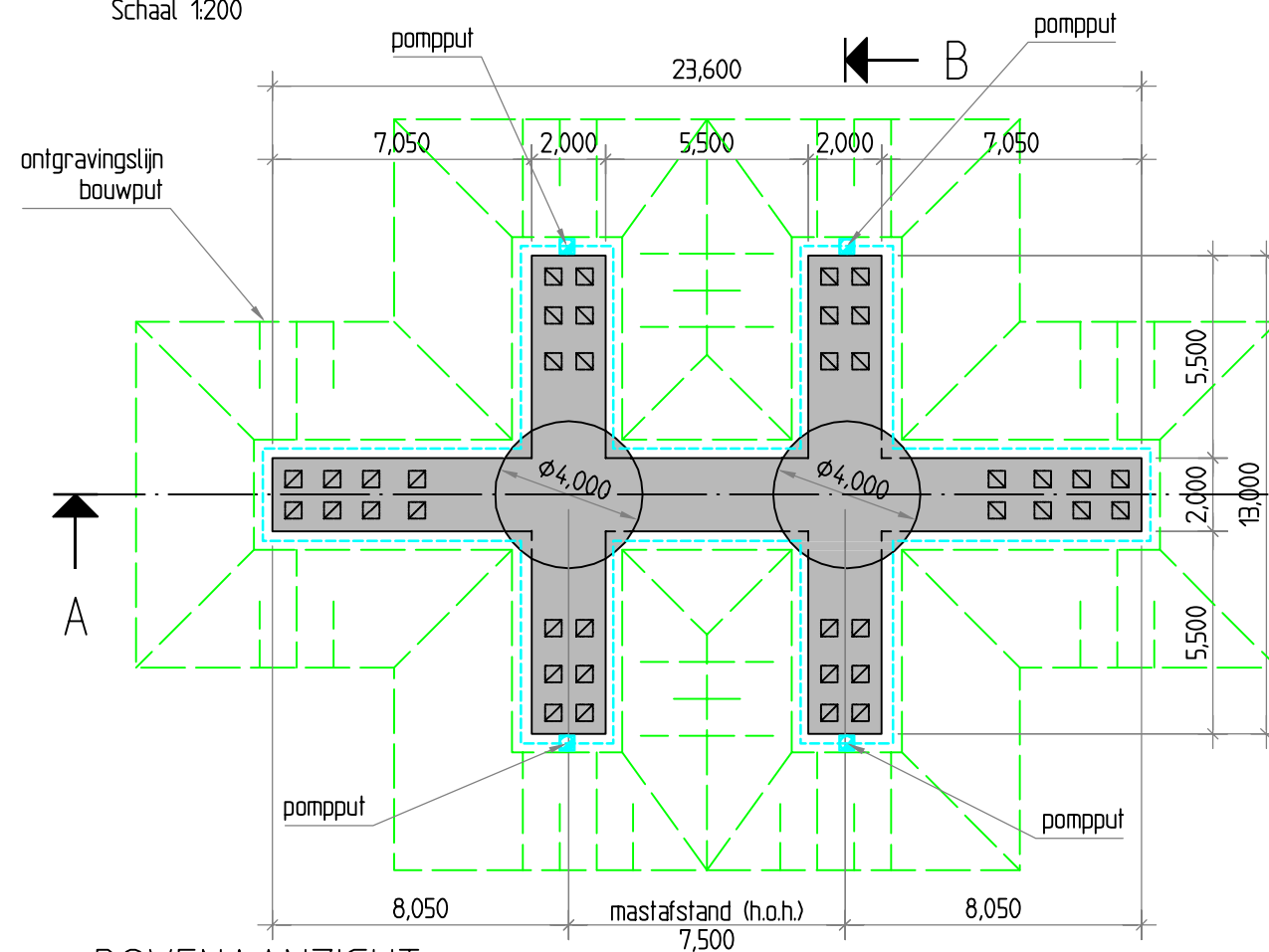
Bijlage 7
Constructietekeningen fundatie
wintrackmasten type C



DOORSNEDE A-A
Schaal 1:200



DOORSNEDE B-B
Schaal 1:200



BOVENAANZICHT
Schaal 1:200

OPMERKINGEN:

Aantal van deze funderingen op verschillende locaties tbv. masten type C = 14 stuks

Toe te passen palen: beton 450mm x 450mm, lengte n.t.b.

Toe te passen betonwerk;
- Betonkwaliteit onderbalk C28/35, montagebalk C35/45, milieuklasse XC2
- Wapeningsstaal kwaliteit B500B

wijzigingen rev. 02:

Ontgravingsprofiel aangepast, werkvloer, zandbed, drainage en pompputten toegevoegd.
Aantal aangepast (mast 126 heeft nu ook funderingstype C gekregen).

Combining Knowledge and Experience			
 COFELY FABRICOM GDF SUEZ Randstad 380kV Noordring		P. de Jager	A. Hogenboom
		Controleur	Vrijgegeven door
Omschrijving:	Definitief Ontwerp Mastfundaties Mastfundatie type C	03	
		02	Ontgravingen en voorz.
		01	AFW-0050: mastafstand
		Rev.	Wijziging
		Datum	Naam
Project:	Randstad 380kV Noordring	Schaal: 1:100	Formaat: A3
		Naam: R.G.J. Caspers	Datum: 19-07-2013
 Tennet Taking power further		Tekeningsnummer: R3N-TEK-0021blad 001	
AutoCAD filename::		Systnr:	

Bijlage 8
Constructieberekeningen fundatie
wintrackmasten type C

Constructieberekening mastfundatie type C

Project:
Randstad 380 kV Noordring

Opdrachtgever:
TenneT TSO

Revisie	Datum	Wijzigingen ten opzichte van vorige revisie
00	19-07-2013	Eerste uitgave
01	06-08-2013	Tweede uitgave
02	02-10-2013	T.b.v. 3 ^e uitgave

Documentnummer: R3N-OWR-0005

<i>Opsteller</i> A.L.A. van Noort Constructeur	<i>Controleur</i> P. de Jager Ontwerpmanager	<i>Vrijgever</i> Arjan Hogenboom Project Manager
--	--	--

Distributie

Naam	Bedrijf
Extern	
Guido Volman	TenneT TSO
Intern	
Arjan Hogenboom	BAM
Pieter de Jager	BAM
Eric van Rooijen	BAM
David van Loenen	BAM
Rob Bakker	BAM
Erwin ten Cate	BAM
Michael Desmet	Fabricom
Hein Pijnappel	Mott MacDonald

Beheer

De documentbeheerder van de combinatie verzorgt de distributie. Alleen houders van een geregistreerde kopie ontvangen automatisch aanvullingen en/of wijzigingen. Het is de verantwoordelijkheid van de houders het document up to date te houden. De laatste versie is altijd beschikbaar in ThinkProject!

Indien documenten worden geprint, geldt het volgende: een geregistreerde kopie is geldig vanaf de datum van uitgifte. Bij uitgifte van een document met een hoger revisienummer verliest de voorgaande versie automatisch haar geldigheid. Kopiehouders dienen het voorblad van een ongeldige versie te markeren met een diagonale lijn samen met de tekst 'vervallen'.

Neem bij twijfel over de geldende versie contact op met de documentbeheerder.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
1.1. Overzicht verschillende typen	4
1.1.1. Fundatietype A	5
1.1.2. Fundatietype B	5
1.1.3. Fundatietype C	6
1.1.4. Fundatietype D	6
1.1.5. Fundatietype F	7
1.2. Mastbeeld bij fundatie type C	8
1.3. Gerelateerde documenten	8
1.4. Openstaande punten	9
1.5. Revisiebeheer	9
2. Uitgangspunten en eisen	11
2.1. Uitgangspunten	11
2.2. Gehanteerde normen	11
2.3. Eisen	11
2.4. Vermoeiing	11
2.5. Materiaalgegevens	11
2.5.1. Betonkwaliteiten	11
2.5.2. Milieuklasse	12
2.5.3. Betondekking	12
2.5.4. Staalkwaliteiten	12
2.6. Veerconstante funderingspalen	12
3. Berekening poer type C	15
3.1. Geometrie	15
3.2. Belastingen en belastingcombinaties	15
3.2.1. Belastingfactoren	15
3.2.2. Belastinggevallen	16
3.2.3. Belastingcombinaties	18
3.3. Wisselende belastingen en vermoeiing	20
4. Verbinding mast-fundering	23
4.1. Berekening fundering	23
5. Bijlagen	24
Bijlage 1 Uitvoer SCIA Engineer – lage E-waarde (model 1)	25
Bijlage 2 Uitvoer SCIA Engineer – Matige E-waarde (model 2)	26

1. INLEIDING

De komende jaren werken het ministerie van Economische Zaken en TenneT aan de aanleg van een nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding in de Randstad. De nieuwe verbinding stelt de voorziening van elektriciteit in de Randstad veilig.

Het ontwerptraacé van de nieuwe Randstad 380 kV verbinding is sinds eind 2008 bekend. De plannen gaan uit van twee ringen, tussen Wateringen en Zoetermeer (de Zuidring) en tussen Zoetermeer en Beverwijk (de Noordring). Eind 2012 heeft Tennet de aanbesteding opgestart voor het gedeelte van de Noordring tussen station Vijfhuizen en Bleiswijk. Het contract is opgedeeld in twee percelen, waarbij de grens ligt bij Zuidelijke Ringvaart. Dit document heeft betrekking op perceel 2 (het zuidelijke gedeelte).

BAM heeft op 8 juli 2013 het contract ondertekend met TenneT voor het ontwerp en realiseren van perceel 2. Het voorliggende document is onderdeel van het Definitief Ontwerp en behandelt de mastfundaties. Dit betreft ook de masten welke ter plaatse van een OSP zijn gelokaliseerd. De overige onderdelen van de OSP's zijn in een afzonderlijk document berekend evenals de funderingspalen.

Dit rapport betreft poer C. Een overzicht van de verschillende poertypen is gegeven is de ontwerpbasis R3N-OWR-0001.

1.1. OVERZICHT VERSCHILLENDE TYPEN

Binnen het project komen verschillende typen masten voor.

De verschillen komen voort uit:

- aantal systemen dat een mastenpaar draagt, 2 systemen (2x380 kV) of 4 systemen (2x380 kV en 2x150 kV),
- de functie van de mast, Steunmast, Hoekmast of Eindmast,
- maximale veldlengte tussen masten 350 of 400 m,
- aanpassingen aan mast (b.v. +10 m extra hoogte).

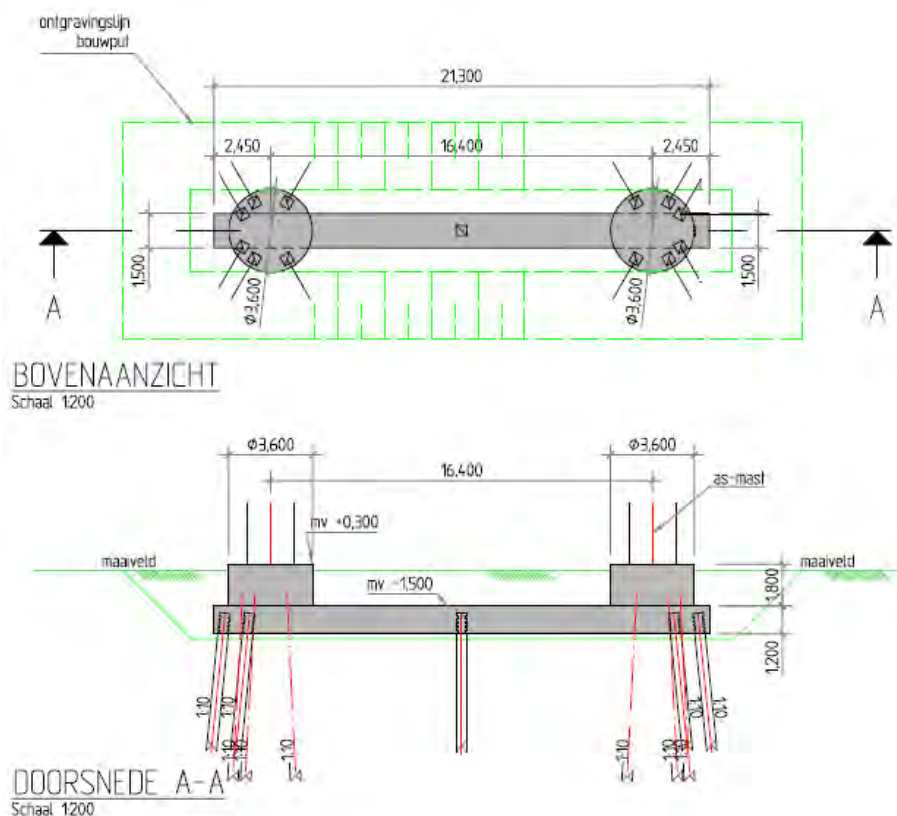
Elke mast heeft een eigen belastingpatroon. Na analyse van de verschillende belastingen en geometrische eisen zijn er uiteindelijk 5 mastfundatie typen bepaald. Met deze 5 typen is er voor elke mast een geschikte fundatie beschikbaar.

De fundatietypen zijn hieronder weergegeven.

1.1.1. FUNDATIETYPE A

Toegepast bij masttype:

W2S400 + 5
 W2S350 + 5
 W2S400A+10

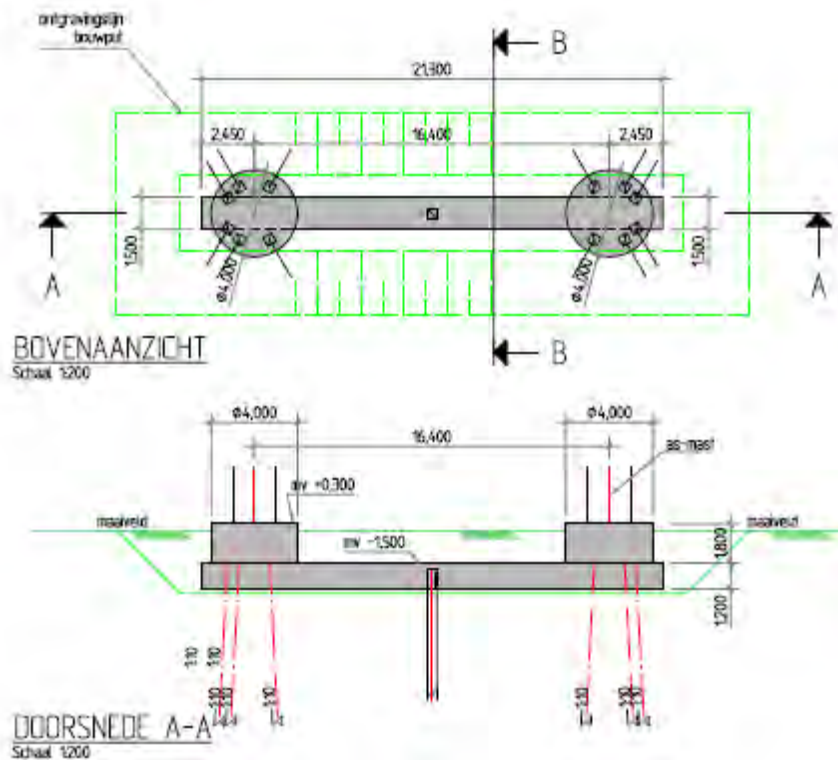


1.1.2. FUNDATIETYPE B

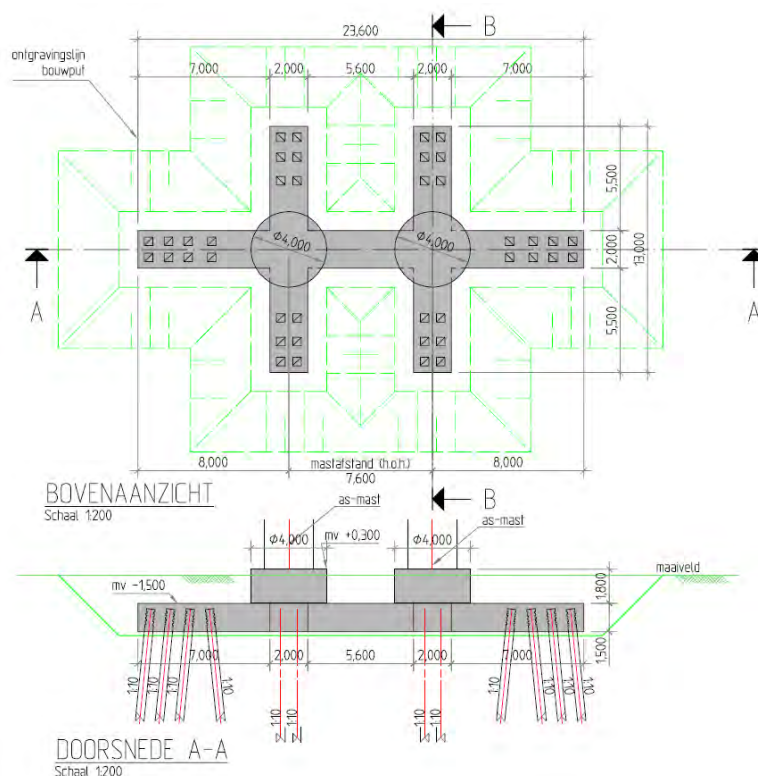
Toegepast bij masttype:

W4S400Z + 5
 W2S400 + 24
 W2S400 + 24
 W4S400Z + 14

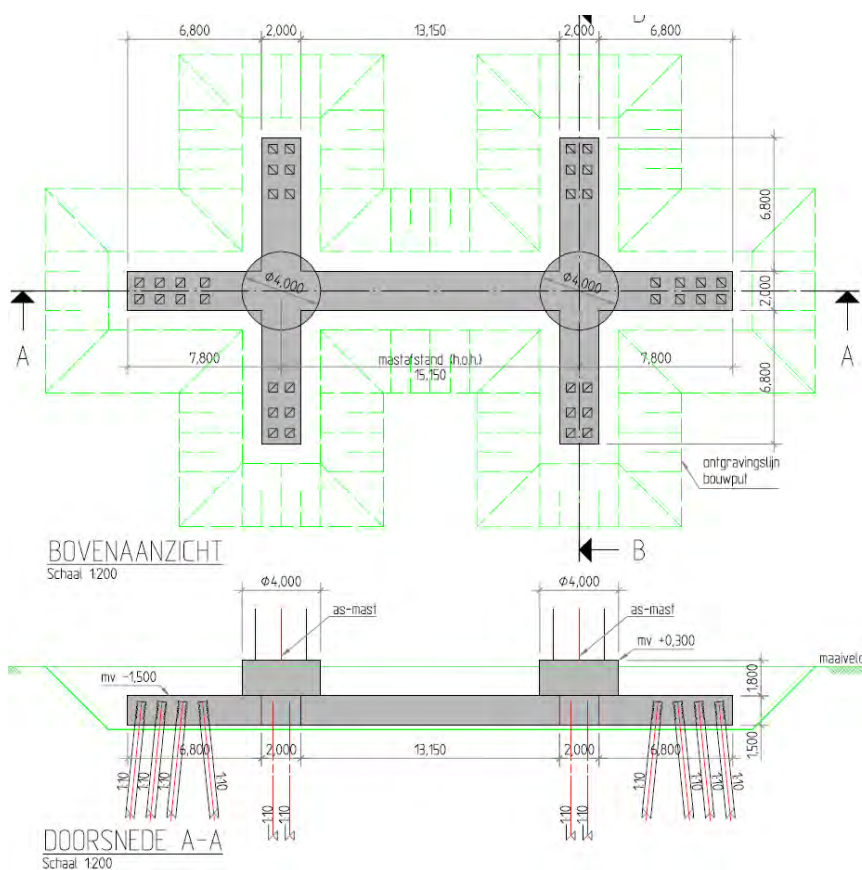
Opm: verschil met type A
 is diameter opstort.



Opm: mast 133 was in de oude nummering mast 82.



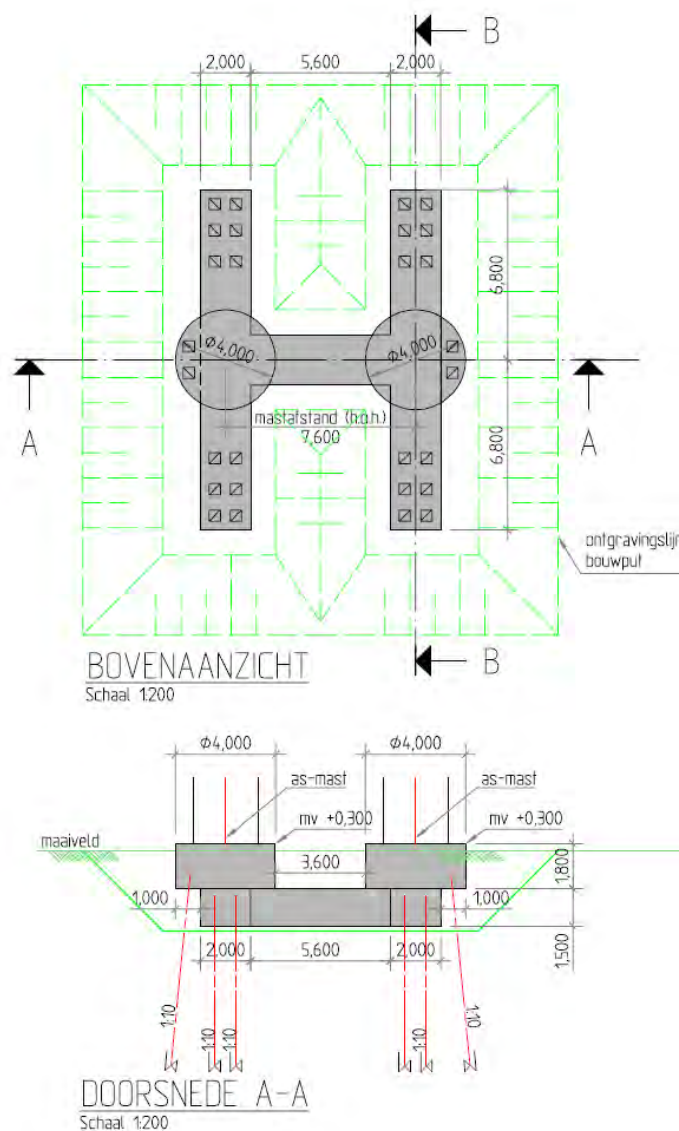
W4H400Z + 5 (Afstap 150kV)
W4H400Z +10 (Afstap 150kV)



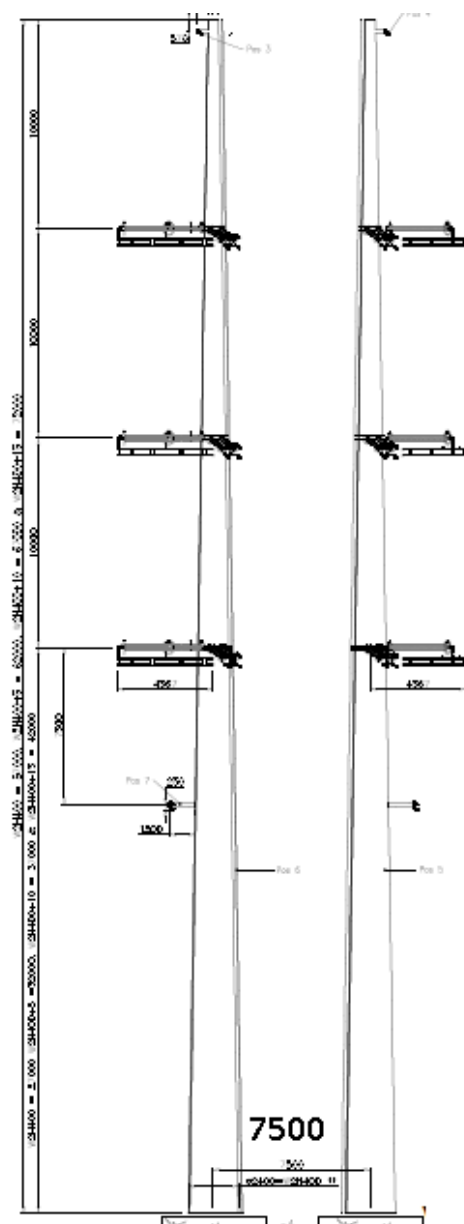
1.1.5. FUNDATIETYP F

Toegepast bij masttype:

W2E350 + 5
W2E400
W2E350



1.2. MASTBEELD BIJ FUNDATIE TYPE C



De h.o.h. afstand van de masten bedraagt 7500 mm i.p.v. de in de berekening aangehouden 7600mm. Dit kleine verschil heeft voor de berekening geen invloed

1.3. GERELATEERDE DOCUMENTEN

R3N-OWN-0001 Ontwerpnota Systeem Noordring
R3N-OWR-0003 Constructieberekening mastfundaties type A
R3N-OWR-0004 Constructieberekening mastfundaties type B
R3N-OWR-0005 Constructieberekening mastfundaties type C
R3N-OWR-0006 Constructieberekening mastfundaties type D
R3N-OWR-0007 Constructieberekening mastfundaties type F
R3N-OWR-0008 Ontwerpberekening paalfundering mastfundaties
R3N-OWR-0033 Bepaling belastingen mastfundaties
R3N-OWR-0039 Bepaling advies beheersgebied Rijnland
R3N-OWR-0040 Bepaling advies beheersgebied Schieland en de Krimpenerwaard

1.4. OPENSTAANDE PUNTEN

De volgende punten dienen in een latere fase nader uitgewerkt te worden:

- Aarding, de wijze van aarden kan invloed hebben op de vermoeiing van het wapeningsstaal.
- Temperatuursinvloeden op fundering
- Model verbeteren d.m.v. dummy elementen aan bovenzijde palen
- Invloed krimp op fundering
- Optimalisatie wapening
- Optimalisatie palen
- Detailontwerp prefab beton\
- H.o.h afstand masten aanpassen van 7600 naar 7500 mm

1.5. REVISIEBEHEER

Aangepast in 2^e uitgave

Er zijn nog vrijwel geen grondgegevens beschikbaar. Dit rapport is een principe berekening. Toegevoegd zijn enkele betonberekeningen. Daarnaast zijn er nu 2 modellen van de fundering gedraaid.

Aangepast in 3^e uitgave

Dit is de 3^e uitgave. In deze revisie is toegevoegd:

- Mastbeeld toegevoegd,
- Nadere uitwerking milieuklasse
- Masttype W2H400 + 15 was in het overzicht zowel bij poer type C als D genoemd. Mast komt op type C.
- Masttype W2S400A+10 ontbrak in het overzicht. Toegevoegd bij poertype A
- Toelichting koppeling mast met fundatie

2. UITGANGSPUNTEN EN EISEN

2.1. UITGANGSPUNTEN

De uitgangspunten vermeldt in de ontwerpnota R3N-OWR-00001 dienen als basis voor het ontwerp van de fundatie van de Wintrackmasten.

Op de funderingen worden de lasten geplaatst zoals afgeleid in document R3N-OWR-0033 'Bepaling belasting mastfundaties'.

2.2. GEHANTEERDE NORMEN

De normen zoals vermeld in ontwerpnota R3N-OWN-0001 §3 zijn gehanteerd bij het ontwerp.

2.3. EISEN

De eisen zoals vermeld in ontwerpnota R3N-OWN-0001 §3 zijn gehanteerd bij het ontwerp.

Voor de masten gelden specifiek onderstaande eisen:

- De fundamente van de staalconstructies ten behoeve van de masten worden gedimensioneerd op een maximale vervorming van 0.005 RAD onder representatieve waarden van de belastingen;
- Tot 1,5 m diepte mag de straalomtrek van de fundering niet groter zijn dan 1,0 m meer dan de straal van de mast;
- De ZRO-breedte tussen de (schoor)paalpunten en andere ondergrondse constructies van de masten is maximaal 2x 22 m voor de 2x 380kV (solo) verbinding en 2 x 27 m voor de 2 x 150 kV/380 kV (combi) verbinding;
- Tolerantie van mastlocatie naar buiten is 10 cm, tolerantie naar binnen is 0 cm.

2.4. VERMOEIING

De aan te leggen fundamenteën worden gedimensioneerd op een vermoeiingsbelasting. De wisseling van belasting komt uit wind. Het aantal en de grote van de wisselingen gedurende 50 jaar is bepaald conform de ROK. De toetsingsprocedure van de constructie conform NEN-EN 1992-1-1:2005.

2.5. MATERIAALGEGEVENS

In onderstaande paragrafen worden de gehanteerde materiaaleigenschappen benoemd.

2.5.1. BETONKWALITEITEN

Voor het constructief beton worden bij de detaillering de volgende sterkteklassen aangehouden. De betonkwaliteit van de ronde opstort (C35/45) is voorgeschreven. Bij gescheurd beton wordt in eerste instantie gerekend met $E_{\text{beton; gescheurd}} \approx 1/3 E_{\text{beton; ongescheurd}}$. Tevens is een ca. 2 x zo hoge E-modulus beschouwd.

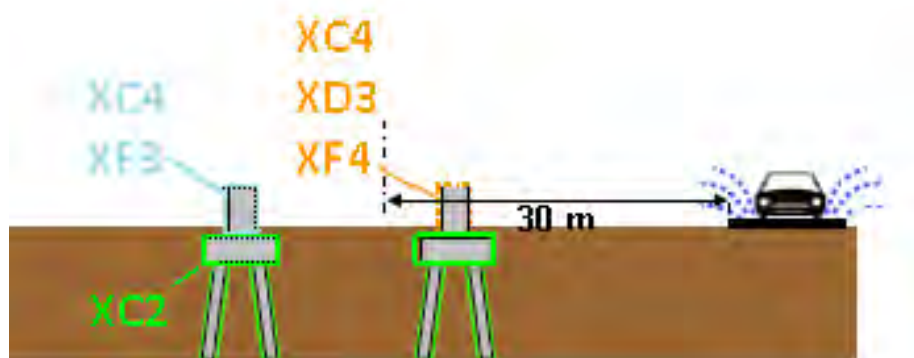
Onderdeel	Sterkteklasse	Elastischeiteitsmodulus [N/mm ²]		
		ongescheurd	Gescheurd lage E	Gescheurd matige E
in het werk gestort gewapend beton:	C30/37	31.000	11.000	22.00
in het werk gestort gewapend beton, ronde opstort	C35/45	33.500		
geprefabriceerd beton (U-bakken):	C35/45	33.500		
geprefabriceerd voorgespannen beton (palen):	C45/55	36.000		

Tabel 2.5.1-1 Betonkwaliteiten

2.5.2. MILIEUKLASSE

Voor de betondelen welke meer dan 1,0 m onder maaiveld liggen geldt milieuklasse XC2

Voor de hoger gelegen betondelen is de milieuklasse afhankelijk van de aanwezigheid van openbare wegen. De wegen naar de OSP's zullen niet gestrooid worden en bovendien nauwelijks bereden worden, waardoor het wegspreiden van water met dooizouten niet aan de orde is. De afstanden in onderstaande schets geldt voor snelwegen, bij ander wegen zou deze eventueel kleiner kunnen.



2.5.3. BETONDEKKING

Betondekking conform NEN EN 1992-1-1:2011

$$c_{\min} = \max \{c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \quad (4.2)$$

waarin:

- $c_{\min,b}$ is de minimumdekking op basis van de aanhechtingseisen, zie 4.4.1.2 (3);
- $c_{\min,dur}$ is de minimumdekking op basis van de milieu-omstandigheden, zie 4.4.1.2 (5);
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ is een aanvullende veiligheidsmarge, zie 4.4.1.2 (6);
- $\Delta c_{dur,st}$ is een reductie van de minimumdekking bij gebruik van roestvast staal, zie 4.4.1.2 (7);
- $\Delta c_{dur,add}$ is een reductie van de minimumdekking bij gebruik van aanvullende bescherming, zie 4.4.1.2 (8).

De verwachting is dat $c_{\min,b}$ maatgevend wordt. Deze waarde is afhankelijk van de staafdiameter, welk nog niet bekend is. Betondekking wordt in UO bepaald.

2.5.4. STAALKWALITEITEN

Voor het wapeningsstaal worden de volgende staalkwaliteiten aangehouden:

Omschrijving	Kwaliteit
betonstaal (staven)	B500 B
betonstaal (gepunte wapeningsnetten):	B500 B

Tabel 2.5.2 Staalkwaliteiten

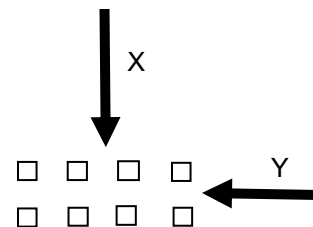
2.6. VEERCONSTANTE FUNDERINGSPALEN

De constructie wordt gefundeerd op prefab betonpalen. De palen worden horizontaal gesteund door de grond wat resulteert in een horizontale beddingconstante op de funderingspaal. Verticaal wordt de funderingspaal gesteund door een verticale puntveer. Beide veerconstanten zijn bepaald door de geotechnische adviseur in rapport R3N-OWR-0008.

In het model wordt gerekend met een verticale veerstijfheid van 90.000 kN/m. Voor de horizontale bedding worden onderstaande waarden aangehouden.

In de volgende tabellen worden deze gereduceerde beddingsconstanten gepresenteerd.

X-richting		Voor ESA berekeningen			
soort	b.k. laag	per m ² paal		per m'paal	
		$k_{h,rep,laag}$	$k_{h,rep,hoog}$	$k_{h,rep,laag}$	$k_{h,rep,hoog}$
	[m+ NAP]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m/m]	[kN/m/m]
Veen	-1.6	1,400	3,200	700	1,600
Klei	-2.7	500	1,200	300	600
Veen	-5.1	1,400	3,200	700	1,600
Klei	-6.0	800	1,800	400	900
Veen	-11.2	1,400	3,200	700	1,600
Zand	-12.1	13,600	30,600	6,900	15,600
Zand	-22.0	16,300	36,700	8,300	18,700



Tabel 6 - Horizontale beddingsconstanten voor belasting uit de X-richting

Y-richting		Voor ESA berekeningen			
soort	b.k. laag	per m ² paal		per m'paal	
		$k_{h,rep,laag}$	$k_{h,rep,hoog}$	$k_{h,rep,laag}$	$k_{h,rep,hoog}$
	[m+ NAP]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m/m]	[kN/m/m]
Veen	-1.6	1,000	2,300	500	1,200
Klei	-2.7	400	900	200	400
Veen	-5.1	1,000	2,300	500	1,200
Klei	-6.0	600	1,300	300	700
Veen	-11.2	1,000	2,300	500	1,200
Zand	-12.1	9,800	22,100	5,000	11,300
Zand	-22.0	11,800	26,500	6,000	13,500

Tabel 7 - Horizontale beddingsconstanten voor belasting uit de Y-richting

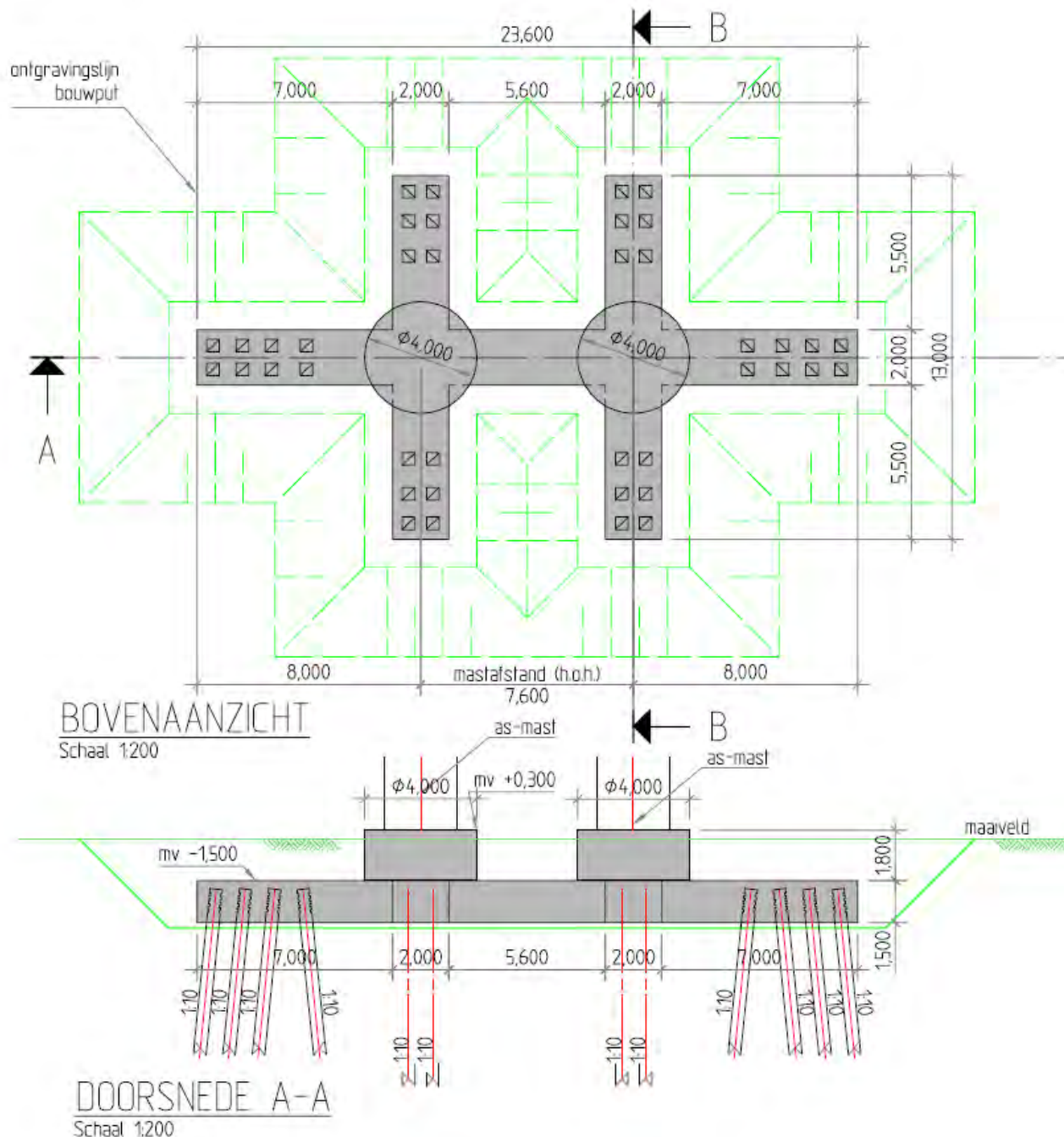
Figuur 3 Horizontale beddingsconstanten per belastingsrichting

Voor alle richtingen is steeds de lage waarde van de beddingsconstante, richting Y aangehouden.

3. BEREKENING POER TYPE C

3.1. GEOMETRIE

De geometrie van de type C poeren is als volgt:



3.2. BELASTINGEN EN BELASTINGCOMBINATIES

3.2.1. BELASTINGSFACTOREN

De belasting uit de poeren bestaat vooral uit lasten uit de mast cq lijnen. Deze lasten zijn, incl. partiële factoren gegeven door de opdrachtgever op basis van een rapport van KEMA.

Daarnaast zijn er lasten op de poeren zelf. Hiervoor geldt dat vergelijking 6.10 b van de EN 1990 maatgevend is. Gecombineerd met CC3 gelden de volgende partiële factoren:

$$\begin{aligned}\gamma_G (\text{ongunstig}) &= 1,3 \\ \gamma_G (\text{gunstig}) &= 0,9 \quad (\text{zie §3.2.2, op eigen gewicht fundering wordt factor 0,54 toegepast}) \\ \gamma_Q &= 1,65\end{aligned}$$

Opm: De meeste lasten zijn door de klant incl de factoren gegeven. Bovenstaande factoren hebben dus alleen invloed op het eigen gewicht, grond en belastingen op maaiveld.

3.2.2. BELASTINGSGEVALLEN

Eigen gewichtpoer

Eigen gewicht van de betonconstructie wordt gegenereerd in het model. Er wordt gerekend met een eigengewicht voor beton van 2500 kg/m^3 .

Omdat er ook trek op de palen komt, is eigen gewicht al snel een gunstige belasting (druk eenvoudiger op te nemen dan trek). Indien de poer zich onderwater bevindt zal er een opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van het verplaatste water op de poer aanwezig zijn. Het effectieve gewicht van de poer reduceert hierdoor tot 1500 kg/m^3 . Inclusief partiële factor van 0,9 volgt 1350 kg/m^3 . In totaal bedraagt de factor dan dus $1350/2500 = 0,54$.

Eigen gewicht grond op poer

Op de poer ligt 1,5 m grond. Indien het grondwater lager ligt, is de last:

$$1,5 * 17 = 25,5 \text{ kN/m}^2$$

Bij waterstand gelijk aan 0,5m onder maaiveld niveau is de last:

$$0,5 * 17 + 1,0 * (17-10) = 15,5 \text{ kN/m}^2$$

Inclusief partiële factor van 0,9 volgt $13,95 \text{ kN/m}^2$. In totaal bedraagt de factor dan dus $13,95/25,5 = 0,54$.

Reken met droge grond en pas een partiële factor van 0,54 op eigen gewicht poer en grond toe in het geval deze gunstig werken.

Belastingen uit de mast

Zie rapport 'Afleiding belasting uit masten'.

Er wordt gerekend met de volgende, donker aangegeven ULS en SLS lasten uit het rapport. De overige lasten zijn met deze gevallen afgedekt.

Voor het variabele deel dat zijn oorsprong vindt in wind, wordt gerekend met:

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,2	0

ULS

Mast	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwaars}	N	V _{langs}	V _{dwaars}
W2H400+5	90 deg	3	0	37867	1025	0	943
W2H400+5	0 deg	1b	665	16478	682	23	401
W2H400+5	45 deg	1a	14930	27013	682	382	678
W2H400+5	90 deg	1a	21715	14294	385	527	379
W2H400+5	-45 deg	3	26019	14403	398	644	358
W2H400A+5 (mast 74)	0 deg	3	1034	31674	1024	36	784
W2H400A+5 (mast 74)	90 deg	1a	1308	36670	903	53	910
W2H400A+5 (mast 74)	-45 deg	1a	15738	26743	678	415	667
W2H400A+5 (mast 74)	90 deg	1a	21715	14294	385	527	379
W2H400A+5 (mast 74)	-45 deg	3	26019	14403	398	644	358
W2H400+10	0 deg	3	1300	38231	1280	42	829
W2H400+10	90 deg	3	0	45178	1276	0	990
W2H400+10	45 deg	1a	17515	32392	853	404	726
W2H400+10	0 deg	3	1300	26959	1176	42	582
W2H400+10	90 deg	1a	0	33107	1139	0	757
W2H400+10	90 deg	3	0	33678	1172	0	738
W2H400+10	45 deg	1a	8721	25248	855	218	575
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	3	4565	34528	1258	152	731
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	1a	1574	41927	1127	53	931
W2H400+10 (mast 82)	-45 deg	1a	18211	30577	848	430	682
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	3	3002	24614	1167	99	522
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	1a	1233	31402	1133	42	712
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	1b	21118	11542	847	471	245
W2H400+15	0 deg	3	1560	40126	1413	47	785
W2H400+15	90 deg	1a	0	49086	1264	0	1006
W2H400+15	45 deg	1a	20418	35375	952	433	725
W2H400+15	0 deg	1a	5546	1538	1284	167	18
W2H400+15	0 deg	3	1560	2784	1425	47	31
W2H400+15	90 deg	1a	0	21043	1265	0	422
W2H400+15	0 deg	1a	5546	1201	964	167	14

SLS

Type	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwers}	N	V _{langs}	V _{dwers}
W2H400+5	0 deg	1b	2363	20045	757	81	512
W2H400+5	45 deg	1a	8801	23569	757	234	595
W2H400+5	90 deg	3	2363	31280	835	81	794
W2H400+5	-45 deg	1a	8108	23569	757	234	595
W2H400A+5 (mast 74)	0 deg	1b	3321	19716	753	120	499
W2H400A+5 (mast 74)	90 deg	3	4602	30221	821	172	751
W2H400A+5 (mast 74)	-45 deg	1a	8941	23276	753	269	583
W2H400+10	0 deg	3	3081	33806	1046	99	765
W2H400+10	45 deg	1a	10468	28323	949	253	639
W2H400+10	90 deg	1a	3081	32890	946	99	734
W2H400+10	90 deg	3	3081	37539	1043	99	843
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	1a	4010	21112	949	130	481
W2H400+10 (mast 82)	45 deg	3	4263	32798	1029	158	726
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	1a	4307	31284	941	140	691
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	3	5665	34675	1028	186	765
W2H400+10 (mast 82)	-45 deg	1a	10407	26626	945	283	597
W2H400+15	0 deg	3	3697	35947	1157	111	742
W2H400+15	45 deg	1a	12353	30742	1060	276	634
W2H400+15	90 deg	1a	3697	36518	1056	111	745
W2H400+15	90 deg	3	3697	40557	1154	111	830
W2H400+15	-45 deg	1a	11270	30742	1060	276	634

Belastingen op maaiveld

Op het maaiveld wordt gerekend met een verdeelde last van 10 kN/m^2 . Er is geen stempellast op de fundering voorzien. Echter, door spreiding van een puntlast over een diepte van 1,5 m, zal een lastvlak van 2 (breedte balk) x 3 ($2 \times 1,5$) = 6 m^2 ontstaan, waardoor bij 10 kN/m^2 dus ook een puntlast van 60 kN toelaatbaar is.

Voor deze belastingen wordt in de combinatie gerekend met:

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,7	0,5	0,3

3.2.3. BELASTINGCOMBINATIES

Belastingcombinaties in ULS conform vergelijking 6.10b van NEN EN 1990, waarbij:

$$0,7 * 1,65 = 1,16$$

En de belastingsfactoren voor de last uit de masten reeds in de ingevoerde belasting is meegenomen (factor 1,0 toegepast).

ULS							
Belastinggeval	Omschrijving	Combi 1	Combi 2	Combi 3	Combi 4	Combi 5	Combi 6
1	Eigen gewicht	1,3	1,3	1,3	1,3	0,54	0,54
2	Grond	1,3	1,3	1,3	1,3	0,54	0,54
3	Belasting mast ULS 1	1,0		0,6		1,0	
4	Belasting mast ULS 2		1,0		0,6		1,0
7	Belasting op maaiveld	1,16	1,16	1,65	1,65		

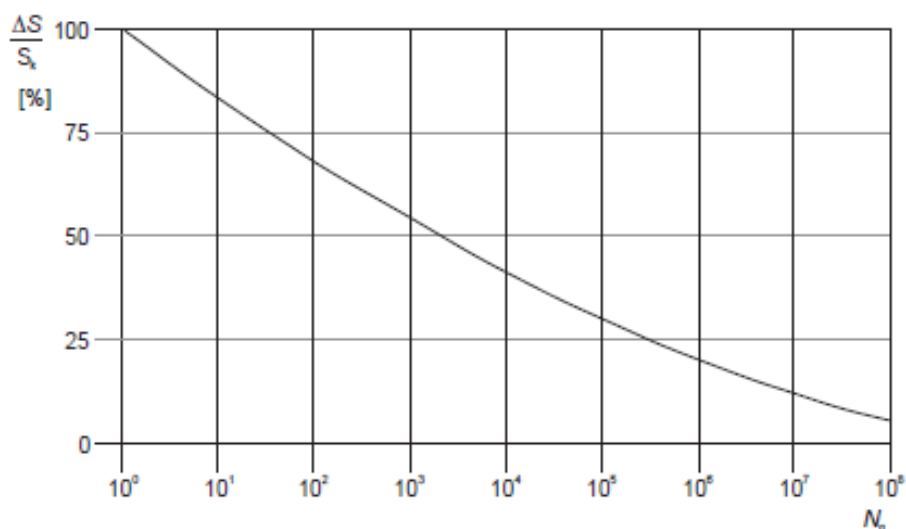
SLS							
Belastinggeval	Omschrijving	Combi 7	Combi 8	Combi 9	Combi 10	Combi 11	Combi 12
5	Eigen gewicht	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6
6	Grond	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6
5	Belasting mast SLS 1	1,0		0,6		1,0	
6	Belasting mast SLS 2		1,0		0,6		1,0
7	Belasting op maaiveld	0,7	0,7	1,0	1,0		

3.3. WISSELENDE BELASTINGEN EN VERMOEIING

Door de wisselende belastingen van wind dient belasting door vermoeiing te worden meegenomen. Bij vermoeiing is het aantal wisselingen en de grootte van de wisseling van belang. In de NEN-EN 1991-1-4:2005 is in bijlage B.3 een figuur opgenomen waarin de verhouding tussen de grootte van de windlast en het aantal keren dat deze optreedt weergegeven.

B.3 Aantal belastingen voor dynamische respons

(1) Figuur B.3 geeft het aantal keren N_g dat de waarden ΔS van een windeffect worden bereikt of overschreden gedurende een periode van 50 jaar. ΔS wordt uitgedrukt in percentage van de waarde S_k , waar S_k het effect is van een windbelasting met een herhalingsijd van 50 jaar.



Figuur B.3 — Aantal windvlaagbelastingen N_g voor een effect $\Delta S/S_k$ gedurende een herhalingsijd van 50 jaar

De relatie wordt omschreven met de volgende uitdrukking

$$\frac{\Delta S}{S_k} = 0,7 \cdot (\log(N_g))^2 - 17,4 \cdot \log(N_g) + 100 \quad (\text{B.9})$$

Bij vermoeiing wordt bij een bepaald spanningsniveau het aantal wisselingen op dit spanningsniveau bepaald en vervolgens wordt dit vergeleken met het aantal toelaatbare wisselingen op dat spanningsniveau. Door dit voor de voorkomende spanningsniveaus te doen is de weerstand tegen vermoeiing te controleren.

In de ROK van RWS is bovenstaande verdeling gediscretiseerd tot onderstaande tabel:

Tabel 5-1: Aantal wisselingen per windbelasting (referentieperiode 50 jaar)

$\Delta S / S_k (\%)$	n
100	1
98	1
90	8
75	90
61	900
48	9000
36	90000
25	900000
16	9000000
9	90000000

Van beton en wapeningsstaal is bekend hoeveel wisselingen bij een bepaald spanningsniveau toelaatbaar zijn. S_K is de spanning met een herhalingsijd van 50 jaar (de spanning waarop de constructie ontworpen is).

Met bovenstaande gegevens is te bepalen welke maximale spanning t.g.v. wind eens in de 50 jaar toelaatbaar is opdat de constructie ook voldoende weerstand tegen vermoeiing heeft.

Wapening

De totale schade van de belastingen dient volgens de beschadigingsregel van Miner kleiner dan 1 te zijn.

De toetsingsprocedure per wisseling conform NEN-EN 1992-1-1:2005, §6.8.4:

Voor de wapening is gekeken naar de toelaatbare spanning voor:

- Rechte staven
- Staven gebogen met een doordiameter $2,5 \cdot D$
- Gelaste staven

Er volgt (zie berekening hieronder) dat voor gewone rechte staven er geen beperking is, echter gebogen of gelaste staven hebben de volgende spanningsbeperking:

Buigdoorn $2,5\sigma \rightarrow 244 \text{ N/mm}^2$
 Buigdoorn $5\sigma \rightarrow 283 \text{ N/mm}^2$
 Gelaste staven $\rightarrow 317 \text{ N/mm}^2$

Omdat bij de toetsing van vermoeiing een ULS toestand met veiligheid 1,0 wordt getoetst, is de spanning altijd minimaal een factor van ca. 1,3 lager dan de normale ULS toestanden.

Bij een toelaatbare spanning van 435 N/mm^2 in ULS volgt bij toetsing op vermoeiing een spanning van maximaal 335 N/mm^2 . De toelaatbare spanningen bij vermoeiing zijn nog iets lager. Hier dient in de detaillering rekening mee gehouden te worden. Een toetsing achteraf zal volstaan.

Rechte staven

maximale gebruiksspanning			435	
Toelaatbare spanningswisseling bij N^* wisselingen			162,5	
		k1	5	
		k2	9	
		N^*	1,00E+06	
aantal wisselingen	ROK	Wisseling spanning	Toelaatbaar aantal	Schade
[-]	dS/S	wapening	wisselingen	[-]
	[-]	[N/mm ²]	[-]	[-]
1	100	435	7275	0,000137
1	98	426	8048	0,000124
8	90	392	12320	0,000649
90	75	326	30656	0,002936
900	61	265	86133	0,010449
9000	48	209	285505	0,031523
90000	36	157	1394937	0,064519
900000	25	109	37137862	0,024234
9000000	16	70	2061565470	0,004366
90000000	9	39	365674259232	0,000246
			Totale schade	0,139183665

Staven gebogen met doordiameter 2,5*D

maximale gebruiksspanning			244	
Toelaatbare spanningswisseling bij N* wisselingen			67,4	
		k1	5	
		k2	9	
		N*	1,00E+06	
aantal wisselingen	ROK	Wisseling spanning	Toelaatbaar aantal	
[-]	dS/S	wapening	wisselingen	Schade
	[-]	[N/mm2]	[-]	[-]
1	100	244	1613	0,000620
1	98	239	1784	0,000560
8	90	220	2731	0,002929
90	75	183	6796	0,013243
900	61	149	19095	0,047134
9000	48	117	63292	0,142197
90000	36	88	266714	0,337440
900000	25	61	2466861	0,364836
9000000	16	39	136938283	0,065723
90000000	9	22	24289699180	0,003705
			Totale schade	0,978388484

Staven gebogen met doordiameter 5*D

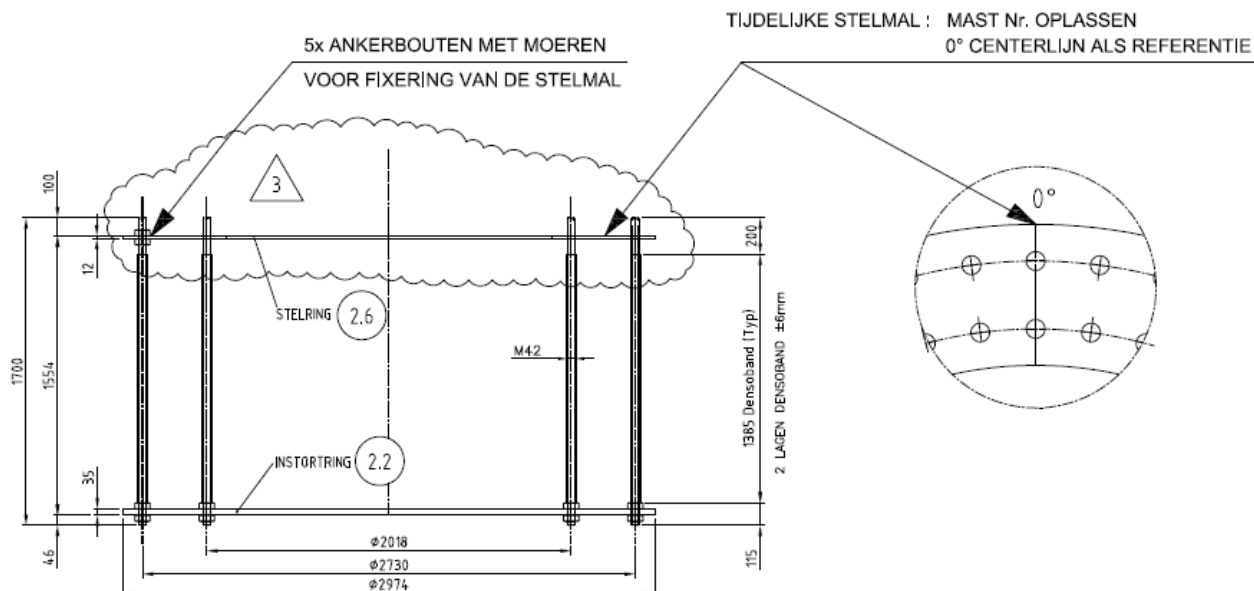
maximale gebruiksspanning			283	
Toelaatbare spanningswisseling bij N* wisselingen			78,0	
		k1	5	
		k2	9	
		N*	1,00E+06	
aantal wisselingen	ROK	Wisseling spanning	Toelaatbaar aantal	
[-]	dS/S	wapening	wisselingen	Schade
	[-]	[N/mm2]	[-]	[-]
1	100	283	1591	0,000629
1	98	277	1760	0,000568
8	90	255	2694	0,002970
90	75	212	6702	0,013428
900	61	173	18832	0,047792
9000	48	136	62422	0,144181
90000	36	102	263044	0,342148
900000	25	71	2406099	0,374050
9000000	16	45	133565305	0,067383
90000000	9	25	23691410595	0,003799
			Totale schade	0,996946687

Gelaste staven

maximale gebruiksspanning			317	
Toelaatbare spanningswisseling bij N* wisselingen			58,5	
		k1	3	
		k2	5	
		N*	1,00E+07	
aantal wisselingen	ROK	Wisseling spanning	Toelaatbaar aantal	
[-]	dS/S	wapening	wisselingen	Schade
	[-]	[N/mm2]	[-]	[-]
1	100	317	62848	0,000016
1	98	311	66775	0,000015
8	90	285	86211	0,000093
90	75	238	148972	0,000604
900	61	193	276886	0,003250
9000	48	152	568285	0,015837
90000	36	114	1347046	0,066813
900000	25	79	4022257	0,223755
9000000	16	51	20411885	0,440920
90000000	9	29	362468668	0,248297
			Totale schade	0,999600179

4. VERBINDING MAST-FUNDERING

De masten worden verbonden met de fundering d.m.v. een ingestorte ankerkooi. Een ankerkooi is hieronder weergegeven



DETAIL VERANKERING

NOTA : ALLE RESTERENDE MOEREN EN ONDERLEGRINGEN WORDEN LOS MEEGELEVERD

Prepared by: LV	Material: -	VDL KTI	Project No.: 36002
Revision: 3	Quantity: 2		Workprep. No.:
Date: 5-7-2011	Equipm. no.: W4E350		Pos. No.: ANKERKOOI

De ankers en platen zijn berekend door Volker Infra Design bij het ontwerp van de masten. De ankerkooi bevindt zich in de ronde opstort. De ronde opstort is d.m.v. stekken verbonden met de kruisvormige balken. De stekken worden in de UO fase berekend.

4.1. BEREKENING FUNDERING

De poer is ingevoerd in een SCIA engineer model.

Er zijn 2 modellen gedraaid:

- Model 1: Lage gescheurde E modulus
- Model 2: Matige gescheurde E modulus

5. BIJLAGEN

Bijlage 1 Uitvoer SCIA Engineer – lage E-waarde (model 1)

Bijlage 2 Uitvoer SCIA Engineer – matige E-waarde (model 2)

BIJLAGE 1 UITVOER SCIA ENGINEER – LAGE E-WAARDE (MODEL 1)

BIJLAGE 2 UITVOER SCIA ENGINEER – MATIGE E-WAARDE (MODEL 2)



Bepaling belasting mastfundaties

Project:

Randstad 380kV Noordring

Opdrachtgever:

TenneT TSO

Revisie	Datum	Wijzigingen ten opzichte van vorige revisie
00	19-07-2013	Eerste uitgave
01	06-08-2013	Status naar definitief

Documentnummer: R3N-OWR-0033

<i>Opsteller</i> A.L.A. van Noort Constructeur	<i>Verificateur</i> Pieter de Jager Ontwerpmanager	<i>Vrijgever</i> Arjan Hogenboom Project Manager
--	--	--

**Distributie**

Naam	Bedrijf
Extern	
Guido Volman	TenneT TSO
Intern	
Arjan Hogenboom	BAM
Pieter de Jager	BAM
Eric van Rooijen	BAM
David van Loenen	BAM
Rob Bakker	BAM
Erwin ten Cate	BAM
Michael Desmet	Fabricom
Hein Pijnappel	Mott MacDonald

Beheer

De documentbeheerder van de combinatie verzorgt de distributie. Alleen houders van een geregistreerde kopie ontvangen automatisch aanvullingen en/of wijzigingen. Het is de verantwoordelijkheid van de houders het document up to date te houden. De laatste versie is altijd beschikbaar in ThinkProject!

Indien documenten worden geprint, geldt het volgende: een geregistreerde kopie is geldig vanaf de datum van uitgifte. Bij uitgifte van een document met een hoger revisienummer verliest de voorgaande versie automatisch haar geldigheid. Kopiehouders dienen het voorblad van een ongeldige versie te markeren met een diagonale lijn samen met de tekst 'vervallen'.

Neem bij twijfel over de geldende versie contact op met de documentbeheerder.



Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Bron van de belastingen.....	5
3. Overzicht masttypen in het werk	6
4. Verificatie.....	7
4.1. Afwijkingen in ULS	8
4.2. Afwijkingen in SLS.....	9
4.3. Conclusie verificatie	11
5. Fundatietype A	12
6. Fundatietype B	13
7. Fundatietype C	14
8. Fundatietype D	16
9. Fundatietype F.....	17
Bijlagen	18
Bijlage 1 Afleiding belastingen per masttype.....	19



1. INLEIDING

De komende jaren werken het ministerie van Economische Zaken en TenneT aan de aanleg van een nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding in de Randstad. De nieuwe verbinding stelt de voorziening van elektriciteit in de Randstad veilig.

Het ontwerptracté van de nieuwe Randstad 380 kV verbinding is sinds eind 2008 bekend. De plannen gaan uit van twee ringen, tussen Wateringen en Zoetermeer (de Zuidring) en tussen Zoetermeer en Beverwijk (de Noordring). Eind 2012 heeft Tennet de aanbesteding opgestart voor het gedeelte van de Noordring tussen station Vijfhuizen en Bleiswijk. Het contract is opgedeeld in twee percelen, waarbij de grens ligt bij Zuidelijke Ringvaart. Dit document heeft betrekking op perceel 2 (het zuidelijke gedeelte).

BAM heeft op 8 juli 2013 het contract ondertekend met TenneT voor het ontwerp en realiseren van perceel 2. Het voorliggende document is onderdeel van het ontwerp van de mastfundaties.

De leverancier van de masten, Volker Wessels Telecom, heeft de masten berekend en daarbij ook de belasting op de fundering bepaald. Omdat de masten rond zijn is hierbij alleen naar de maatgevende belasting gekeken.

De verschillende typen masten hebben echter een duidelijk richting waarin de belasting dominant is. In het ontwerp van de mastfundaties is wel rekening gehouden met deze richting afhankelijke belasting. Daarvoor zijn de belastingen opnieuw afgeleid. Dit document bevat de afleiding en de verificatie van deze lasten.

2. BRON VAN DE BELASTINGEN

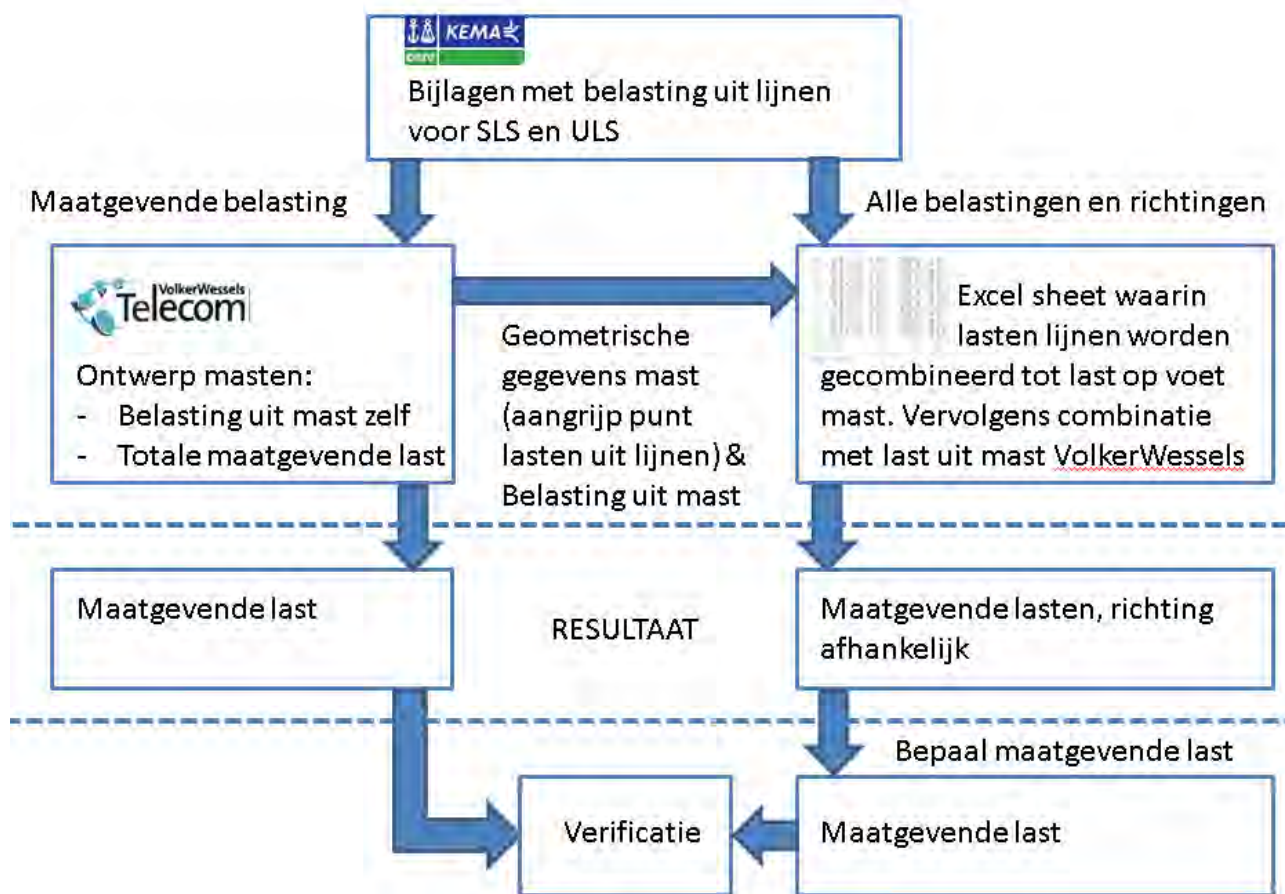
De belastingen uit de lijnen zijn berekend door KEMA in rapport 74100224-ETD/POL 12-00138 Rev 003 'Design Loads for Wintrack II – R380 BEV-VHZ & VHZ-BEV' 18 juli 2012.

Dit rapport is niet in ons bezit.

Onderdeel van het rapport van KEMA zijn de verschillende bijlagen waarbij telkens per type mast de lasten uit de lijnen zijn gegeven. Deze bijlagen zijn door Volker Wessels Telecom (VWT) in de verschillende berekeningsrapporten opgenomen.

Daarnaast heeft VWT de belasting uit de mast zelf (exclusief last uit lijnen) bepaald. Deze lasten heeft VWT gecombineerd tot de maatgevende belasting op de fundering.

Onderstaand stroomschema geeft de wijze waarop de lasten door VWT (linker zijde schema) en in dit rapport (rechter zijde schema) zijn bepaald. Vervolgens is uit de lasten zoals bepaald in dit rapport een selectie van maatgevende belastingen gemaakt, welke is vergeleken met de maatgevende lasten zoals bepaald door VWT. Deze verificatie is opgenomen in dit rapport.



3. OVERZICHT MASTTYPEN IN HET WERK

In onderstaande tabel zijn de verschillende masttypen welke in het werk voorkomen aangegeven. Tijdens de Tenderfase zijn de verschillende berekeningen van de masten arbitrair genummerd (in volgorde van de mastenlijst in **bijlage 1** van de vraagspecificatie voor de tender). Omdat in het gewonnen perceel niet meer alle masttypen aanwezig zijn, is de nummeringen van de berekeningen ook niet meer doorlopend. Al naar gelang de grote en richting van de belasting uit de masten en de diameter van de mastvoet zijn een 5-tal fundatietypen bepaald. In Tabel 1 zijn deze ook weergegeven.

Masttype	Berekeningsnummer	Fundatietype
W2S400+5	03	A
W2S350+5	09	A
W2S400A+10	27	A
W4S400Z+5	15	B
W2S400+24	21	B
W2S400+22.5	23	B
W4S400Z+14	24	B
W2H400+5	08	C
W2H400A+5 (mast 74)	08A	C
W2H400+10	17	C
W2H400+10 (mast 82)	17A	C
W2H400+15	22	C
W4H400Z+5	14	D
W4H400ZA+5	25	D
W4H400ZA+10 (Aftakm ast m ast 92)	26	D
W2E350+5	05	F
W2E400	07	F
W2E350	10	F

Tabel 1 Overzicht masttypen met bijhorende berekeningsnummer en fundatietype

4. VERIFICATIE

De waarden zoals door ons berekend zijn vergeleken met de waarden zoals gegeven door VWT in de samenvatting fundatiebelastingen.

Dit resulteert in onderstaande tabel, waarin de verhouding tussen de resultaten van VWT en de door ons afgeleide waarden gegeven zijn.

De kleurcodering is als volgt:

waarde bepaald door VWT > 102% van onze waarde → rood

waarde bepaald door VWT > 99,5% en < 100,5% van onze waarde → groen

waarde bepaald door VWT < 98% van onze waarde → geel

De groene waarden geven dus aan waar de resultaten gelijk zijn.

Geen kleur hebben de waarden met een kleine afwijking en de rode en gele waarden verdienen extra aandacht.

		Verhouding opgegeven waarde t.o.v. afgeleide waarde							
		Kleiner dan 100% is veilig, afgeleide waarde hoger							
		SLS				ULS			
		M	V	N	Mmax	V	Nmax	Nmin	
W2S400 + 5	3	99%	99%	86%	100%	100%	83%	100%	
W2E350 + 5	5	110%	118%	95%	101%	100%	100%	100%	
W2E400	7	110%	111%	95%	101%	100%	100%	100%	
W2H400 + 5	8	106%	106%	91%	102%	100%	100%	177%	
W2H400 + 5	8a	106%	107%	64%	101%	98%	88%	123%	
W2S350 + 5	9	99%	99%	100%	100%	100%	81%	100%	
W2E350	10	106%	108%	94%	101%	101%	100%	100%	
W4H400Z + 5	14	103%	104%	90%	100%	100%	100%	100%	
W4S400Z + 5	15	99%	99%	99%	100%	100%	79%	79%	
W2H400 + 10	17	104%	106%	59%	100%	100%	100%	66%	
W2H400 + 10	17a	105%	103%	52%	100%	100%	90%	66%	
W2S400 + 24	21	98%	98%	62%	100%	100%	83%	70%	
W2H400 + 15	22	105%	107%	62%	100%	100%	89%	68%	
W2S400 + 22.5	23	99%	100%	63%	100%	100%	84%	70%	
W4S400Z + 14	24	100%	100%	67%	93%	100%	80%	54%	
W4H400Z + 5 (Afst)	25	146%	142%	91%	103%	104%	85%	78%	
W4H400Z + 10 (Afst)	26	130%	127%	93%	94%	96%	89%	86%	
W2S400 + 10 (afs. c)	27	101%	103%	58%	102%	104%	82%	52%	

Tabel 2 Verhouding tussen resultaten VWT en door ons afgeleide waarden BAM/Cofely Fabricom

4.1. AFWIJKINGEN IN ULS

Over het algemeen zijn de normaalkrachten welke wij afleiden iets hoger dan de waarden zoals bepaald door VWT. Dit komt omdat in de samenvatting van de lasten zoals gegeven door VWT niet de hoogste verticale kracht is aangegeven. Zie bijvoorbeeld onderstaand fragment uit berekening W2S400(+24). De afwijking is dus geen gevolg van onjuistheden in onze afleiding.

Belasting geval / comb	X - reactie kN	Y - reactie kN	Z - reactie kN	M _x - reactie kNm	M _y - reactie kNm	M _z - reactie kNm
Windrich. 90 graden						
1 - EG mast			757			
2 - Windbelasting mast	163				5841	
3 - Belasting geval 1a	220		135		13718	
4 - Belasting geval 1b	44		167		3256	
5 - Belasting geval 3	137		304		9105	
6 - Belasting geval 4	44		192		3335	
Combinatie 1 : BG1 * 1,2 + BG2 * 1,6 + BG3 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	383		892		19559	
Combinatie 2 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG4 * (1,2 eg, 0,3 windbel.)	75		923		4351	
Combinatie 3 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,45 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	183		1060		10748	
Combinatie 4 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	75		949		4430	

Samenvatting Fundatiebelastingen

	B.C. 1 - SLS $\gamma_{eg}=1.0$, $\gamma_q=1.0$		B.C. 2 - ULS $\gamma_{eg}=1.2$, $\gamma_q=1.6$		B.C. 3 - ULS $\gamma_{eg}=0.9$, $\gamma_q=1.6$	
Voetmoment	12892	kNm	19559	kNm	19559	kNm
Dwarskracht	249	kN	383	kN	383	kN
Verticale kracht	540	kN	892	kN	486	kN

Bij masttype W4H400Z + 5 (Afstap 150kV) en W2S400 + 10 (afs. comp.gl) is voor het moment een hogere waarde gegeven door VWT dan door ons afgeleid.

Bij masttype W4H400Z + 5 (Afstap 150kV) komt het verschil doordat het maximale moment optreedt in langsricting van het trace, in een belastingsgeval waarbij de windbelasting haaks op deze richting is. In de opgave van de belasting door VWT worden deze 2 lasten echter bij elkaar geteld, hetgeen resulteert in een hogere last.

Bij masttype W2S400 + 10 (afs. comp.gl) is in de samenvatting van de lasten een hoger moment (13349 kNm) gegeven dan dat er door VWT is afgeleid (12988 kNm). De afgeleide waarde van 12988 is zelfs iets lager dan de door ons bepaalde waarde van 13052. Met deze waarde zou het vak zelfs groen kleuren.

Hetzelfde geldt voor de dwarskracht, waar onze berekening op 312 kN uitkomt, de berekening van VWT op 308 kN, maar de opgave 324 kN bedraagt.

Belasting geval / comb	X - reactie kN	Y - reactie kN	Z - reactie kN	M _x - reactie kNm	M _y - reactie kNm	M _z - reactie kNm
Windrich. 90 graden						
1 - EG mast			481			
2 - Windbelasting mast	115	27		814	3428	
3 - Belasting geval 1a	194	71	122	2270	9561	129
4 - Belasting geval 1b	39	47	137	1511	2352	86
5 - Belasting geval 3	117	131	249	4195	6356	239
6 - Belasting geval 4	39	53	159	1689	2431	96
Combinatie 1 : BG1 * 1,2 + BG2 * 1,6 + BG3 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	308	98	603	3084	12988	129
Combinatie 2 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG4 * (1,2 eg, 0,3 windbel.)	60	52	619	1663	2995	86
Combinatie 3 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,45 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	149	139	731	4424	7320	239
Combinatie 4 : BG1 * 1,2 + BG2 * 0,3 + BG5 * (1,2 eg, 1,5 windbel.)	60	58	641	1842	3074	96

Samenvatting Fundatiebelastingen

	B.C. 1 - SLS $\gamma_{eg}=1.0$, $\gamma_q=1.0$		B.C. 2 - ULS $\gamma_{eg}=1.2$, $\gamma_q=1.6$		B.C. 3 - ULS $\gamma_{eg}=0.9$, $\gamma_q=1.6$	
Voetmoment - XY	8897	kNm	13349	kNm	13349	kNm
Dwarskracht - XY	214	kN	324	kN	324	kN
Verticale kracht	348	kN	603	kN	313	kN

4.2. AFWIJKINGEN IN SLS

Uit de tabel volgt dat de waarden van de Steunmasten redelijk overeenkomen, maar onze waarden van de Hoek en Eindmasten zijn aanzienlijk lager.

Uit nadere analyse is het volgende gebleken. Conform NEN-EN 50341 dienen de verschillende belastingen als volgt gecombineerd te worden. (zie onderstaande tabellen). Zoals te zien is bij combinatie 1b, 3 en 4 slechts een deel van de windbelasting aanwezig. In de bepaling door VWT is dit niet meegenomen, bij elke last is telkens de maximale belasting uit de mast in SLS meegerekend.

Daarnaast is geen rekening gehouden met de richting van de wind, de belasting uit de mast is altijd maximaal meegenomen.

**Table 4.2.11/NL.4 - Partial factor and combination factor
(serviceability limit state)**

Load case and temperature	Value for γ_G , γ_Q , χ_Q and γ_A for the serviceability limit state				
	γ_G	γ_Q or χ_Q			γ_A
Loads	G_K	Q_{PK}	Q_{WK}	Q_{iK}	A_K
1a Wind, 10° C	1,0	-	1,0	-	-
1b Wind, - 20° C	1,0	-	0,2	-	-
3 Wind+ice - 5° C	1,0	-	0,3	1,0	-
4 Construction/maintenance + 5° C	1,0	1,0	0,2	-	-

Table 4.2.11/NL.1 - Partial factor and combination factor (ultimate limit state)

Load case and temperature	Value for γ_G , γ_Q , χ_Q and γ_A for the ultimate limit state				
	$\gamma_G^{1)}$	γ_Q or $\chi_Q^{3)}$			γ_A
Loads	G_K	Q_{PK}	Q_{WK}	Q_{iK}	A_K
1a Wind, 10° C	1,2	-	1,5	-	-
1b Wind, - 20° C	1,2	-	0,3	-	-
2 Not relevant	-	-	-	-	-
3 Wind+ice, - 5° C	1,2	-	0,45	1,5	-
4 Construction/maintenance + 5° C	1,2	1,5	0,3	-	-
5a Torsional, + 10° C	1,0	1,0 ²⁾	-	-	1,0
5b Not relevant	-	-	-	-	-
6 Permanent, + 10° C	1,35	-	-	-	-
7 Special, + 10° C	1,0	-	-	-	1,0
¹⁾ If permanent loads have a positive effect on the structural forces e.g. uplift forces on foundation $\gamma_G = 0,9$. ²⁾ Only the load at the end of the crossarm, see 4.2.6. ³⁾ $\chi_Q = \chi_o - \gamma_Q$, with reference to ENV 1991-1 "Basis of Design".					

Indien we bovenstaande uitgangspunten ook op onze afleiding toepassen, dan volgt onderstaande tabel:

		Verhouding opgegeven waarde t.o.v. afgeleide waarde							
		Kleiner dan 100% is veilig, afgeleide waarde hoger							
		SLS			ULS				
		M	V	N	Mmax	V	Nmax	Nmin	
W2S400 + 5	3	99%	99%		86%	100%	100%	83%	100%
W2E350 + 5	5	100%	100%		95%	101%	100%	100%	100%
W2E400	7	100%	100%		95%	101%	100%	100%	100%
W2H400 + 5	8	101%	99%		91%	102%	100%	100%	177%
W2H400 + 5	8a	101%	100%		64%	101%	98%	88%	123%
W2S350 + 5	9	99%	99%		84%	100%	100%	81%	100%
W2E350	10	100%	100%		94%	101%	101%	100%	100%
W4H400Z + 5	14	99%	99%		90%	100%	100%	100%	100%
W4S400Z + 5	15	99%	99%		83%	100%	100%	79%	79%
W2H400 + 10	17	99%	99%		59%	100%	100%	100%	66%
W2H400 + 10	17a	100%	100%		60%	100%	100%	90%	66%
W2S400 + 24	21	98%	98%		62%	100%	100%	83%	70%
W2H400 + 15	22	99%	99%		62%	100%	100%	89%	68%
W2S400 + 22.5	23	98%	98%		62%	100%	100%	84%	70%
W4S400Z + 14	24	92%	98%		57%	93%	100%	80%	54%
W4H400Z + 5 (Afst)	25	146%	142%		91%	103%	104%	85%	78%
W4H400Z + 10 (Afst)	26	130%	127%		93%	94%	96%	89%	86%
W2S400 + 10 (afs. c)	27	101%	103%		59%	102%	104%	82%	52%

Tabel 3

Zoals te zien zijn nu vrijwel alle SLS lasten vrijwel gelijk aan de lasten welke VWT heeft afgeleid, behoudens de lasten van mast W4H400Z+5 (afstappunt) en W4H400Z+10 (afstappunt).

Bij deze masten zijn veel speciale belasting gevallen in de ULS aanwezig welke verband houden met installatie. Deze maken geen deel uit van de combinaties in de SLS. Indien de lasten voor SLS zijn bepaald op basis van de resultaten van de ULS geeft dit te hoge waarden voor de SLS.

Voorlopig zullen wij de afgeleide waarden in de SLS vermenigvuldigen met een extra veiligheid van 1,4 opdat de door ons afgeleide waarde overeenkomt met de waarde van de opdrachtgever. Nader onderzoek is gewenst.

4.3. CONCLUSIE VERIFICATIE

De waarden zoals door ons afgeleid komen goed overeen met de door de opdrachtgever verstrekte maximale waarden. Bij de SLS waarden zijn de combinaties zoals gemaakt door de opdrachtgever strenger dan de eisen uit de norm. Wij gaan hier toch de combinaties van de opdrachtgever volgen.

Twee afspanmasten hebben in de SLS een aanzienlijk lagere belasting in onze afleiding dan de waarde van de opdrachtgever. Hier wordt een extra factor van 1,4 op onze waarden toegepast.

5. FUNDATIETYPE A

Samenvatting maatgevende belastingcombinaties:

ULS

Mast	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W2S400+5	90 deg	1a	0	14507	565	0	374
W2S400+5	90 deg	3	0	10025	681	0	238
W2S400+5	45 deg	1a	3748	8380	424	113	218
W2S350+5	90 deg	1a	0	11432	419	0	327
W2S350+5	90 deg	3	0	8116	521	0	215
W2S350+5	45 deg	1a	2951	6660	315	98	192
W2S400A+10	0 deg	1a	4809	461	617	158	0
W2S400A+10	0 deg	3	4914	862	737	156	0
W2S400A+10	90 deg	1a	2270	13052	603	71	312

SLS

Type	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W2S400+5	0 deg	1b	1805	3943	471	65	109
W2S400+5	45 deg	1a	2765	6731	471	88	176
W2S400+5	90 deg	1a	1805	10053	471	65	257
W2S400+5	90 deg	3	1805	8494	548	65	216
W2S350+5	45 deg	1a	2148	5387	350	75	156
W2S350+5	45 deg	1b	1397	3750	349	55	112
W2S350+5	90 deg	1a	1356	7975	350	54	226
W2S350+5	90 deg	3	1356	6860	417	54	193
W2S400A+10	90 deg	1a	4083	8775	505	133	208
W2S400A+10	90 deg	3	5585	6660	592	180	157

6. FUNDATIETIPE B

ULS

Mast	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W4S400Z+5	0 deg	1a	2857	2634	600	102	54
W4S400Z+5	0 deg	3	804	4607	746	29	94
W4S400Z+5	90 deg	1a	0	17967	592	0	463
W4S400Z+5	0 deg	1a	2857	2069	561	102	43
W2S400+24	0 deg	1a	5841	547	921	163	0
W2S400+24	0 deg	3	1643	1036	1075	46	0
W2S400+24	90 deg	1a	0	19609	892	0	383
W2S400+24	0 deg	1a	5841	417	693	163	0
W2S400+22.5	0 deg	1a	5508	1538	878	157	18
W2S400+22.5	0 deg	3	1549	2784	1019	44	31
W2S400+22.5	90 deg	1a	0	21005	859	0	412
W2S400+22.5	0 deg	1a	5508	1201	659	157	14
W4S400Z+14	0 deg	1a	4319	443	777	136	0
W4S400Z+14	0 deg	3	1215	897	944	38	0
W4S400Z+14	90 deg	1a	0	18317	752	0	385
W4S400Z+14	0 deg	1a	4319	284	732	136	0

SLS

Type	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W4S400Z+5	0 deg	3	1905	5592	599	68	144
W4S400Z+5	90 deg	1a	1905	12556	494	68	321
W2S400+24	0 deg	1a	3894	4355	769	109	109
W2S400+24	0 deg	3	3894	4689	874	109	109
W2S400+24	90 deg	1a	3894	13158	748	109	255
W2S400+22.5	0 deg	3	3672	5880	828	105	130
W2S400+22.5	45 deg	1a	4314	9532	726	116	197
W2S400+22.5	90 deg	1a	3672	14266	718	105	278
W4S400Z+14	0 deg	3	2879	3560	763	91	91
W4S400Z+14	90 deg	1a	2879	12281	631	91	257

7. FUNDATIETYPE CULS

Mast	Wind	Loadcase	M_{langs}	M_{dwars}	N	V_{langs}	V_{dwars}
W2H400+5	90 deg	3	0	37867	1025	0	943
W2H400+5	0 deg	1b	665	16478	682	23	401
W2H400+5	45 deg	1a	14930	27013	682	382	678
W2H400+5	90 deg	1a	21715	14294	385	527	379
W2H400+5	-45 deg	3	26019	14403	398	644	358
W2H400A+5 (mast 74)	0 deg	3	1034	31674	1024	36	784
W2H400A+5 (mast 74)	90 deg	1a	1308	36670	903	53	910
W2H400A+5 (mast 74)	-45 deg	1a	15738	26743	678	415	667
W2H400A+5 (mast 74)	90 deg	1a	21715	14294	385	527	379
W2H400A+5 (mast 74)	-45 deg	3	26019	14403	398	644	358
W2H400+10	0 deg	3	1300	38231	1280	42	829
W2H400+10	90 deg	3	0	45178	1276	0	990
W2H400+10	45 deg	1a	17515	32392	853	404	726
W2H400+10	0 deg	3	1300	26959	1176	42	582
W2H400+10	90 deg	1a	0	33107	1139	0	757
W2H400+10	90 deg	3	0	33678	1172	0	738
W2H400+10	45 deg	1a	8721	25248	855	218	575
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	3	4565	34528	1258	152	731
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	1a	1574	41927	1127	53	931
W2H400+10 (mast 82)	-45 deg	1a	18211	30577	848	430	682
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	3	3002	24614	1167	99	522
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	1a	1233	31402	1133	42	712
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	1b	21118	11542	847	471	245
W2H400+15	0 deg	3	1560	40126	1413	47	785
W2H400+15	90 deg	1a	0	49086	1264	0	1006
W2H400+15	45 deg	1a	20418	35375	952	433	725
W2H400+15	0 deg	1a	5546	1538	1284	167	18
W2H400+15	0 deg	3	1560	2784	1425	47	31
W2H400+15	90 deg	1a	0	21043	1265	0	422
W2H400+15	0 deg	1a	5546	1201	964	167	14

SLS

Type	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W2H400+5	0 deg	1b	2363	20045	757	81	512
W2H400+5	45 deg	1a	8801	23569	757	234	595
W2H400+5	90 deg	3	2363	31280	835	81	794
W2H400+5	-45 deg	1a	8108	23569	757	234	595
W2H400A+5 (mast 74)	0 deg	1b	3321	19716	753	120	499
W2H400A+5 (mast 74)	90 deg	3	4602	30221	821	172	751
W2H400A+5 (mast 74)	-45 deg	1a	8941	23276	753	269	583
W2H400+10	0 deg	3	3081	33806	1046	99	765
W2H400+10	45 deg	1a	10468	28323	949	253	639
W2H400+10	90 deg	1a	3081	32890	946	99	734
W2H400+10	90 deg	3	3081	37539	1043	99	843
W2H400+10 (mast 82)	0 deg	1a	4010	21112	949	130	481
W2H400+10 (mast 82)	45 deg	3	4263	32798	1029	158	726
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	1a	4307	31284	941	140	691
W2H400+10 (mast 82)	90 deg	3	5665	34675	1028	186	765
W2H400+10 (mast 82)	-45 deg	1a	10407	26626	945	283	597
W2H400+15	0 deg	3	3697	35947	1157	111	742
W2H400+15	45 deg	1a	12353	30742	1060	276	634
W2H400+15	90 deg	1a	3697	36518	1056	111	745
W2H400+15	90 deg	3	3697	40557	1154	111	830
W2H400+15	-45 deg	1a	11270	30742	1060	276	634

8. FUNDATIETYPEDULS

Mast	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W4H400Z+5	90 deg	3	0	44494	1133	0	1119
W4H400Z+5	45 deg	1a	16697	31259	749	436	799
W4H400Z+5	45 deg	3	24827	13896	943	780	434
W4H400Z+5	90 deg	1a	-9505	20923	970	-260	683
W4H400Z+5	90 deg	3	-11374	20604	992	-318	663
W4H400ZA+5	90 deg	1a	7658	15619	986	188	421
W4H400ZA+5	90 deg	3	7995	10376	1111	197	264
W4H400ZA+5	-45 deg	1a	9456	9314	986	259	254
W4H400ZA+5	90 deg	1a	5652	10385	986	139	292
W4H400ZA+5	90 deg	3	6162	8221	1014	152	212
W4H400ZA+5	90 deg	3	35215	4924	943	880	130
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	1a	6367	23846	1084	137	570
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	3	43362	18257	1190	951	415
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	1a	3804	12106	971	115	390
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	3	4371	10353	995	132	324
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	3	27696	6071	948	865	191

SLS

Type	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W4H400Z+5	0 deg	1b	2098	23277	832	77	603
W4H400Z+5	45 deg	1a	9556	27308	832	259	700
W4H400Z+5	90 deg	3	2098	36338	922	77	931
W4H400ZA+5	0 deg	1b	6590	4113	821	188	126
W4H400ZA+5	45 deg	1b	6564	4721	821	187	141
W4H400ZA+5	90 deg	1a	7976	10768	821	221	289
W4H400ZA+5	90 deg	3	8480	8911	905	234	243
W4H400ZA+5	-45 deg	1b	6065	4732	821	190	141
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	0 deg	1b	7912	8572	896	205	219
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	1a	7700	16972	902	198	403
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	90 deg	3	9134	15504	972	231	372
W4H400ZA+10 (Aftakmast 92)	-45 deg	1a	9410	11965	898	253	293

9. FUNDATIETYP F

ULS

Mast	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W2E350+5	90 deg	1a	33589	4631	725	933	225
W2E350+5	90 deg	3	35789	3589	776	985	125
W2E350+5	-45 deg	1b	18592	1449	544	508	43
W2E400	90 deg	1a	34497	5038	819	940	235
W2E400	90 deg	3	37033	3864	877	1007	131
W2E400	45 deg	1b	18118	1547	614	489	45
W2E350	90 deg	1a	28011	3814	616	888	202
W2E350	90 deg	3	30575	2997	667	972	116
W2E350	45 deg	1b	16106	1260	462	507	42

SLS

Type	Wind	Loadcase	M _{langs}	M _{dwars}	N	V _{langs}	V _{dwars}
W2E350+5	0 deg	1b	21038	2595	604	591	91
W2E350+5	90 deg	1a	25824	4981	604	715	154
W2E350+5	90 deg	3	29952	4348	638	838	138
W2E400	0 deg	1b	20659	2688	682	573	91
W2E400	45 deg	1b	20800	2957	682	576	98
W2E400	90 deg	1a	26286	5362	682	715	161
W2E400	90 deg	3	30704	4640	721	847	143
W2E350	45 deg	1b	18150	2296	513	583	86
W2E350	90 deg	1a	21622	4034	513	684	139
W2E350	90 deg	1b	18412	2470	513	591	91
W2E350	90 deg	3	25542	3543	547	821	124



BIJLAGEN

Bijlage 1 Afleiding belastingen per masttype



BIJLAGE 1 AFLEIDING BELASTINGEN PER MASTTYPE

Bijlage 9

Gegevens jukken ten behoeve van
amoveren 150kV en nieuwbouw
380kV

Jukkenplan Amovatie

Project:
Randstad 380 KV Noordring

Opdrachtgever:
TenneT TSO

Revisie	Datum	Wijzigingen ten opzichte van vorige revisie
00	19-07-2013	Eerste versie
01	06-08-2013	Aanpassing na commentaar TenneT
02	04-10-2013	Aanpassing na commentaar TenneT
03	15-11-2013	Aanpassing aan nieuwe versie overzichtstekeningen
04	07-02-2014	Aanpassing aan nieuwe versie overzichtstekeningen
05	04-04-2014	Aanpassing aan nieuwe versie overzichtstekeningen + toevoegen van werkmethode per span

Documentnummer: R3N-OWR-0013

<i>Opsteller</i> Michael Desmet Deputy Department Manager	<i>Controleur</i> Pieter de Jager Ontwerp Manager	<i>Vrijgever</i> Erik Duwel Project Manager
---	---	---

**Distributie**

Naam	Bedrijf
Extern	
Guido Volman	TenneT TSO
Intern	
Erik Duwel	BAM
Pieter de Jager	BAM
Eric van Rooijen	BAM
Rob Bakker	BAM
Erwin ten Cate	BAM
Michaël Desmet	Cofely Fabricom
Koen Pieters	Cofely Fabricom
Hein Pijnappel	Mott McDonald

Beheer

De documentbeheerder van de combinatie verzorgt de distributie. Alleen houders van een geregistreerde kopie ontvangen automatisch aanvullingen en/of wijzigingen. Het is de verantwoordelijkheid van de houders het document up to date te houden. De laatste versie is altijd beschikbaar in ThinkProject!

Indien documenten worden geprint, geldt het volgende: een geregistreerde kopie is geldig vanaf de datum van uitgifte. Bij uitgifte van een document met een hoger revisienummer verliest de voorgaande versie automatisch haar geldigheid. Kopiehouders dienen het voorblad van een ongeldige versie te markeren met een diagonale lijn samen met de tekst 'vervallen'.

Neem bij twijfel over de geldende versie contact op met de documentbeheerder.



Inhoudsopgave

Referentie lijst	3
1. Inleiding	4
2. Uitgangspunten	5
2.1. Omschrijving van de stappen voor amovatie	5
2.2. Eisen	5
2.3. Raakvlakken	5
2.4. Bindende en informatieve documenten	6
2.5. Risico's en kansen	6
3. Uitwerking ontwerp	7
3.1. Aanvragen van de nodige VNB's/vergunningen/	7
3.2. Definiëren van de nodige beschermingsmaatregelen en verkeersmaatregelen	7
3.3. Uitwerken van de toegangswegen in samenwerking met BAM-wegen	9
3.4. Definiëren van de verschillende trek- en remstations in functie van planning en omgeving	10
3.5. Aarden van de werkzones, op wiel leggen en amoveren van de geleiders	10
3.6. Optuigen van de masten waar nodig (Mast 42N, M45, M50, M51, M55, M56, M60, M61, M62, M63, M64, M67, M71, M72, M74, M75)	11
3.7. Amovatie van alle masten met kraan	12
3.8. Knippen van de geamoveerde mastelementen op doek om knip- en verfschilfers op te vangen	13
3.9. Afvoer van de afkomende materialen	13
3.10. Uitbraak van de bestaande funderingen tot 2 m onder maaiveld	13
3.11. Aanvullen van grond rekening houdend met nalink (incl. "schoon grond" verklaring)	14
3.12. Controle en opkuis omgeving op restanten van betonnen delen	14
4. Veiligheid	14
5. Bijlagen	15

Referentie lijst

Ref	Document naam
[A]	R3N-PLN-0001Planning
[B]	R3N-PLA-0005-01 VNB Plan
[C]	Eindtermen 2.0 TIS 11-056a
[D]	Lijnen-"Standaard Programma van Eisen Randstad 380KV" PVE.050.000 versie 1.0, d.d. 25 november 2010
[E]	Lijnen-"Specifiek Programma van Eisen Randstad 380KV" PVE 05.001 versie 2.3, d.d. 4 Juli 2012
[F]	"Algemene specificatie installatie geleiders klemmen armaturen isolatoren HS lijnen" SPE.05.324 versie 1.0
[G]	R3N-REG-0002-00Kans en Risico Register
[H]	R3N-MPL-0014-1.02 Project management plan
[I]	R3N-MPL-0006-01 Omgevingsmanagement plan



1. INLEIDING

De komende jaren werken het ministerie van Economische Zaken en TenneT aan de aanleg van een nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding in de Randstad. De nieuwe verbinding stelt de voorziening van elektriciteit in de Randstad veilig.

Het ontwerptraacé van de nieuwe Randstad 380 kV verbinding is sinds eind 2008 bekend. De plannen gaan uit van twee ringen, tussen Wateringen en Zoetermeer (de Zuidring) en tussen Zoetermeer en Beverwijk (de Noordring). Eind 2012 heeft Tennet de aanbesteding opgestart voor het gedeelte van de Noordring tussen station Vijfhuizen en Bleiswijk. Het contract is opgedeeld in twee percelen, waarbij de grens ligt bij Zuidelijke Ringvaart. Dit document heeft betrekking op perceel 2 (het zuidelijke gedeelte).

BAM heeft op 8 juli 2013 het contract ondertekend met TenneT voor het ontwerp en realiseren van perceel 2. Het voorliggende document is onderdeel van het Definitief Ontwerp en behandelt het Jukkenplan voor de amovatie van de bestaande lijn.

2. UITGANGSPUNTEN

2.1. OMSCHRIJVING VAN DE STAPPEN VOOR AMOVATIE

In deze paragraaf wordt de volledige werkmethode besproken voor het amoveren van een hoogspanningslijn. Deze bestaat uit volgende stappen:

1. Aanvragen van de nodige VNB's
2. Definiëren van de nodige beschermingsmaatregelen en verkeersmaatregelen
3. Uitwerken van de toegangswegen in samenwerking met BAM-wegen
4. Definiëren van de verschillende trek- en remstations in functie van planning en omgeving
5. Aarden van de werkzones, op wiel leggen en amoveren van de geleiders
6. Optuien van de masten waar nodig (beveiliging van de locaties)
7. Amovatie van alle masten met kraan
8. Knippen van de geamoveerde mastelementen op doek om knip- en verfschilfers op te vangen
9. Afvoer van de afkomende materialen
10. Uitbraak van de bestaande funderingen tot 2 m onder maaiveld

Voor een meer gedetailleerd overzicht refereren we naar onze algemene planning (ref [A]).

2.2. EISEN

De belangrijkste eisen voor de amovatie zijn:

- Aantoonbaarheid afvoeren van materialen conform de wettelijke voorschriften
- Fundatieblokken dienen geheel te worden verwijderd.
- Verfschilfers en restmaterialen dienen op een deugdelijke wijze worden afgevoerd. Er mogen geen vervuilingen zoals olieresten achterblijven.
- Palen en/of ankers dienen tot minimaal 2 m onder maaiveld verwijderd te worden. Er mogen geen restanten en betondelen groter dan 2 cm achterblijven.

2.3. RAAKVLAKKEN

In deze paragraaf worden de raakvlakken behandeld voor het amoveren van een hoogspanningslijn. De belangrijkste raakvlakken zijn:

- VNB van de te amoveren lijn (ref [B])
- Materialen van derden in de masten (Telecom,...)
- K & L rond de te amoveren fundatie, te plaatsen tijdelijke jukken en de grondankers
- Beschikbaarheid toegangswegen naar mast amovatie locatie
- Verkeersbeheersmaatregelen (CROW)

2.4. BINDENDE EN INFORMATIEVE DOCUMENTEN

In deze paragraaf worden de bindende en informatieve documenten behandeld voor het amoveren van een hoogspanningslijn. De belangrijkste documenten zijn:

- Vraagspecificatie tracé Vijfhuizen – Bleiswijk
- Eindtermen TenneT 2.0 (ref [C])
- Lijnen-“Standaard Programma van Eisen” (ref [D])
- Lijnen-“Specifiek Programma van Eisen Randstad 380kV” (ref [E])
- “Algemene specificatie installatie geleiders klemmen armaturen isolatoren HS lijnen” (ref [F])
- CROW richtlijnen

2.5. RISICO'S EN KANSEN

De belangrijkste kansen en risico's met betrekking tot amovatie zijn:

- KR222 Bestaande geleider breekt bij verwijderen
- KR183 Grondvervuiling rond bestaande / te amoveren masten
- KR042 beschermingsmaatregel kraan met net wordt niet aanvaard/toegelaten als bescherming
- KR226 Niet noodzakelijk aanbrengen botsabsorbering / wegsignalisatie bij amovatie

De risico's en kansen zijn nader uitgewerkt in het risico's en kansenregister (ref [G]).

3. UITWERKING ONTWERP

In dit hoofdstuk worden in de onderstaande paragrafen de te nemen stappen nader beschreven voor het amoveren van de kabels en de masten. Voor meer gedetailleerde werkmethoden refereren we naar onze interne werkinstructies die uitvoerig besproken kunnen worden tijdens werk vergaderingen of de kick of meeting.

De communicatie met veiligheidsdeskundigen en bouwleiders van Tennet wordt beschreven in het Project management plan (ref [H]).

3.1. AANVRAGEN VAN DE NODIGE VNB'S/VERGUNNINGEN/...

Voor snelweg, spoor of water overgangen moet er met de betrokken instanties worden bekeken op welke manier de werken kunnen worden uitgevoerd. Eventueel met een VNB. In het omgevingsmanagement plan (ref [I]) wordt verder ingegaan over hoe de communicatie verloopt met de omgeving (rentmeester/landeigenaar/gemeenten/waterschappen/...).

3.2. DEFINIËREN VAN DE NODIGE BESCHERMINGSMAATREGELEN EN VERKEERSMAATREGELEN

Afhankelijk van de te beschermen obstakels, wordt er gekozen voor specifieke beschermingsmaatregelen. zie bijlage 1 voor een compleet overzicht:

A. Houten beschermingsjukken



Houten beschermingsjuk

Afhankelijk van de omgeving wordt er gekozen voor het plaatsen van deze jukken in een gegraven put of in een betonblok. Wanneer we werken in de nabijheid van kabels, leidingen of we zijn niet zeker wat er in de ondergrond zit wordt de kuil manueel gegraven (voor een paal van 14m => 1,4m diep). De Jukken/betonblokken worden vervoerd en geïnstalleerd door een aangepaste vrachtwagen met een mobile laadkraan. Tijdens het lossen en installeren op de openbare weg wordt de nodige signalisatie voorzien. Na installatie worden de jukken afgeschermd met jersies of gemarkeerd aan de voet. Zie bijlage 2 voor de verschillende afmetingen.



Gegraven put



betonblok (2,6t)



Installatie juk

B. Kranen met net

Een kraan wordt uitgerust met horizontale liggers waartussen netten worden gespannen. De kraan wordt opgebouwd in de nabijheid van de te beschermen zone waarna de giek over het obstakel kan worden gedraaid wanneer nodig. (zie bijlage 3 voor enkele voorbeelden)



Kraan opstelling met netten

C. Stellingen

Wanneer jukken of kranen niet voldoende kunnen beschermen wordt er geopteerd voor stellingen met netten. Deze kunnen worden aangepast naar gelang de situatie. (zie bijlage 4 voor enkele voorbeelden)



Stellingen met netten

D. Kraan met afrolwiel

Op plaatsen waar het obstakel kort bij de mast staat is het mogelijk gebruik te maken van een kraan met afrolwiel als mechanische bescherming. De geleider wordt bij het wegtrekken over de volledige lengte begeleid door het wiel. Bij breuk zal de kabel automatisch naar de grootste tracé worden getrokken en dus het obstakel beschermen. (zie bijlage 5 voor enkele voorbeelden)



Bescherming met afrolwiel

3.3. UITWERKEN VAN DE TOEGANGSWEGEN IN SAMENWERKING MET BAM-WEGEN

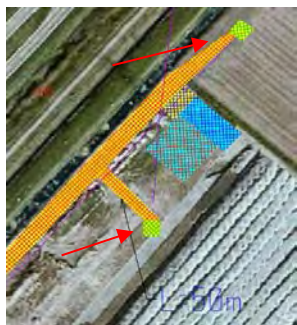
Bij het ontwerp van de toegangswegen wordt gekozen voor het traject die de kleinste impact heeft op de omgeving. Dit wil zeggen dat deze (voor zover mogelijk) starten van de toegangswegen van BAM-Wegen om zo naar de te amoveren masten gaat. Dit traject wordt vastgelegd op een toegangsplan.



Toegangsplan

3.4. DEFINIËREN VAN DE VERSCHILLENDE TREK- EN REMSTATIONS IN FUNCTIE VAN PLANNING EN OMGEVING

Het bepalen van deze trek- en remstations gebeurt parallel met het bepalen van de toegangen. Hun inplanting wordt dan ook op dezelfde plannen vastgelegd.



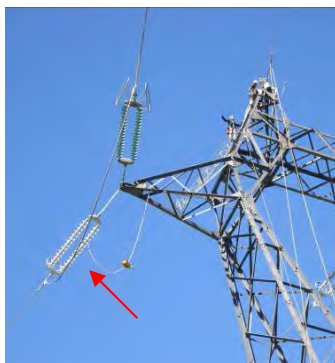
Inplanting trek- en remstations



Trek/Rem machines

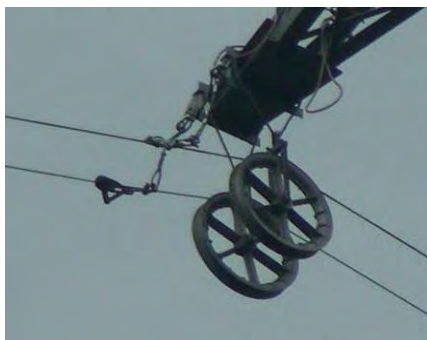
3.5. AARDEN VAN DE WERKZONES, OP WIEL LEGGEN EN AMOVEREN VAN DE GELEIDERS

Van zodra we toestemming hebben gekregen om aan te masten te mogen werken (zie ref [B]), worden alle werkzones geaard. Onder werk zone wordt verstaan: trek- en reminstallatie, lijnbanken, afrolwielen en de te amoveren geleiders.



Aarden van werkzones

Afrolwielen worden in de masten gemonteerd waarin de geleiders worden opgehangen.



Geleider op afrolwiel

Eens de twee vorige stappen zijn uitgevoerd, kunnen de geleiders geamoveerd worden met behulp van een trek- en reminstallatie. Hierbij worden de geamoveerde geleiders op een haspel gewikkeld om afgevoerd en verschroot te worden. Eventueel aanwezige ringleiding en aardelektroden worden ook verwijderd.



Oprollen van oude geleider op haspel

Op de trajecten tussen masten 43N en 45, 51 en 55 (tijdelijke omleiding), 55 en 61, 65 en 68 en 71 en 74 bevinden zich geen obstakels onder de lijnen. Daar kunnen we de geleider tot op de grond laten zakken met behulp van lieren. De geleider wordt vervolgens opgerold op conische bobijnen met behulp van een kleinere trekmaschine, of wordt in stukken geknipt en manueel opgerold. In bijlage 6 vindt u een overzicht van de aanbevolen werkmethode per span.

3.6. OPTUIEN VAN DE MASTEN WAAR NODIG (MAST 42N, M45, M50, M51, M55, M56, M60, M61, M62, M63, M64, M67, M71, M72, M74, M75)

Om de stabiliteit van de aangrenzende masten te vrijwaren dienen deze opgetuid te worden. Dit wordt gedaan door middel van kabels te spannen tussen de verankeringen van de geleiders die geamoveerd worden en grondankers. De trekkracht in deze tuikabels zal het onevenwicht in krachten opvangen. Zie bijlage 7 voor de technische informatie over het te amoveren tracé.



Tuikabels



Grondverankeringen

Om ongevallen te voorkomen worden deze grondverankeringen beveiligd door een mobiele afsluiting type "Heras". Indien nodig wordt het gebied ook bewaakt door een bewakingsagent.



Afbakening van een grondverankering

Voor het amoveren van een mast dient een keuze gemaakt te worden voor het type kraan. Deze is afhankelijk van factoren zoals de hoogte en het gewicht van de onderdelen. Een bijkomende factor is de afstand van de kraan ten opzicht van de mast. Deze gegevens worden vastgelegd op een hijsplan door het kraanbedrijf.



Amoveren van mastelementen

3.8. KNIPPEN VAN DE GEAMOVEERDE MASTELEMENTEN OP DOEK OM KNIP- EN VERFSCHILFERS OP TE VANGEN

Eens neergezet worden de mastelementen geknipt tot kleinere onderdelen door middel van een hydraulische knipschaar.



Knippen van mast elementen

3.9. AFVOER VAN DE AFKOMENDE MATERIALEN

De geknipte mastonderdelen worden in containers geladen en afgevoerd naar een gespecialiseerd bedrijf om verschroot te worden.



Afvoer van materiaal

3.10. UITBRAAK VAN DE BESTAANDE FUNDERINGEN TOT 2 M ONDER MAAIVELD

Bij het uitbreken van de funderingen worden de stalen sokkels samen met het beton en de wapeningsstaven uitgebroken en afgevoerd tot de afgesproken diepte (afhankelijk van het funderingstype).

3.11. AANVULLEN VAN GROND REKENING HOUDEND MET NALINK (INCL. “SCHOON GROND” VERKLARING)

De ontstane uitgravingen worden opgevuld met aangevoerde grond (uit ontgraving nieuwe fundaties). De kwaliteit en samenstelling van deze grond wordt gewaarborgd door de “schoon grond” verklaring. Het terrein wordt achtergelaten conform de overeenkomst met de landeigenaar.



Aanvullen van grond

3.12. CONTROLE EN OPKUIS OMGEVING OP RESTANTEN VAN BETONNEN DELEN

Voor het verlaten van de werkzone wordt er nagegaan of alle betonnen delen weg zijn. Hierbij wordt er ook nagegaan of er geen verf- of metaalschilders afkomstig van het knippen overblijft.

4. VEILIGHEID

De veiligheidsaspecten worden opgenomen en besproken in een specifieke risicoanalyse. In bijlage 8 ziet u hiervan een voorbeeld. Deze specifieke risicoanalyse wordt opgesteld alvorens de werken van start gaan en krijgt meer een meer vorm naargelang de voorbereidingen vorderen.

Bijzondere aandachtspunten zijn onder andere:

- Veiligheid van derden
- Veiligheid van eigen personeel
- Inductie
- Val van personen
- Val van voorwerpen
- Persoonlijke beschermingsmiddelen

Deze worden specifiek besproken in werkprocedures en herhaald aan alle personeelsleden onder de vorm van kick-off, onthaal op de werf, toolbox meetings, LMRA, veiligheidsinspecties, enz..

De project specifieke risico's, organisatie documenten, veiligheidsbeleid plan, VNB's, ... zullen worden opgenomen in een V&G plan alvorens de werken van start gaan.



5. BIJLAGEN

- Bijlage 1 Bescherming en signalisatie
- Bijlage 2 Jukken met 4 en 5 balken
- Bijlage 3 Beschermingskraan met net
- Bijlage 4 Beschermingen met stelling plus net
- Bijlage 5 Beschermingskraan met afrolwiel
- Bijlage 6 Werkmethode per tracé
- Bijlage 7 Technische informatie te amoveren tracé
- Bijlage 8 Algemene veiligheids documenten

BIJLAGE 1

Bescherming en signalisatie

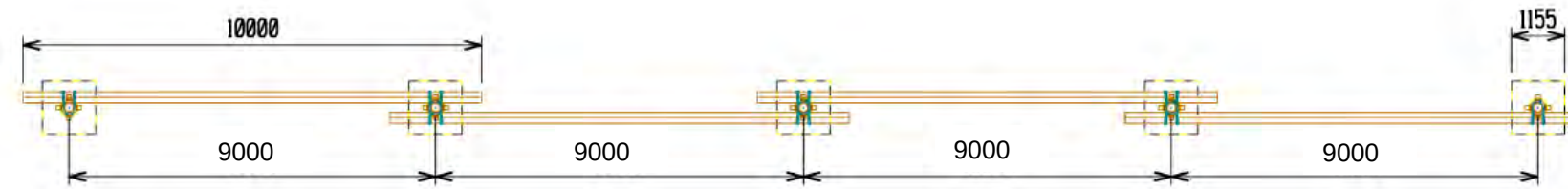
MAST of VELD	BESCHRIJVING HINDERNIS	houten JUK met 4 horizontale liggers	houten JUK met 5 horizontale liggers	Houten JUK met 9 horizontale liggers	Specifiek		Wegsignalisatie
YMM42A- YMM43	veldweg				afsluiten met Heras		
YMM43- YMM44	Rottedijk				afsluiten met Heras		
YMM44- YMM45	veldweg				afsluiten met Heras		
YMM45- YMM46	fietspad Noorddijk	JUKA25					
YMM46 tot en met YMM49	GOLFBAAN BENTWOUD						
YMM50- YMM51	2 vaksbaan Hoogeveensweg	JUKA23 + JUKA24					voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
YMM54- YMM55	Westeinde	JUKA21 + JUKA22					
YMM59- YMM60	Vierheemskinderenweg	JUKA20					
YMM61- YMM62	4 vaksbaan N11 + fietspad						afsluiten met tussenschakels van 15minuten tijdens 5 nachten
	spoorlijn				2 kranen met afrolwiel + Hoogwerker		afsluiten met tussenschakels van 15minuten tijdens 5 nachten
YMM63- YMM64	Rijndijk + fietspad		JUKA18 + JUKA19		stelling voor fietspad STEL-F.02		
	Hondsdijk + fietspad		JUKA16 + JUKA17		stelling voor fietspad STEL-F.01		
YMM72- YMM73	Bospolder	JUKA14 + JUKA15				ALTERNATIEF : Verwijderen geleiders met rollenlijn (of alternatieve) methode waarbij geen jukken of kranen dienen geplaatst te worden. Enkel stopzetten van het verkeer gedurende perioden van +/- 15 minuten (overdag of 's nachts) vereist.	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
	afrit Rijksweg A4	JUKA13 + JUKA14					voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
	oprit Rijksweg A4	JUKA12 + JUKA13					voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
	spoorlijn				Stelling STELA03 + 04		
YMM73- YMM74	Rijksweg A4 + oprit Rijksweg A4				Stelling voor A4 STELA01 + STELA02		voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
	oprit Rijksweg A4			JUKA09 + JUKA10			voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
	Shell complex			JUKA07A + JUKA07B+ JUKA07 + JUKA08			
	afrit N446 + fietspad			JUKA04 + JUKA05 + JUKA06			voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
	Zuidzijderweg + nieuwe complex			JUKA2+ JUKA2A + JUK03			voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen jukken
YMM74- YMM75	Bospad	JUKA01D					
	Volkstuinjes/camping	JUKA01A + JUKA01B + JUKA01C					

Voor het overzichtsplan met een situatieschets refereren we naar het document 'R3N-TEK-001_018'

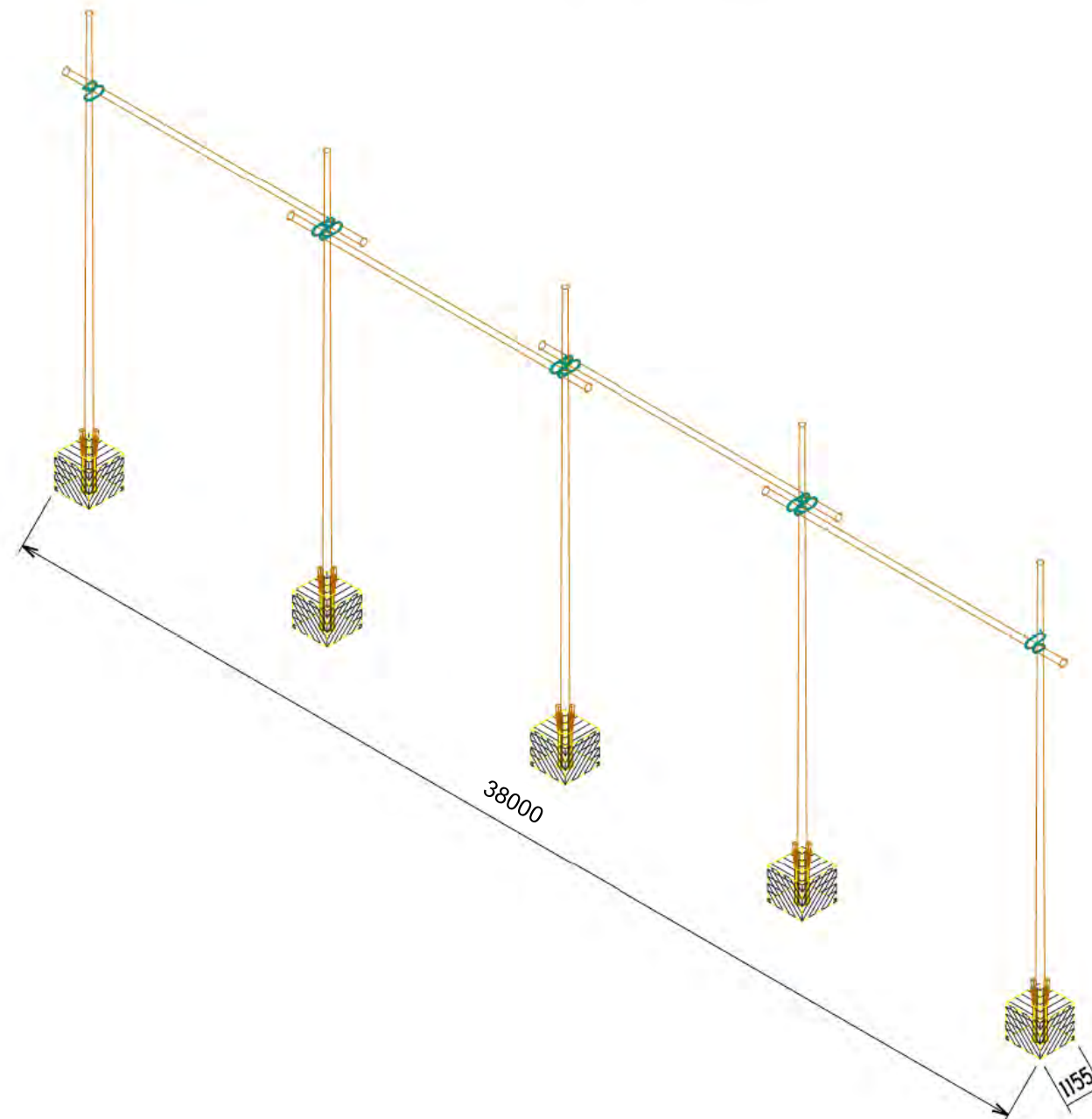
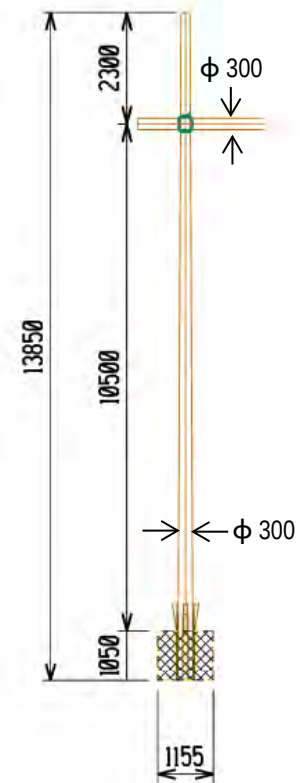


BIJLAGE 2

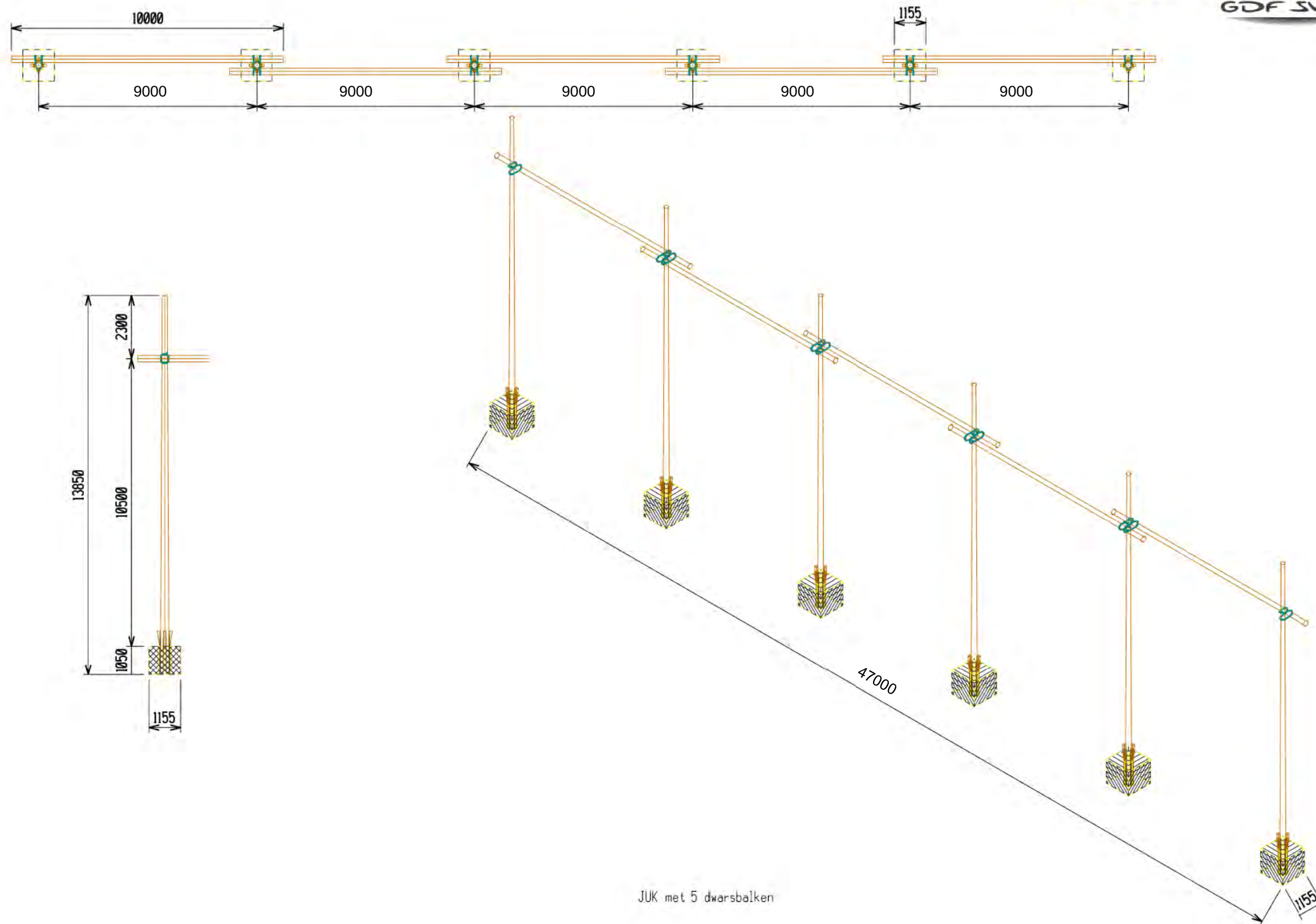
Jukken met 4 en 5 balken



COFELY FABRICOM
GDF SVEZ



JUK met 4 dwarsbalken



BIJLAGE 3

Beschermingskraan met net



BIJLAGE 4

Beschermingen met stelling plus net



BIJLAGE 5

Beschermingskraan met afrolwiel



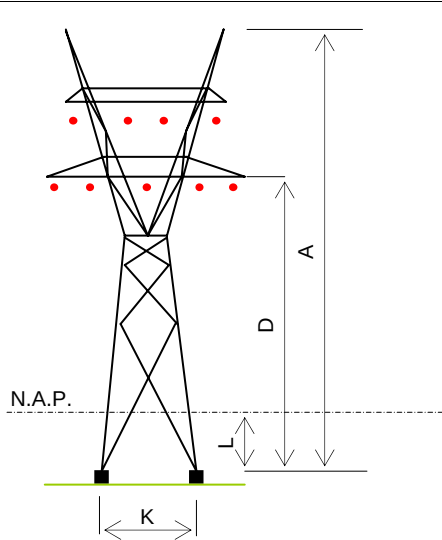
BIJLAGE 6
Werkmethode per tracé

OVERZICHT AMOVATIE VAN DE KABELS			
mast	type bevestiging	span	tir
juk	afspanning	juk-42N	42N-44: kabel laten zakken
42N	dubbele afspanning	42N-43	
43	enkele ophanging	43-44	
44	enkele ophanging		
		44-45	
			machine tir 45-50 mast 45 tuien
45	dubbele afspanning	45-46	45-50: kabel weggrollen
46	enkele ophanging	46-47	
47	enkele ophanging	47-48	
48	enkele ophanging	48-49	
49	enkele ophanging	49-50	
50	dubbele afspanning		
		50-51	
51	halfverankering	51-52	51-55: kabel laten zakken
52	enkele ophanging	52-portaal	
53 (later portaal)	enkele ophanging	53-54	
54 (later portaal)	halfverankering	portaal-55	
55	dubbele afspanning		
		55-56	mast 55 of 56 tuien afhankelijk van volgorde tirs
56	enkele ophanging	56-57	55-60: kabel laten zakken
57	enkele ophanging	57-58	
58	enkele ophanging	58-59	
59	halfverankering	59-60	
60	halfverankering		
		60-61	machine tir 61-62 mast 60 of 61 tuien afhankelijk van volgorde tirs
61	halfverankering	61-62	61-62: kabel weggrollen
62	dubbele afspanning		
		62-63	machine tir 61-62 / machine tir 63-64 mast 62 of 63 tuien afhankelijk van volgorde tirs
63	halfverankering	63-64	63-64: kabel weggrollen
64	halfverankering		
		64-65	machine tir 63-64 mast 64 of 65 tuien afhankelijk van volgorde tirs
65	dubbele afspanning	65-66	65-68: kabel laten zakken
66	halfverankering	66-67	
67	halfverankering	67-68	
68	dubbele afspanning		
		68-69	mast 68 of 69 tuien afhankelijk van volgorde tirs
69	halfverankering	69-70	68-71: kabel laten zakken
70	halfverankering	70-71	
71	halfverankering	71-72	
72	halfverankering	72-73	71-74: kabel laten zakken
73	dubbele afspanning	73-74	
74	halfverankering		



BIJLAGE 7

Technische informatie te amoveren tracé



MAST	NR. TYPE			JUK	42N	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63							
				ES	EHD	DD	DD	HU	DD	DD	DD	DD	HU	DD	DD	DD	DD	HU	DD	DD	DD	DD	DD	DD	HU	DF							
	HOOFDMATEN		A	12,00	31,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	84,00							
			D	7,00	18,00	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50	62,00							
			K		10,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	16,00							
MAAT t.o.v. N.A.P.		L			3,63-	3,77-	3,44-	3,74-	3,51-	3,87-	3,78-	3,56-	3,83-	4,00-	3,96-	3,83-	3,08-	3,82-	3,90-	3,67-	0,94-	1,10-	1,00-	0,72-	0,07-								
LENGTE		VELDLENGTE			30,05	304,94	424,87	430,07	528,62	427,19	426,43	426,36	427,77	439,53	431,50	431,44	432,44	419,21	420,39	431,72	391,70	412,98	437,85	437,72	455,45	358,52							
		VAKLENGTE			30,05	1159,88				2136,37				2154,12				2987,81															
SAMENSTELLING		STROOMGELEIDER		2xCu 185mm² σ=40N/mm²				2x Cu 185mm² σ=135N/mm²																									
		BLIKSEMGELEIDER		Br 50mm² σ=60N/mm²				Br 50mm² σ=215N/mm²																									
WEGKAART		1772				1773				1774				1775				1776				1777				1778				1779			
GEMEENTE		ZEVENHUIZEN-MOERKAPELLE								RIJNWOUDE																							

TYPE BEVESTIGING		MAST	
SYMBOOL	BENAMING	TYPE	AANTAL
	ENKELE AFSPANNING	DD	24
		DE	4
		DF	2
		DH	1
		HU	6
		HV	2
	DUBBELE AFSPANNING	HW	2
		HX	1
		EHD	2
		ES	2
TOTAAL	46		
	ENKELE OPHANGING		
	DUBBELE OPHANGING		
	HALF-VERANKERING		
	EXTRA BEVEILIGING 1 ZIJDE		
	EXTRA BEVEILIGING 2 ZIJDEN		

↑

180°

↑

148°53'

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

DOES

↑

RIJKSWEW A4

↑

↑

↑

148°55'

↑

PROVINCIALEWEG 446

↑

PROVINCIALEWEG 445

↑

138°05'

↑

DWARSWATERING

↑

DE ZIJL

↑

152°59'

↑

IJSSELMEERLAAN

↑

↑

163°

↑

GOOIMEERLAAN

↑

↑

64

DF

84,00

62,00

16,00

0,16+

65

HU

53,00

38,50

12,00

0,50-

66

DD

53,00

38,50

12,00

0,47-

67

DD

53,00

38,50

12,00

0,37-

68

HV

54,50

38,50

13,00

0,08-

69

DD

53,00

38,50

12,00

0,73-

70

DD

53,00

38,50

12,00

0,76-

71

DD

53,00

38,50

12,00

0,82-

72

DD

53,00

38,50

12,00

0,68-

73

HU

53,00

38,50

12,00

0,93-

74

DD

53,00

38,50

12,00

0,88-

75

DD

53,00

38,50

12,00

1,17-

76

HV

54,50

38,50

13,00

0,87-

77

DE

53,00

38,50

12,00

0,76-

78

DE

53,00

38,50

12,00

0,58-

79

HW

54,50

38,50

13,00

0,90-

80

DE

53,00

38,50

12,00

0,71-

81

DH

84,00

62,00

16,00

0,19-

82

HX

89,00

67,00

18,00

1,48+

83

DE

53,00

38,50

12,00

0,46-

84

HW

54,50

38,50

13,00

0,05-

85

EHD

31,00

18,00

10,00

0,58+

JUK

ES

12,00

7,00

253,24

543,86

455,32

427,71

456,77

465,00

431,85

460,02

404,27

324,81

426,52

395,15

419,26

315,90

360,41

383,12

453,68

534,83

388,56

482,05

387,19

251,03

26,57

1155,62

1339,80

2085,95

1240,93

1059,43

1377,07

869,24

251,03

26,57

2x Cu 185mm² σ=135N/mm²

Br 50mm² σ=215N/mm²

2x Cu 185mm² σ=40N/mm²

Br 50mm² σ=60N/mm²

1779

1780

1781

1782

1783

1784

1785

1786

RIJNWOUDE

LEIDERDORP

LEIDEN

TOTALE LENGTE 17873,87

ZT-LD150

tennet

BV065-2

150kV verb. Zoetermeer - Leiden



BIJLAGE 8

Algemene veiligheids documenten

[illegible]

KICK-OFF MEETING

Intern gebruik / Usage interne: ☐Extern gebruik / Usage externe ☐
 BU INFRA
 Division High Voltage
 Department Lines
 Section
Onderaannemer / Sous-traitant: ☐

WBS-n°: R-029283-100		Datum / Date :/...../.....	
Verdeling /Diffusion : werf - chantier / MDT / CDE / WKU / LWO / BDD / Preventiedienst - Service de Prévention			
Opgesteld door / Etabli par :		Handtekening / Signature:	
Aanwezigen / Présences:			
Het werk Algemene planning van de klant Uitgewerkte planning Projectplan (met risicoanalyse)	Le travail Planning général du client Planning interne détaillé Plan de projet (avec analyse des risques)	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐	
Risicovolle werken Onder spanning Hoogwerker - Vorkheftruck - Kraan Werkzaamheden langs de wegen Werkzaamheden langs het water Hiiwwerkzaamheden Asbest	Travaux à risques Sous tension Élévateur à fourche - Élévateur - Grue Travaux au voisinage des routes Travaux à proximité de l'eau Levage Amiante	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Organisatie Organigram van de klant Organigram werf V-verantwoordelijke op site Uurooster	Organisation Organigramme du client Organigramme Chantier Responsable de sécurité sur site Horaire	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Reglementen en procedures Specifieke PBM's Bijzondere regels opdrachtgever Gebruik van werkvergunning Gebruik van werkvergunning Gebruik van stellingen Documenten A-ongeval aanwezig ? Werken met specifieke opleiding nodig ? Afbakening van gevaarlijke zones Orde en netheid op de werf (doorgangen) Personeelvervoer Mogelijkheden tot parkeren Specifieke werkvergunning(en)	Règlements et procédures EPI's spécifiques Règles particulières du client Utilisation du permis de travail Utilisation du permis de feu Utilisation d'échafaudages Documents Accidents présents? Travaux exigeant une formation spécifique Délimitation des zones dangereuses Ordre et propreté du chantier (passages) Transport de personnel Emplacement de parkings Permis de travail spécifique(s)	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Gevaarlijke producten Eigen levering Geleverd door de klant Geleverd door derde	Produits dangereux Fournis par nos soins Fournis par le client Fournis par des tiers	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Noodsituaties Noodtelefoonnummers Hulpverleners EHBO-kist	Situations d'urgence Numéros d'appel d'urgence Secouriste Boîte de secours	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Werfinstallatie Keuring door erkend organisme Orde en netheid Sanitaire installatie Toegankelijkheid Materieel voor werfinstallatie beschikbaar Affichering van documenten Onderhoudsproducten	Installation chantier Contrôle par organisme agréé Ordre et propreté Installation sanitaire Accès installation chantier Disponibilité du matériel utile à l'installation Affichage des documents Produits d'entretien	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Nutsvoorzieningen Elektriciteit Water Telefoon Afvoer afvalwater	Utilités Electricité Eau Téléphone Evacuation des eaux usées	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Afval Afvalophaling Scheiden van afval / container	Déchets Enlèvement des déchets Tri des déchets - Conteneurs	O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
Arbeidsmiddelen Nodige middelen op werf	Equipements de travail Matériel nécessaire sur site	O.K. ☐ N.A. ☐	
In te vullen als een onderaannemer (=O.A.) aanwezig is op de werf Inpassing activiteiten O.A. in eigen planning Contacten met de klant verlopen uitsluitend via werfleider V-plan O.A. doornemen Gevaarlijke producten geleverd door O.A. Eigen werfinstallatie	A remplir en cas de présence de sous-traitant (1 document par sous-traitant) Insertion de son planning dans le planning général Tout contact avec le client via le chef de chantier Vérification de son propre plan de sécurité Produits dangereux utilisés par le sous-traitant Installation de chantier propre	N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐ O.K. ☐ N.A. ☐	
In het geval het volledige werk aan de O.A. uitgegeven werd : O.A. geeft toolbox meetings aan zijn (*) personeel Lijst van zijn werknemers op de werf up to (*) date houden Onthaal op de werf organiseren voor zijn (*) personeel = Ingevulde formulieren zijn steeds op de (*) werf aanwezig	Dans le cas ou le travail entier serait donné à un sous-traitant(s) (S.T.): * Le S.T. donne des 'toolbox meetings' à son personnel Le S.T. a une liste à jour de présence de son * personnel sur le chantier Le S.T. organise l'accueil sur le chantier pour son * personnel = Les formulaires remplis sont toujours présent (*) sur le chantier	N.A. ☐ O.K. ☐ O.K. ☐ O.K. ☐	
Voor akkoord: Naam vertegenwoordiger O.A.: Pour accord: Nom du représentant du sous-traitant:		Handtekening: Signature:	

TOOLBOX-MEETING

BELGIAN & INTERNATIONAL OPERATIONS -

Division : High Voltage

Department : Lines

IN TE VULLEN DOOR WERFLEIDER - A REMPLIR PAR LE CHEF DE CHANTIER	Project : Projet :		WBS R-029283-100	Datum : Date :
	Verdeling : Werf / Project / MDT / CDE / LWO		(SEM) / or WKU / BDD	Dienst Preventie / Afdeling Veiligheid
	Diffusion : Chantier /		(DEM) /	Service Prévention
	Toolbox gehouden door : Toolbox tenu par:			
	Naam - Nom		Functie - Fonction	Handtekening - Signature
	Besproken onderwerpen - Sujets discutés			
	Maandthema - Thème mensuel:			
	Opmerkingen tijdens het laatste veiligheidsprojectbezoek - Remarques de la dernière visite de sécurité de projet:			
	Projectgebonden risico's - Risques liés au projet:			
IN TE VULLEN DOOR DEELNEMERS - A REMPLIR PAR LES PARTICIPANTS	Ongeval & Incident te melden - Accident & Incident à mentionner:			
	Waar en wanneer - Où et quand:			
	Wat - Quoi :			
	Preventieve actie - Action préventive:			
	Rondvraag - Tour de table:			
	Aanwezigen - Présences:			
	Naam - Voornaam / Nom - Prénom		Firma - Firma	Handtekening - Signature
	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
	6.			
	7.			
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				

ALGEMENE RISICOANALYSE LIJNEN

VOLGORDE VAN DE WERKZAAMHEDEN	RISICO	OORZAAK	BESCHERMINGSMIDDELEN / MAATREGELEN
0. Aanleg en inrichting van de werfopslagplaats en verkeer in de opslagplaats en op het openbaar domein			
0.1. Opslagplaats	Val - personeel - voorwerpen	- onstabiel opslaan van goederen - onbekwaamheid of onvoldoende informatie van personeel - hindernissen in de doorgang	- materieel en materiaal op doordachte wijze opstapelen - voldoende afstand laten tussen de voorwerpen - PBM en CBM gebuiken - informatie en opleiding van personeel - alle materiaal en materieel uit de doorgangen verwijderen
	Elektrische risico's	- slecht geïsoleerde elementen onder spanning - aansluitingen / uitrustingen " die niet volgens de voorschriften geïnstalleerd, hersteld of onderhouden zijn "	- een periodieke controle laten uitvoeren door een bekwaam persoon en de herstellingen of aanpassingen van het netwerk toevertrouwen aan gekwalificeerd personeel
0.2. Orde en netheid	Hygiëne	- afwezigheid van richtlijnen aan het personeel - beschadigingen - vandalisme	- informeren van het personeel - plaatsing van voldoende afvalcontainers
0.3. Verkeer ingeval van onheil	Ontoegankelijk voor hulpdiensten	- geblokkeerde wegen	- indien nodig een toegangsplan opstellen - informeren van het personeel - verbieden de toegangswegen te blokkeren
0.4. Verkeer openbaar domein	Geblokkeerd verkeer	- ontbreken verkeersplan	- eventueel een verkeersplan opstellen in overleg met de bevoegde instanties
	Ontoegankelijk voor hulpdiensten	- geblokkeerde wegen	- informeren van het personeel
1. Funderingen			
1.1. Inplanting	Slechte inplanting	- fout bij het opnieuw uitzetten van de mast - fout bij het inplanten van de assen	- tegensprekelijk uitzetten van het centrum en de paaltjes van de assen in het bijzijn van de afgevaardigde van bouwheer en aannemer
	Contact met nutsleidingen	- aanwezigheid van kabels/buizen/kanalisaties in de grond	- officiële aanvraag van de plannen aan de verschillende eigenaars van de ondergrondse exploitaties
1.2. "Klassieke" funderingen	Val -Personeel - Derden - Dieren	- ontbreken van collectief beschermingsmiddel - ontbreken van ladders en/of loopplanken - aanwezigheid van dieren	- opleiding van de bestuurder - opleiding van en instructies aan het personeel - controle op het dragen van de PBM-CMB werktuiging - afbakening - toegang verbieden voor niet-bevoegde personen - laten weghalen
	Instortingen	- ontbreken en/of te snel verwijderen van de beschoeiing - aard van de bodem	- bescherming tegen instortingen (beschoeiing, bestutting) - instructies aan het personeel
	Contact met bewegende of stilstaande voorwerpen	- aanwezigheid van machines, materiaal en materieel dat al dan niet veel plaats inneemt	- de toegang ontzeggen aan elke persoon wiens aanwezigheid niet absoluut noodzakelijk is - het dragen van de PBM verplichten, CBM - bepalen van veiligheidsafstanden - scholing van het personeel

ALGEMENE RISICOANALYSE LIJNEN

VOLGORDE VAN DE WERKZAAMHEDEN	RISICO	OORZAAK	BESCHERMINGSMIDDELEN / MAATREGELEN
1.3. Funderingen op palen, micropalen en valse putten	Stoten tegen voorwerpen Vallen van voorwerpen Val in de buis Al dan niet elektrische contacten Verzakking van de grond Contact met bewegende voorwerpen	- de buis steekt uit de grond na het heien - omvallen van de heilmachine terwijl deze van de ene paal of pyloon naar de andere wordt verplaatst - buis met een grote diameter (> 70 cm) die uit de grond steekt - aanwezigheid van luchtlijnen - aanwezigheid van kabels/buizen/kanalisaties in de grond - overbelasting van de bodem door de machine tijdens de uitvoering - onstabiele grond - rondvliegen van producten (breken van de verbindingsaanhechtingen)	- eventuele installatie van collectieve beschermingsmiddelen (afsluitingen) - de aard van de bodem controleren voor de verplaatsing - demonteren of intrekken van de mast van de machine - volledig demonteren van de machine - voorlopige afsluiting van de buis - onmiddellijke vulling (indien mogelijk) - eventuele installatie van collectieve beschermingsmiddelen (afsluitingen) - de hoogte van de mast controleren - de mast eventueel intrekken tijdens de verplaatsing - verplichting om aan de uitbater de veiligheidsinstructies te vragen (AVIL - BVIL - BVIP) - informeren van het personeel - uitvoeren van verkennende graafwerken en/of de plannen van de nutsleidingen vragen aan de verschillende maatschappijen - een platform voor de uitvoering van de palen voorzien - een kleinere machine gebruiken - voorzien van een "veiligheidszone" - controle van de aansluitingen voor het begin van de activiteit - gebruik van de nodige en verplichte PBM's (werkkledij, regenkledij, bril, helm, veiligheidsslaarzen) door het personeel
2. Mastwerken			
2.1. Versteving van de masten - plaatsen van draadstelplaten - plaatsen van Arcusbollen (aarding) - plaatsen van bekabeling voor lichtbekabeling	Risico's verbonden aan de verplaatsingen op en onder de masten : Risico's op vallen : - personeel - voorwerpen	- ontbreken PBM - CBM - slechte verplaatsingen - onbekwaam gebruik van materiaal - slechte bevestiging van elementen	Veiligheidsvoorschriften (mechanische en elektrische) - AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning - Gevarezone op de grond - werkkleding (werktuigen) - CBM : collectieve beschermingsmiddelen - PBM : helmen, veiligheidsslaarzen, schoenen, handschoenen - Opleiden/informeren van het personeel - Verplicht gebruik van de levenslijn vanaf 2m hoogte bij het klimmen in masten
- toegang tot de schachten en tot de draagarmen	Staalkrullen Verwondingen (pols) Risico's te wijten aan de weeromstandigheden Elektrische en elektromagnetische risico's Blootstelling aan of elektrisch contact	- krullen en splinters - boren zonder automatische ontkoppeling - wind, rijm, ijs, sneeuw, regen op geverfde oppervlakten, onweer - draadstellen onder spanning	- gebruik van magneten - dragen van een bril - keuze van de werktuigen (boor met ontkoppeling) - voorschriften betreffende slechte weersomstandigheden (gladde oppervlakten, windkracht, onweer) - Veiligheidsvoorschriften (mechanische en elektrische) - AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning) - ter beschikking stellen van een draadstel - Identificatie van de draadstel(len) die onder spanning staan - schema van de lijn - waarschuwingssysteem voor een draadstel onder spanning (vlaggen)
- boren / uitboren	Blootstelling aan of elektrisch contact	- aansluitingen - werktuigen die niet volgens de voorschriften onderhouden of hersteld zijn	- controle - test - dubbele isolatie
- gebruik van elektrische machines en werktuigen - elektrische groepen - boren, slijpschijven, bouschroeven			

ALGEMENE RISICOANALYSE LIJNEN

VOLGORDE VAN DE WERKZAAMHEDEN	RISICO	OORZAAK	BESCHERMINGSMIDDELEN / MAATREGELEN
2.2. Samenvoegen van een mast op de grond - sortering - samenvoegen (kraan) - gebruik elektrische groepen - boren, boutschroeven - werken in de buurt van een lijn in dienst of in een hoogspanningspost	Risico op vallen - personeel - voorwerpen Blootstelling aan of elektrisch contact - contact met de HS	- slecht opslaan van hoekijzers - onstabiele geassembleerde stukken - hindernissen - onbekwaam of onvoldoende geïnformeerd personeel - aansluitingen - werktuigen die niet volgens de voorschriften onderhouden of hersteld zijn - onbekwaam of onvoldoende opgeleid en geïnformeerd personeel	- voorschriften (mechanische) AVIL - BVIL - BVIP - PBM (helm, veiligheidsharnassen, schoenen en handschoenen) - ladders - eventueel afbakenen van de werkzone - informeren en opleiden van personeel - doorgangen vrijmaken - controle - test - dubbele isolatie - opleiding - informatie - PBM - CBM - werkuitrusting - AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning - afbakening van de zones
2.3. Hijsen van een mast met de kraan - afbreken voor herbruiken of sloop	- Verzakking van het terrein Instorting van de kraan of van de werkbak (tijdens gebruik) Vallen van voorwerpen tijdens het optillen van elementen en de bevestiging ervan Gewelddadig contact tussen de kraan/werkbak en het personeel Blootstelling aan of elektrisch contact Val van mensen die op een bepaalde hoogte werken Val van voorwerpen tijdens hun gebruik Inspanningen, verkeerde bewegingen	- onstabiele bodem of ondergrond - onbekwaam gebruik, overbelasting - slechte bevestiging van elementen - onervaren kraanman - te snelle verplaatsing van voorwerpen - aanwezigheid luchtlijnen en/of spanning - niet naleven van de elektrische veiligheidsafstanden - AVIL - BVIL - slechte verplaatsingen - ontbreken van PBM - aanwezigheid van hindernissen - elektrische schok terwijl men in de mast klimt met een of meerdere draadstellen onder spanning - verkeerde werkmethode - materieel dat uit de handen valt - breken van het bevestigingsmateriaal - slechte verankering van de lasten - verkeerde behandeling van de lasten - slechte werkmethode	- Veiligheidsvoorschriften (mechanische en elektrische) - AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning) - dragen PBM - het vermogen van de kraan berekenen - controle van de kwaliteit van de bodem voor gebruik - voldoende verdeling van de druk over de grond - inspectie door de kraanman en of door bevoegd personeel - de coördinatie tussen de kraanman en de persoon die de lasten moet bevestigen optimaliseren (walkietalkie en/of signalen) - bekwaame personen - medische controle - opleiding van het personeel - de elementen onder spanning loskoppelen alvorens de activiteiten aan het elektrisch netwerk uit te voeren - de positie van de kraan / bak controleren - aan de uitbater van de werken vragen welke voorzorgen men moet nemen en welke afstand men moet respecteren. - op de mast klimmen via de daartoe voorziene uitrustingen (klimbouten, ladders, ...) Verplicht gebruik van de levenslijn vanaf 2m hoogte bij het klimmen in masten - gebruik van hoogwerker (portiek) - controle van de werkmethode - verplichting om de PBM's te dragen (beschermende handschoenen tegen val en inductie, veiligheids-schoenen, werkkledij, helm, veiligheidsharnas) - informeren en opleiden van het uitvoerend personeel - afbakenen van de werkzones en de omgeving van de machines die werken - beperken van het aantal mensen dat aanwezig is ter hoogte van de uitgevoerde werken - opleiden en informeren van het personeel - opleiding en instructies ter attentie van het uitvoerende personeel - controleren of de juiste heftechniek wordt toegepast
2.4. Specifiek geval : hijsen met de kraan - demonteren van een mast in de buurt van een lijn in dienst of in een hoogspanningspost	- idem 2.3. - contact met de HS	- onbekwaam of onvoldoende geïnformeerd of opgeleid personeel	- opleiding en informatie - PBM - CBM - werkuitrusting - AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning - afbakenen van de zones

VOLGORDE VAN DE WERKZAAMHEDEN	RISICO	OORZAAK	BESCHERMINGSMIDDELEN / MAATREGELEN
3. Kabelwerken 3.1. Luchtlijnen : - afrolwielen - koorden/trekkabels (met helikopter) - enkele geleiders - bundelgeleiders - normale aardkabel - OPGW-aardkabel - regelen en op klemmen zetten van de fasegeleiders - regelen en op klemmen zetten van de aardkabel - plaatsen van tegengewichten - aanbrengen van afstandhouders - aanbrengen van bebakeningsbollen - uitvoering afdaling op portiek post - bescherming door portieken - <u>speciale beschermingen :</u> - geëlektrificeerde NMBS - autosnelweg / expressway - kanaal - overspannen of naburige MS-lijnen - overspannen of naburige HS-lijnen	Risico's verbonden aan verplaatsingen op of onder masten : - onderhoud materieel ; materiaal ; machines ; monteren - portieken - Val : - personeel - voorwerpen - geklemd raken tussen draaiende voorwerpen (machines, afrolwielen, ...) - breken van de bevestiging van de uitrustingen aan het uiteinde van het draagvlak of slechte bevestiging - risico's te wijten aan de weersomstandigheden - breken trekkabel of kabel - val van de helikopter bij het trekken van de trekkabels	- ontbreken PBM - slechte radioverbindingen - ontbreken PBM - onaangepaste methode - onbekwaamheid - onvoldoende kennis van het personeel - slechte bescherming van het materieel - slecht opgeleid of geïnformeerd personeel - wind - rijm - ijzel - sneeuw - regen op geverfde oppervlakte - onweer - overbelasting van het gebuikte materieel - slechte bevestiging van het materieel - wegschuiven van de geleiders - slechte weersomstandigheden (mist, wind, ...) - aanzienlijke overbelasting	- Veiligheidsvoorschriften (mechanische en elektrische) AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning - zie nota Tractebel : soins à apporter aux conducteurs lors de leurs tirage (GGLIGNE4D 2531772 rev 03 van 03/05/95) - veiligheidsdocumenten voor toegang snijdingsbonnen, vlaggen,...) - gevarenzones respecteren (onder de masten, rond de machines, in de posten) - dragen PBM - zenders - ontvangers -GSM - PBM : helmen, harnas, schoenen, handschoenen - werktuiging (werktuigen) - CBM : collectieve veiligheidsuitrusting - ladders - opleiding - instructies - hoogwerker voor werken op portiek post - Verplicht gebruik van de levenslijn vanaf 2m hoogte bij het klimmen in masten - controleren of de beveiligingen doeltreffend werken - periodieke controle van het materieel - doc EBL (15-06-1986) - voorschriften betreffende slechte weersomstandigheden (gladde oppervlakten - windkracht - onweer) - periodieke controle van het materieel - opleiden / informeren van het personeel - vlucht verbieden - systeem voorzien om trekkabel los te laten

ALGEMENE RISICOANALYSE LIJNEN

VOLGORDE VAN DE WERKZAAMHEDEN	RISICO	OORZAAK	BESCHERMINGSMIDDELEN / MAATREGELEN
<u>Werken op en onder de masten</u> - toegang - gebruik van elektrische machines en werktuigen - Werken aan de binnen- en buitenkant van de masten - werken met zwaar materieel en kabels op de grond - werken op enkele of gebundelde fasegeleiders - trekken van een tweede draadstel en een aardkabel - trekken van een aardkabel	Elektrische en elektromagnetische risico's : 1. Blootstelling aan of elektrisch contact 2. Inductierisico's	- draadstellen onder spanning - naburige installaties onder spanning in de posten - aansluitingen die niet volgens de voorschriften onderhouden of hersteld worden - naburige draadstellen onder spanning - naburige installaties onder spanning in de posten	- Veiligheidsvoorschriften (mechanische en elektrische) AVIL - BVIL - BVIP - werkvergunning - Zie nota Fab-ERL/DUR 915.545 van 03/05/88 ; goedgekeurd en opgelegd door Tractebel en aanvullende nota van 29/05/91 - veiligheidsvoorschriften van de uitbater - afbakenen van de gevaarzones - ter beschikking stellen van één of van de twee draadstellen - identificatie van de draadstellen die onder spanning staan - waarschuwingssysteem van de circuits die onder spanning staan (vlaggen,...) - AVIL-BVIP-BVIL- werkvergunning - PBM-CBM - werkuitrusting - veiligheidsvoorschriften uitbater - afbakenen van de gevaarzones - ter beschikking stellen van één of van de twee draadstellen - identificatie van de draadstellen die onder spanning staan - waarschuwingssysteem van de draadstellen die onder spanning staan (vlaggen,...) - AVIL-BVIL-BVIP - werkvergunning - PBM-CBM - werkuitrusting - aarding machines (trekmachine - remmachine - haspelwagen) - aarding van de afrolwielen - aarding van de werkzones (ophanging en verankering) - aarding om de vijf masten (aanbevolen)
3.2. Aanbrengen van verlengkabels (geïsoleerde kabels): - werken in de posten	- toegang en verplaatsingen in de posten - elektrisch contact - val	- nabijheid van installaties onder spanning - aanwezigheid luchtlijnen - aanwezigheid kabels - buizen - kanalisaties of dergelijke in de grond - kabelgoten - sleuven	- veiligheidsvoorschriften van de uitbater - de werkzones en de toegangen afbakenen - AVIL-BVIL-BVIP- werkvergunning - opleiden en informeren van het personeel - de plannen vragen van alle luchtlijnen en grondkabels - CBM



R3N-OWR-0037 Jukkenplan Nieuwe Lijnen

Project:
Randstad 380 kV Noordring

Opdrachtgever:
TenneT TSO

Revisie	Datum	Wijzigingen ten opzichte van vorige revisie
01	06-08-2013	Eerste versie
02	04-10-2013	Aanpassingen aan nieuwe versie overzichtstekeningen
03	15-11-2013	Aanpassingen aan nieuwe versie overzichtstekeningen
04	07-02-2014	Aanpassingen aan nieuwe versie overzichtstekeningen
05	08-04-2014	Aanpassingen aan nieuwe versie overzichtstekeningen
06	24-04-2014	Aanpassingen aan nieuwe versie overzichtstekeningen

Documentnummer: R3N-OWR-0037

<i>Opsteller</i> Koen Pieters Project Leider	<i>Controleur</i> Pieter de Jager Ontwerp Manager	<i>Vrijgever</i> Erik Duwel Project Manager
--	---	---



Distributie

Naam	Bedrijf
Extern	
Guido Volman	TenneT TSO
Intern	
Erik Duwel	BAM
Pieter de Jager	BAM
Eric van Rooijen	BAM
Rob Bakker	BAM
Erwin ten Cate	BAM
Michaël Desmet	Cofely Fabricom
Koen Pieters	Cofely Fabricom
Hein Pijnappel	Mott McDonald

Beheer

De documentbeheerder van de combinatie verzorgt de distributie. Alleen houders van een geregistreerde kopie ontvangen automatisch aanvullingen en/of wijzigingen. Het is de verantwoordelijkheid van de houders het document up to date te houden. De laatste versie is altijd beschikbaar in ThinkProject!

Indien documenten worden geprint, geldt het volgende: een geregistreerde kopie is geldig vanaf de datum van uitgifte. Bij uitgifte van een document met een hoger revisienummer verliest de voorgaande versie automatisch haar geldigheid. Kopiehouders dienen het voorblad van een ongeldige versie te markeren met een diagonale lijn samen met de tekst 'vervallen'.

Neem bij twijfel over de geldende versie contact op met de documentbeheerder.



Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Definieren van de nodige beschermingsmaatregelen en verkeersmaatregelen.....	5
3. Bijlagen.....	5

Referentie lijst

Ref	Document naam
[A]	R3N-TEK-001_018 Overzichtstekening



1. INLEIDING

De komende jaren werken het ministerie van Economische Zaken en TenneT aan de aanleg van een nieuwe 380 kV hoogspanningsverbinding in de Randstad. De nieuwe verbinding stelt de voorziening van elektriciteit in de Randstad veilig.

Het ontwerptracté van de nieuwe Randstad 380 kV verbinding is sinds eind 2008 bekend. De plannen gaan uit van twee ringen, tussen Wateringen en Zoetermeer (de Zuidring) en tussen Zoetermeer en Beverwijk (de Noordring). Eind 2012 heeft Tennet de aanbesteding opgestart voor het gedeelte van de Noordring tussen station Vijfhuizen en Bleiswijk. Het contract is opgedeeld in twee percelen, waarbij de grens ligt bij Zuidelijke Ringvaart. Dit document heeft betrekking op perceel 2 (het zuidelijke gedeelte).

Het voorliggende document is onderdeel van het Definitief Ontwerp en behandelt het Jukkenplan voor de bouw van de nieuwe lijnen.

2. DEFINIËREN VAN DE NODIGE BESCHERMINGSMATREGELEN EN VERKEERSMATREGELEN

Afhankelijk van de te beschermen obstakels, wordt er gekozen voor specifieke beschermingsmaatregelen:

Afhankelijk van de te beschermen obstakels, wordt er gekozen voor specifieke beschermingsmaatregelen. zie bijlage 3 voor een compleet overzicht:

A. Houten beschermingsjukken



Houten beschermingsjuk

Afhankelijk van de omgeving wordt er gekozen voor het plaatsen van deze jukken in een gegraven put of in een betonblok. Wanneer we werken in de nabijheid van kabels, leidingen of we zijn niet zeker wat er in de ondergrond zit wordt de kuil manueel gegraven (voor een paal van 14m => 1,4m diep). De Jukken/betonblokken worden vervoerd en geïnstalleerd door een aangepaste vrachtwagen met een mobile laadkraan. Tijdens het lossen en installeren op de openbare weg wordt de nodige signalisatie voorzien. Na installatie worden de jukken afgeschermd met jersies of gemarkeerd aan de voet. Zie bijlage 1 voor de verschillende afmetingen.



Gegraven put



betonblok (2,6t)



Installatie juk

C. Stellingen

Wanneer jukken of kranen niet voldoende kunnen beschermen wordt er geopteerd voor stellingen met netten. Deze kunnen worden aangepast naar gelang de situatie. (zie bijlage 2 voor enkele voorbeelden)



Stellingen met netten

3. BIJLAGEN

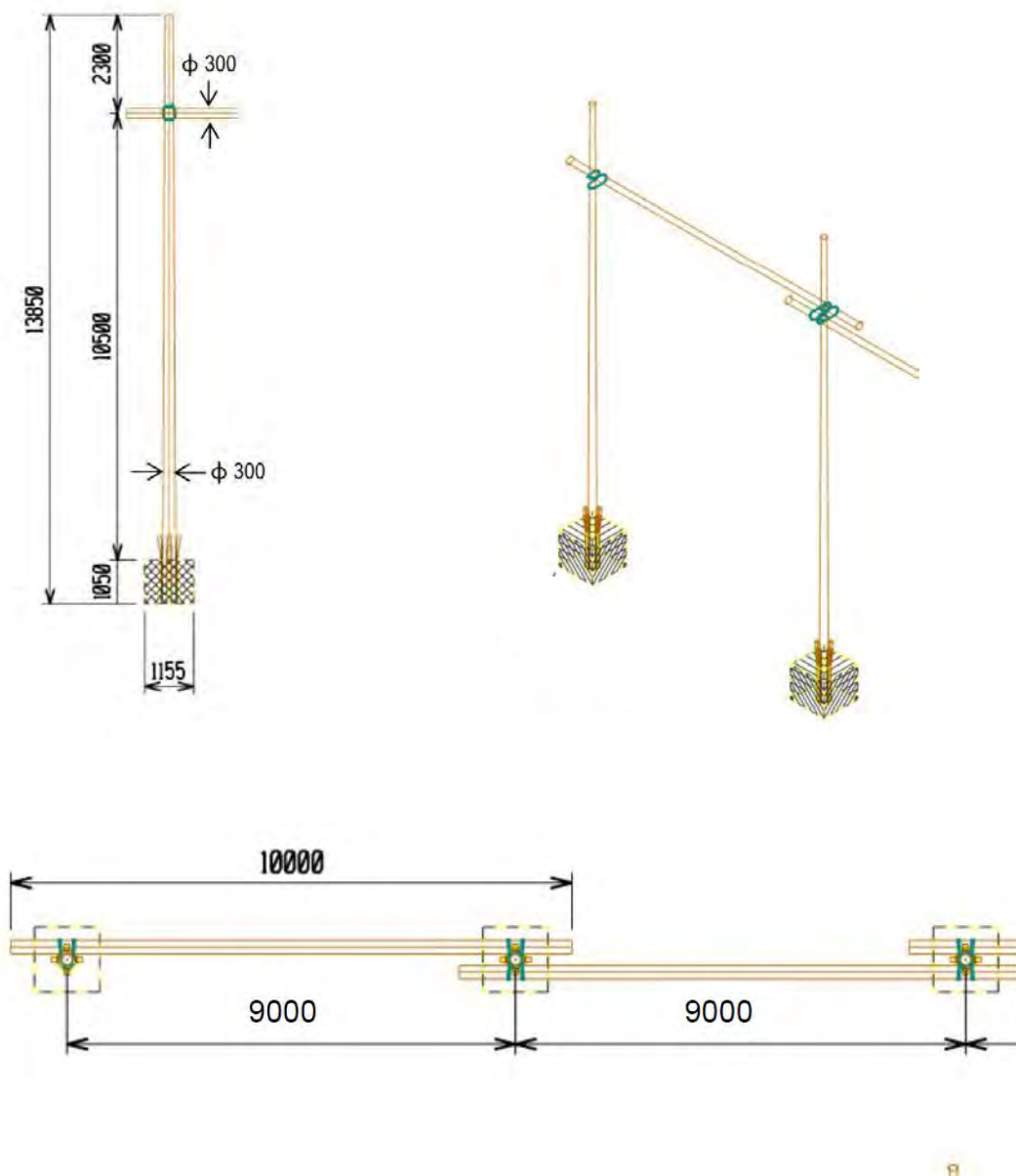
Bijlage 1 Jukken

Bijlage 2 Beschermingen met stelling plus net

Bijlage 3 Bescherming en signalisatie

BIJLAGE 1

Jukken



BIJLAGE 2

Beschermingen met stelling plus net



BIJLAGE 3

Bescherming en signalisatie

MAST of VELD	BESCHRIJVING HINDERNIS	houten JUK met 6 horizontale liggers	houten JUK met 9 horizontale liggers	Stelling met net	Specifiek	Wegsignalisatie
Mast 162 - 163	Ringvaart				Tijdelijke stops scheepvaartverkeer	
Mast 158 - 157	Molenweg / Dwarsweg	JUKN03	JUKN04			
Mast 157 - 156	Ripselaan / Joop Zoetemelkpad	JUKN05 + JUKN06				
Mast 150 - 149	Achterwetering	JUKN08A + JUKN08B				
Mast 149 - 148	Oprit (bos)				Afsluiten met heras	
Mast 148 - 147	Zuidzijderweg / Afrit A4		JUKN09.0 – JUK09.0G + JUKN09.0 tot en met JUKN09.13 (telkens enkel juk dwars over weg)	STEL.N01-1,2,3,4 + STEL.N05-1,2,3,4 + STEL.N06-1,2,3,4	Stelling met net voor afrit en A4	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 147 - 146	Afrit A4 / A4 / N446	JUKN10 + JUKN10A + JUKN11 + JUKN12		STEL.N02-1,2,3 + STEL.N03-1,2 + STEL.N04-1,2	Stelling met net voor afrit en A4 Jukken voor viaduct en fietspad	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 146 - 145	Treinspoor / Oprit A4 / Bospolder / parking / rivier (+stelling voor gebouw)	JUKN13 t/m JUKN18		STEL.N06 + STEL.N07	Stelling met net voor treinspoor Jukken voor oprit, bospolder en rivier. Afzetten van parking met heras	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 135 - 134	Hondsdijk / rivier / rijdijk	JUKN21 t/m JUKN24		STEL-F.01 + STEL-F.02	Stelling ter bescherming fietspaden	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 133 - 132	Treinspoor / Groenendijksepad / N11	JUKN25		STEL.N08 t/m STEL.N11	Stelling met net voor Treinspoor en N11, Jukken voor Groenendijksepad	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 131 - 130	Vierheemskinderenweg	JUKN26 + JUKN27				
Mast 125 - 124	Boerderij / Westeinde	JUKN30 + JUKN31				voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 119 - 118	Hoogeveenseweg / fietspad		JUKN32 + JUKN33			voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 118 - 117	Benthorn (boerderij)		JUKN34 + JUKN35			
Mast 113 - 112	Oostkade / Boerderij		JUKN35C + JUKN36 + JUKN37			
Mast 108 - 107	Voorlaan / rivier	JUKN38 + JUKN39 + JUKN40				voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 105 - 104	Kruis weg / Oprit A12 / Afrit A12 / Hoefweg	JUKN41 t/m JUKN44		STEL.N12 + STEL.N13 STEL.N12A + STEL.N13A		voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken
Mast 104 - 105	Facetlaan	JUKN45 + JUKN46				
Mast 102 - 101	Facetlaan / A12 / Spoorlijn / Creanenborgpad	JUKN47 + JUKN48		STEL.N14	Creanenborgpad afluiten met herras hekken, Stelling met net voor A 12 en spoorlijn	voorsignalisatie + botsabsorbeerder tijdens plaats en wegnemen stelling/jukken

Voor het overzichtsplan met een situatieschets refereren we naar het document *ref [A]*.

Bijlage 10
Rapportage EMC beïnvloedingen



Elektrische beïnvloedingen op spoorlijnen van ProRail door Randstad 380kV Noordring

In opdracht van TenneT

Doorwerth, 11 juli 2014
Referentie: TE121000-R08 AM
Auteur: A. Mobder
Status: definitief
Versie: 1.4

Auteur

datum 11-07-2014

gecontroleerd

datum 11-07-2014

Copyright © Petersburg Consultants B.V., Doorwerth, the Netherlands. All rights reserved.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens Petersburg Consultants B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

Petersburg Consultants B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

<u>INHOUD</u>	<u>blz.</u>
1 INLEIDING	5
2 UITGANGSPUNTEN	6
2.1 Algemeen	6
2.2 Eisen en benodigde controles	6
2.3 Gegevens Randstad 380kV Noordring	6
2.4 Bodemweerstand	7
2.5 Gegevens hoogspanningsverbindingen	8
2.6 Algemeen gegevens spoorlijnen	8
3 BESCHOUWEN SPOORLIJN AMSTERDAM - HAARLEM	9
3.1 Gebied en tracés	9
3.2 Gegevens spoorlijn	9
3.3 Toetsing conform RLN00398	10
3.4 Berekeningen en toetsing	12
4 BESCHOUWEN SPOORLIJN SCHIPHOL - LEIDEN	16
4.1 Gebied en tracés	16
4.2 Gegevens spoorlijn	16
4.3 Toetsing conform RLN00398	17
4.4 Berekeningen en toetsing	18
5 BESCHOUWEN SPOORLIJN LEIDEN - WOERDEN	22
5.1 Gebied en tracés	22
5.2 Gegevens spoorlijn	22
5.3 Toetsing conform RLN00398	23
5.4 Berekeningen en toetsing	26
6 BESCHOUWEN SPOORLIJN GOUDA – ZOETERMEER	27
6.1 Gebied en tracés	27
6.2 Gegevens spoorlijn	27
6.3 Toetsing conform RLN00398	28
6.4 Berekeningen en toetsing	30
7 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	34
BRONVERMELDING	36
Bijlage A: Stroombelastingen	
Bijlage B: Klokgetallen	
Bijlage C: Mastbeelden	
Bijlage D: Bodemweerstand	
Bijlage E: Lengteprofielen	

Revisie overzicht

Datum	Nummer	Opmerkingen	Auteur
04-02-2014	0.1	Concept	A. Mobder
10-02-2014	0.2	RFA 000.007.40 0222977, d.d 07-02-2014	A. Mobder
11-02-2014	1.0	RFA 000.007.40 0222977, d.d 11-02-2014	A. Mobder
12-02-2014	1.1	Mastnummering is aangepast, TenneT opgave 12-02-2014	A. Mobder
13-02-2014	1.2	Email van TenneT, d.d. 13-02-2014	A. Mobder
04-04-2014	1.3	RFC009, d.d. 18-02- 2014, mastnummering aangepast	A. Mobder
11-07-2014	1.4	Reviewcommentaar ProRail, d.d. 04-07-2014	A. Mobder

1 INLEIDING

TenneT is voornemens een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding te realiseren van station Beverwijk via station Vijfhuizen naar station Bleiswijk. Voor het tracé zal gebruik worden gemaakt van Wintrack hoogspanningsmasten. Diverse nabijgelegen hoogspanningsverbindingen zullen worden gecombineerd met de nieuwe 380kV verbinding. Delen van deze bestaande verbindingen zullen in de toekomst worden geamoveerd. Deze aanpassingen vormen samen het project Randstad 380kV Noordring.

In het gedeelte Beverwijk-Vijfhuizen, tussen mast 1 en mast 5, wordt de verbinding bovengronds gerealiseerd. Tussen mast 5 en 6 is het kabeltracé ondergronds, waarna de verbinding verder bovengronds loopt tot en met station Vijfhuizen. Van station Vijfhuizen tot mast 213 van het tracédeel Vijfhuizen-Bleiswijk ligt de kabel ondergronds. De lijn vervolgt bovengronds in zuidwestelijke richting in combinatie met een 150kV hoogspanningsverbinding. Tussen masten 200 en 199 ligt de kabel weer onder de grond en tussen mast 199 en 181 is de lijn opnieuw gecombineerd met een 150kV hoogspanningsverbinding. Vanaf mast 181 is de 380kV lijn weer solo tot aan mast 154. Tussen mast 154 en 153 ligt de lijn ondergronds. Daarna is de lijn tot mast 123 bovengronds en wordt van mast 123 tot mast 109 gecombineerd met een 150kV hoogspanningsverbinding. Het laatste deel van het tracé, van mast 109 tot mast 101, is de lijn tot slot weer solo en eindigt in station Bleiswijk.

In het geplande tracé van de Randstad 380kV Noordring liggen vier spoorlijnen die worden beheerd door ProRail. Van noord naar zuid zijn dit de spoorlijnen Amsterdam - Haarlem, Schiphol - Leiden, Leiden - Woerden en Gouda - Zoetermeer.

Binnen het projectdeel elektromagnetische compatibiliteit (EMC) wordt de invloed van elektromagnetische fenomenen, veroorzaakt door de hoogspanningsverbinding, op objecten en levende wezens onderzocht. De doelstelling is het in kaart brengen van eventuele overschrijdingen en het treffen van maatregelen om de gevolgen van dergelijke overschrijdingen teniet te doen. Door het realiseren van de nieuwe 380kV verbinding tussen Beverwijk en Bleiswijk en de aanpassingen in het bestaande hoogspanningsnet verandert de situatie met betrekking tot de elektrische beïnvloeding op nabijgelegen objecten.

Dit rapport geeft de resultaten van de berekeningen en toetsingen van elektrische beïnvloeding op de vier ProRail spoorlijnen in verband met de realisatie van de nieuwe hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk en Bleiswijk. Deze beschouwing is gebaseerd op RLN000398 [1].

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Algemeen

Bij een hoogspanningsverbinding moet rekening worden gehouden met invloeden van de hoogspanningsinfrastructuren op haar omgeving. Enkele invloeden zijn gebonden aan de bedrijfsvoering van de hoogspanningsverbindingen, overige invloeden zijn ingegeven door veiligheid of integriteit van installaties. Indien toelaatbare grenzen worden overschreden moeten er maatregelen worden getroffen.

Maatregelen worden getroffen door de initiatiefnemer. In het geval dat een hoogspanningslijn wordt aangelegd, wordt als onderdeel van de aanleg, de invloed van de hoogspanningslijn op de omgeving onderzocht en worden eventuele benodigde maatregelen getroffen. Andersom moet bij de realisatie van een object (installatie of bouwwerk) nabij een hoogspanningslijn rekening worden gehouden met de effecten van de hoogspanningslijn op het te realiseren object.

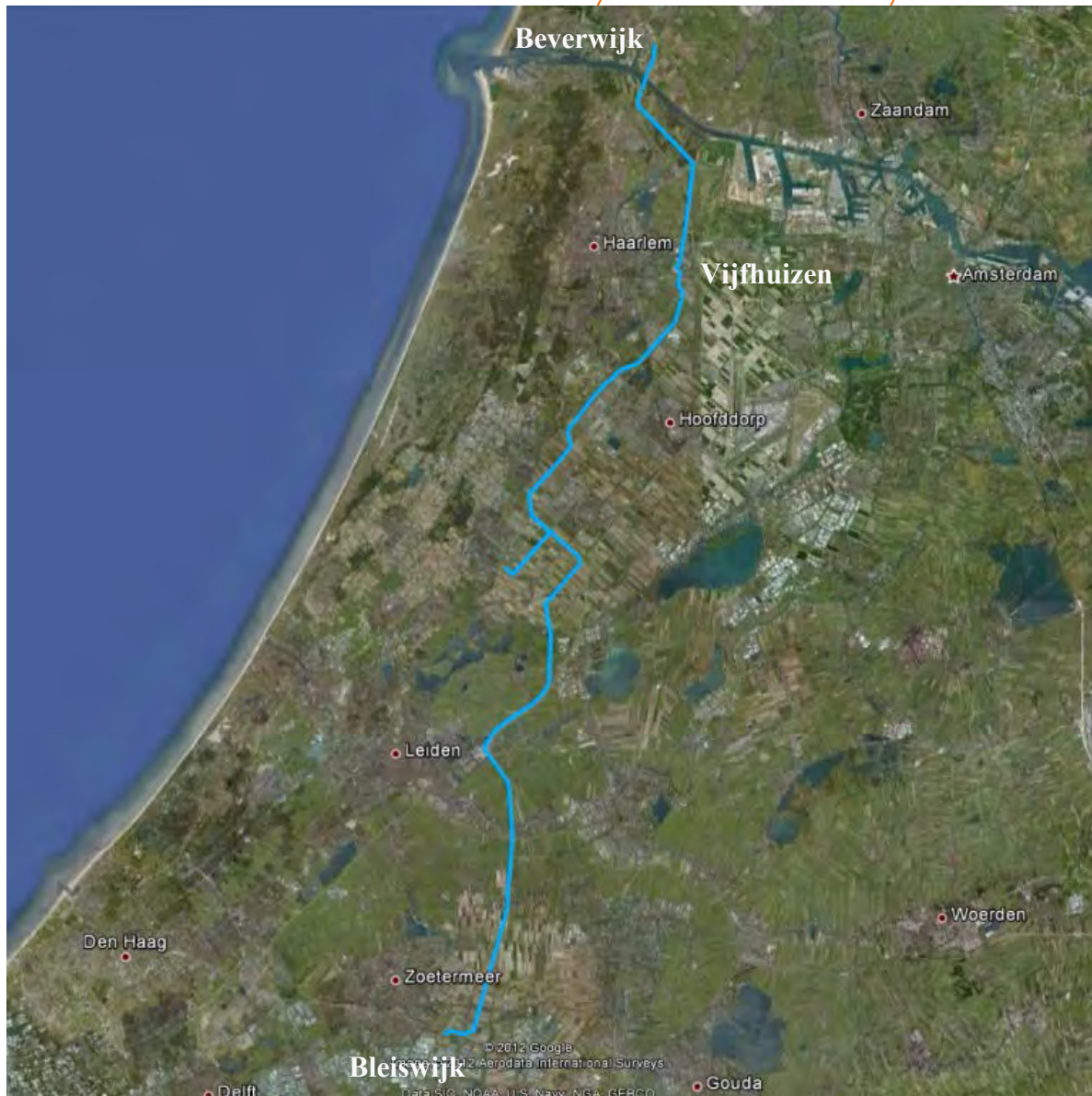
2.2 Eisen en benodigde controles

Voor het beoordelen en toetsen van elektromagnetische beïnvloeding van hoogspanningsverbindingen op de hoofdspoorweginfrastructuur heeft ProRail de richtlijn RLN00398 opgesteld. In deze richtlijn wordt in eerste instantie getoetst of aan 8 eisen wordt voldaan. Indien dit het geval is kunnen gedetailleerde berekeningen achterwege blijven en kan direct een vergunning worden verstrekt. Wanneer niet aan de eisen wordt voldaan moet met een gedetailleerde berekening worden aangetoond dat de elektromagnetische invloed van de hoogspanningsverbinding de veilige exploitatie van de spoorlijn niet beïnvloed.

2.3 Gegevens Randstad 380kV Noordring

2.3.1 Gebied en tracés

In afbeelding 1 is het voorgenomen tracé van de Randstad 380kV Noordring (R-380kV Noordring) weergegeven. Deze gegevens zijn conform de opgave van TenneT [3]. De 380kV verbinding wordt gerealiseerd tussen de hoogspanningsstations Beverwijk, Vijfhuizen en Bleiswijk. Daarnaast worden diverse bestaande verbindingen gecombineerd met de nieuwe verbinding. Door de bestaande verbindingen met de nieuwe verbinding te combineren kunnen delen van deze bestaande verbindingen worden geamoveerd.



Afbeelding 1, Overzicht tracé Randstad 380 kV Noordring

2.4 Bodemweerstand

De gehanteerde bodemweerstand zijn opgenomen in bijlage D. Deze waarden zijn de gemeten bodemweerstand bij het tracé, conform de opgave van TenneT [3].

2.5 Gegevens hoogspanningsverbindingen

In tabel 1 zijn de voor ProRail relevante trajecten van de Randstad 380kV Noordring weergegeven. De stroombelastingen zijn weergegeven in bijlage A en de klokgetallen in bijlage B. In bijlage C zijn de mastbeelden en kabelbedconfiguraties opgenomen. De specifieke gegevens van deze verbindingen zijn in het uitgangspuntendocument opgenomen, conform opgave van TenneT [3].

Tabel 1, Hoogspanningsverbindingen

Hoogspanningsverbinding	Spanning [kV]	Aantal circuits
380kV Beverwijk – Vijfhuizen (mast 1 t/m 5 en mast 6 t/m 38)	380	2
380kV Vijfhuizen – Bleiswijk (mast 181 t/m 154 en mast 153 t/m 123)	380	2
150kV Zoetermeer - Leiden (kabeldeel)	150	2
380kV Vijfhuizen – Bleiswijk (mast 109 t/m 101)	380	2

2.6 Algemeen gegevens spoorlijnen

In het geplande tracé van de Randstad 380kV Noordring liggen vier spoorlijnen die worden beheerd door ProRail. Van noord naar zuid zijn dit de spoorlijnen Amsterdam - Haarlem, Schiphol - Leiden, Leiden - Woerden en Gouda - Zoetermeer.

Voor de configuratie van de geleiders in het bovenleidingsysteem van de spoorlijnen wordt rekening gehouden met de in tabel 2 opgenomen gegevens conform bijlage B in RLN00398 [1]. Verder wordt rekening gehouden met de door ProRail versterkte gegevens (OR-bladen en BBK tekeningen).

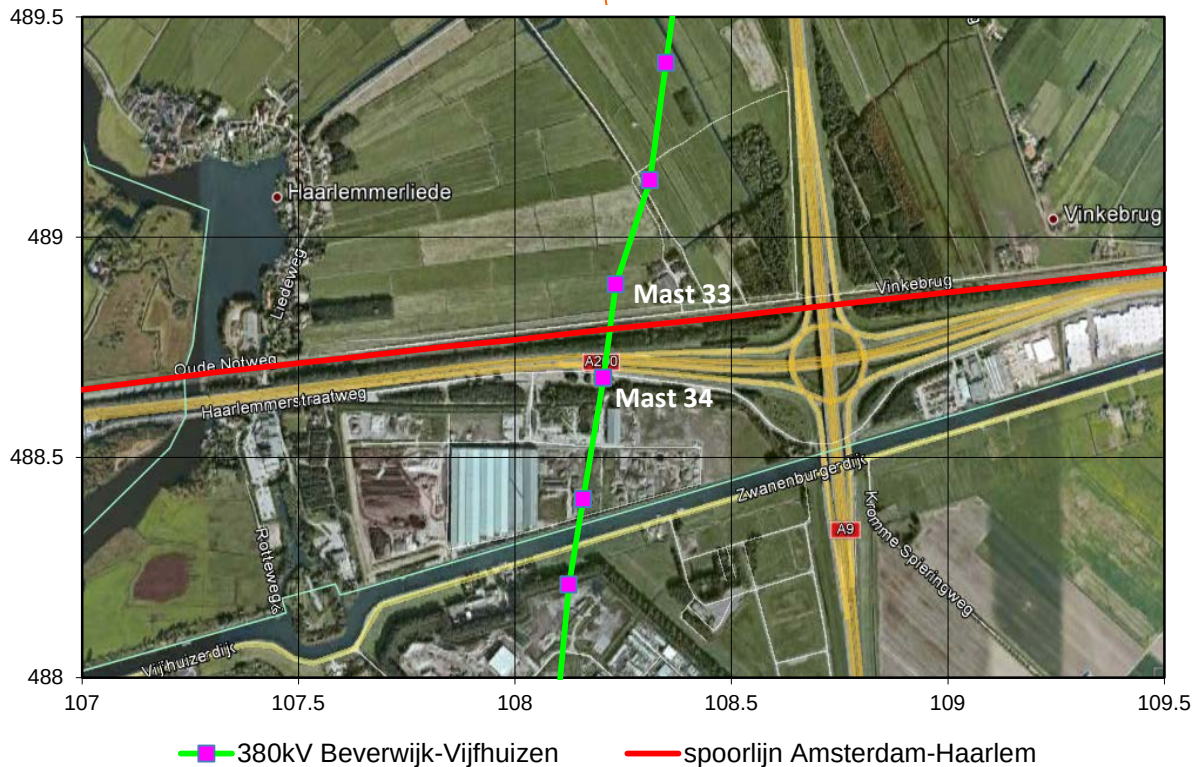
Tabel 2, Bovenleiding systeem geleider configuratie

1500 Vdc-sporen	Weerstand [Ω/km]	Diameter [cm]	X- coördinaten [m]	Y- coördinaten [m]
Spoorstaaf 1 spoor1	0.044	9.6	-2,72	0.05
Spoorstaaf 2 spoor1	0.044	9.6	-1,28	0.05
Draagkabel spoor 1	0.121	1.36	-2	8.5
Rijdraad 1 spoor 1	0.183	1.2	-2,02	5.5
Rijdraad 2 spoor 1	0.183	1.2	-1,98	5.5
Versterkingsgeleider spoor 1	0.121	1.36	-5,22	8.5
Spoorstaaf 1 spoor 2	0.044	9.6	2,72	0.05
Spoorstaaf 2 spoor 2	0.044	9.6	1,28	0.05
Draagkabel spoor 2	0.121	1.36	2	8.5
Rijdraad 1 spoor 2	0.183	1.2	2,02	5.5
Rijdraad 2 spoor 2	0.183	1.2	1,98	5.5
Versterkingsgeleider spoor 2	0.121	1.36	5,22	8.5

3 BESCHOUWEN SPOORLIJN AMSTERDAM - HAARLEM

3.1 Gebied en tracés

De spoorlijn Amsterdam - Haarlem ligt in het veld tussen mast 33 en mast 34 van de 380kV lijn Beverwijk - Vijfhuizen. De tracés zijn in afbeelding 2 opgenomen conform opgaven van ProRail [2] en TenneT [3].



Afbeelding 2, Situatieschets met 380kV Beverwijk - Vijfhuizen en spoorlijn Amsterdam - Haarlem

3.2 Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Amsterdam - Haarlem wordt rekening gehouden met de volgende uitgangspunten, conform ProRail opgave.

- Vanaf km11.725 tot km13.150 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Beverwijk - Vijfhuizen.
- ES - lassen zijn toegepast op km11.565, km12.085, km12.150 en km13.076.
- Er zijn geen kunstwerken aanwezig binnen het te beschouwen traject, hierdoor wordt vanuit gegaan dat er geen VLD-O (Voltage Limiter Device type O) zijn toegepast in het te beschouwen traject.
- Dichtstbijzijnde onderstation ligt op km9.586.

Gezien het ontbreken van de benodigde gegevens, wordt aangenomen dat de kabels (3kV voedingskabel, IB-kabel en de IT-kabel) in het kabelbed niet zijn gesegmenteerd en aan één zijde geaard.

3.3 Toetsing conform RLN00398

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 77 graden. De optredende inductieve beïnvloedingen moet in detail berekend en getoetst worden.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Beverwijk - Vijfhuizen verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening, zie bijlage E, conform opgave van TenneT [3] blijkt dat de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders als volgt zijn:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 18 m
- de afstand tussen BS en de retourstroomgeleider is 12 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider en 10,3 m voor de retourstroomgeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Masten 33 en 34 zijn hoekmasten van het type W2H350, zie bijlage C. Met deze masten wordt voldaan aan deze eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT [3] wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*

- a. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
- b. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn ligt binnen een afstand kleiner dan 700 m. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μT op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

Mast 33 ligt op afstand van 100 m uit het hart van het buitenste spoor en mast 34 ligt op afstand van 110 m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Ter hoogte van de kruising staan geen technische ruimtes, aan deze eis wordt voldaan.

3.4 Berekeningen en toetsing

Uit de toetsing in paragraaf 3.3 blijkt dat niet aan alle eisen uit RLN00398 voldaan wordt. Hierdoor dient een locatie specifieke studie plaats te vinden. In deze paragraaf zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

3.4.1 CM railinfra spoorstroomlopen (B1)

In deze spoorlijn zijn zowel enkel- als dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast. De maximale optredende spanningen en stromen op de spoorstroomlopen, type 'enkelbenig', zijn bepalend. De optredende spanningen en stromen zijn berekend en getoetst conform RLN00398.

Voor de afleidingweerstand van spoorstaven wordt rekening gehouden met een spoorstaafarde weerstand van 100, 10 en 2,5 Ω .km per spoorstaaf. De toetsing bij continue verschijnselen is in tabel 3 opgenomen. Gezien de afschakeltijd van 100ms bij kortsluiting in de hoogspanningslijn hoeven conform RLN00398, kortsluitverschijnselen niet te worden beoordeeld.

Tabel 3, CM spanningen en stromen met een spoorstaafarde weerstand van 100, 10 en 2,5 Ω .km

Belastingssituatie	Faalwijzen Railinfrastructuur	Maximaal toelaatbaar		Maximaal optredend						Voldoet [J/N]
		Spanning [V]	Stroom [A]	Spanning [V]			Stroom [A]			
				2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	
Normaal bedrijf	geen	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
Normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
Onderhoud	geen	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
Onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	geen	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	geen	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	<1	<1	<1	<1	<1	<1	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 3 voldoen de maximale berekende spanningen en stromen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

3.4.2 CM railinfra baanvakken (B2)

Deze toetsing is van toepassing voor baanvakken met alleen dubbelbenige spoorstroomlopen. Omdat er ook enkelbenige spoorstroomlopen zijn toegepast is deze toetsing niet van toepassing.

3.4.3 CM spanning aders railinfra apparatuur (B3)

De maximale optredende spanningen op aders railinfra apparatuur, één zijde geaard, zijn berekend en getoetst conform RLN00398. Voor de afleidingweerstand van spoorstaven wordt rekening gehouden met een spoorstaafaarde weerstand van 100, 10 en 2,5 Ω .km per spoorstaaf. De berekende spanningen zijn in tabel 4 opgenomen.

Tabel 4, CM spanning aders railinfra apparatuur

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]			Voldoet [J/N]
		2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	
Normaal bedrijf	150	<1	<1	<1	J
Onderhoud	150	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	150	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	150	<1	<1	<1	J
Één fasekortsluiting	650	155	157	157	J
Drie fasen kortsluiting	650	20	20	20	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 4 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

3.4.4 Psofometrische stoorspanning op modemverbindingen (B4)

Deze toetsing is relevant als de hoogspanningsverbinding aansluit op een HVDC verbinding of er een grootverbruiker met veel vermogenslektronica is.

De te beschouwen hoogspanningsverbinding is een normale verbinding tussen twee hoogspanningsstations. Voor deze verbinding is deze eis nooit maatgevend conform RLN00398. Hierdoor is deze toetsing buiten beschouwing gelaten.

3.4.5 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning (B5)

De maximale optredende 50 Hz spanningscomponent in het 1500 VDC tractievoedingssysteem, één zijde geaard, is berekend en getoetst conform RLN00398. Voor de afleidingweerstand van spoorstaven wordt rekening gehouden met een spoorstaafweerstand van 100, 10 en 2,5 Ω .km per spoorstaaf. De berekende 50 Hz spanningscomponent is in tabel 5 opgenomen.

Tabel 5, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning

Belastingssituatie	Faalwijzen Railinfrastructuur	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]			Voldoet [J/N]
		Beschikbaarheid /Veiligheid	2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	
Normaal bedrijf	geen	7/25	<1	<1	<1	J
Normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	<1	<1	<1	J
Onderhoud	geen	7/25	<1	<1	<1	J
Onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	geen	7/25	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	geen	7/25	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	<1	<1	<1	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 5 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

3.4.6 Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven (B6)

De maximale optredende aanraakspanningen, met vier opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen en één zijde geaard kabelmantel, zijn maatgevend. Deze zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende maximale aanraakspanningen zijn in tabel 6 opgenomen.

Tabel 6, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning kabelmantel [V]			Maximale optredende Spanning spoorstaaf [V]			Voldoet [J/N]
		2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	
Normaal bedrijf	60	1	1	1	<1	<1	<1	J
Onderhoud	60	1	1	1	1	1	1	J
10% asymmetrie bij normaalbedrijf	60	1	1	1	<1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	60	1	1	1	<1	<1	<1	J
Één fasekortsluiting	785	155	157	158	87	93	95	J
Drie fasen kortsluiting	785	20	20	20	11	12	12	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 6 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

3.4.7 Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100 A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10% . Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 9,5 A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10 A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

3.4.8 Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 13,8 bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

3.4.9 Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 13 μT . Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μT) conform RLN00398.

4.3 Toetsing conform RLN00398

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 50 graden. De optredende inductieve beïnvloedingen moet in detail berekend en getoetst worden.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening, zie bijlage E, conform opgave van TenneT [3] blijkt dat de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders als volgt zijn:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 19 m
- de afstand tussen BS en de retourstroomgeleider is 12,3 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider en 10,3 m voor de retourstroomgeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Mast 176 is een hoekmast van het type W2H400+5 en mast 175 is een hoekmast van het type W2H350+5, zie bijlage C. Met deze masten wordt voldaan aan deze eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT [3] wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*

- a. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
- b. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn ligt binnen een afstand kleiner dan 700 m. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μT op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

De dichtstbijzijnde mast ligt op een afstand van 110m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig in het betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

4.4 Berekeningen en toetsing

Uit de toetsing in paragraaf 4.3 blijkt dat niet aan alle eisen uit RLN00398 voldaan wordt. Hierdoor dient een locatie specifieke studie plaats te vinden. In deze paragraaf zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

Uit de berekeningen blijkt dat de bijdrage van 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk groter is dan 20% van het beoordelingscriterium conform RLN00398. Hierdoor moet rekening worden gehouden met de beïnvloeding van bestaande hoogspanningsverbindingen. Op deze locatie blijkt dat er geen bestaande hoogspanningsverbindingen aanwezig zijn.

4.4.1 CM railinfra spoorstroomlopen (B1)

Deze toetsing is van toepassing voor baanvakken waar enkelbenige spoorstroomlopen worden toegepast. In deze baanvak worden alleen dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast, hierdoor is deze toetsing niet van toepassing.

4.4.2 CM railinfra baanvakken (B2)

In deze spoorlijn zijn alleen dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast. De optredende spanningen en stromen zijn berekend en getoetst conform RLN00398. Voor de afleidingweerstand van spoorstaven wordt rekening gehouden met een spoorstaafarde weerstand van 100, 10 en 2,5 Ω .km per spoorstaaf. De toetsing bij continue verschijnselen is in tabel 7 opgenomen. Gezien de afschakeltijd van 100ms bij kortsluiting in de hoogspanningslijn hoeven conform RLN00398, kortsluitverschijnselen niet te worden beoordeeld.

Tabel 7, CM spanningen en stromen met een spoorstaafarde weerstand van 100, 10 en 2,5 Ω .km

Belastingssituatie	Faalwijzen Railinfrastructuur	Maximaal toelaatbaar		Maximaal optredend						Voldoet [J/N]
		Spanning [V]	Stroom [A]	Spanning [V]			Stroom [A]			
				2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	
Normaal bedrijf	geen	65	250	3	3	5	1	<1	<1	J
Normaal bedrijf	één defecte VLD	65	250	4	5	5	2	1	<1	J
Onderhoud	geen	65	250	3	3	5	1	<1	<1	J
Onderhoud	één defecte VLD	65	250	4	5	5	3	2	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	geen	65	250	3	3	5	1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	één defecte VLD	65	250	4	4	5	2	1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	geen	65	250	3	3	5	1	<1	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	één defecte VLD	65	250	4	5	5	3	2	<1	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 7 voldoen de maximale berekende spanningen en stromen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

4.4.3 CM spanning aders railinfra apparatuur (B3)

De maximale optredende spanningen op aders railinfra apparatuur, één zijde geaard, zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende spanningen zijn in tabel 8 opgenomen.

Tabel 8, CM spanning aders railinfra apparatuur

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf	150	12	J
Onderhoud	150	14	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	150	12	J
10% asymmetrie bij onderhoud	150	5	J
Eén fasekortsluiting	650	2240	N
Drie fasen kortsluiting	650	233	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 8 voldoet de maximale berekende spanning niet aan de gestelde eisen conform RLN00398.

4.4.4 Psfometrische stoorspanning op modemverbindingen (B4)

Deze toetsing is relevant als de hoogspanningsverbinding aansluit op een HVDC verbinding of er een grootverbruiker met veel vermogenslektronica is.

De te beschouwen hoogspanningsverbinding is een normale verbinding tussen twee hoogspanningsstations. Voor deze verbinding is deze eis nooit maatgevend conform RLN00398. Hierdoor is deze toetsing buiten beschouwing gelaten.

4.4.5 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning (B5)

De maximale optredende 50 Hz spanningscomponent in het 1500 VDC tractievoedingssysteem, één zijde geaard, is berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende 50 Hz spanningscomponent is in tabel 9 opgenomen.

Tabel 9, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning

Belastingssituatie	Faalwijzen Railinfrastructuur	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]			Voldoet [J/N]
		Beschikbaarheid/ Veiligheid	2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	
Normaal bedrijf	geen	7/25	6/12	6/12	6/12	J/J
Normaal bedrijf	één defecte VLD	7/25	12	12	12	J/J
Onderhoud	geen	7/25	7/14	7/14	7/14	J/J
Onderhoud	één defecte VLD	7/25	7/14	7/14	7/14	J/J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	geen	7/25	6/12	6/12	6/12	J/J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	één defecte VLD	7/25	6/12	6/12	6/12	J/J
10% asymmetrie bij onderhoud	geen	7/25	3/6	3/6	3/6	J/J
10% asymmetrie bij onderhoud	één defecte VLD	7/25	3/6	3/6	3/6	J/J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 9 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

4.4.6 Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven (B6)

De maximale optredende aanraakspanningen, met één defecte VLD en één zijde geaard kabelmantel, zijn maatgevend. Deze zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende maximale aanraakspanningen zijn in tabel 10 opgenomen.

Tabel 10, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning kabelmantel [V]			Maximale optredende Spanning spoorstaaf [V]			Voldoet [J/N]
		2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	2,5 Ω .km	10 Ω .km	100 Ω .km	
Normaal bedrijf	60	12	12	12	3	3	5	J
Onderhoud	60	14	14	14	3	3	5	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	60	12	12	12	3	3	5	J
10% asymmetrie bij onderhoud	60	5	5	5	2	3	3	J
Één fasekortsluiting	785	2222	2237	2240	509	525	899	N
Drie fasen kortsluiting	785	231	233	233	49	50	91	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 10 voldoen de maximale berekende spanningen niet aan de gestelde eisen conform RLN00398.

4.4.7 Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100 A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10% . Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 9 A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10 A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

4.4.8 Elektrische velden (B8)

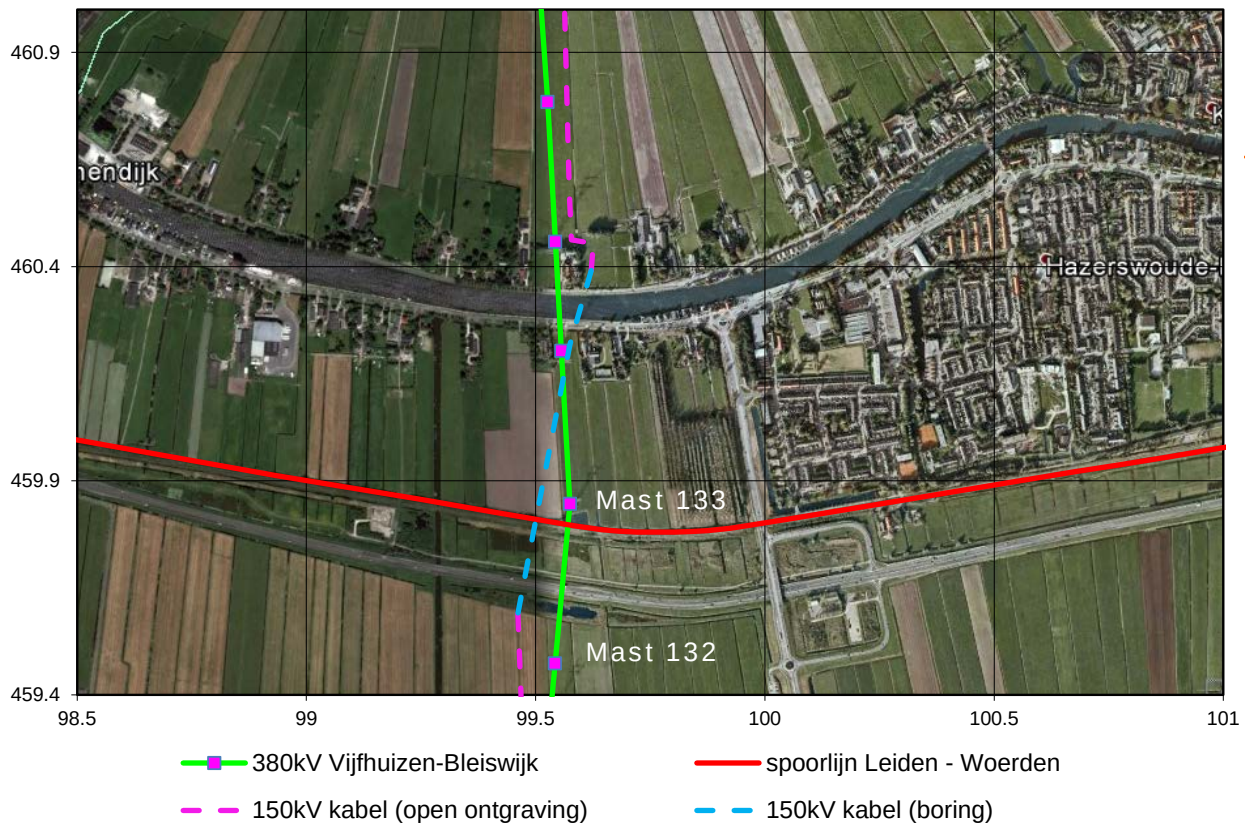
De elektrische veldsterkte op een hoogte van 13,5 bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

4.4.9 Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 12 μT . Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μT) conform RLN00398.

5.1 Gebied en tracés

De spoorlijn Leiden - Woerden ligt in het veld tussen mast 133 en mast 132 van de 380kV lijn Vijfhuizen - Bleiswijk. De 150kV kabel Zoetermeer - Leiden bij de spoorlijn wordt in een boring uitgevoerd. De tracés zijn in afbeelding 4 opgenomen conform opgaven van ProRail [2] en TenneT [3].



Afbeelding 4, Situatieschets met 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk en spoorlijn Leiden - Woerden

5.2 Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Leiden - Woerden wordt rekening gehouden met de volgende uitgangspunten conform ProRail opgave.

- Vanaf km22.450 tot km23.830 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Beverwijk-Vijfhuizen.
- ES-lassen zijn toegepast op km22.417, km22.726, km23.120 en km23.600.
- Dichtstbijzijnde onderstation ligt op km22.340.

Gezien het ontbreken van de benodigde gegevens, wordt aangenomen dat de kabels (3kV voedingskabel, IB-kabel en de IT-kabel) in het kabelbed niet zijn gesegmenteerd en aan één zijde geaard.

5.3 Toetsing conform RLN00398

5.3.1 Eisen aan hoogspanningslijnen

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

Aan deze eis wordt voldaan, de hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 85 graden. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening, zie bijlage E, conform opgave van TenneT [3] blijkt dat de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders als volgt zijn:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 29 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Mast 133 is een hoekmast van het type W2H400A+10 en mast 132 is een hoekmast van het type W2H400+5, zie bijlage C. Met deze masten wordt voldaan aan de eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT [3] wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*

- a. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
- b. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Deze eis is niet van toepassing, de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk kruist de spoorbaan.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μ T op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

De dichtstbijzijnde mast ligt op een afstand van 50m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimtes.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig in het betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

5.3.2 Eisen aan hoogspanningskabels

- 1) *De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

Aan deze eis wordt voldaan, de hoogspanningskabel kruist de spoorbaan onder een hoek van 90 graden. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 2) *Een eerste orde kabelfout dient binnen maximaal 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT [3] wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 3) *Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van $\geq 35kV$;*
 a. *Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van $\geq 35kV$ mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700m vanaf het hart van het buitenste spoor;*
 b. *In afwijking van punt 3a geldt een afstand van 11m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Deze eis is niet van toepassing, de 150kV kabel Zoetermeer – Leiden kruist de spoorbaan.

- 4) *Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning $< 35kV$ mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11m vanaf het hart buitenste spoor.*

Deze eis is niet van toepassing, het betreft een 150kV kabelverbinding.

- 5) *Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van $< 35kV$ mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11m vanaf het hart buitenste spoor.*

Deze eis is niet van toepassing, de 150kV kabel Zoetermeer – Leiden kruist de spoorbaan.

- 6) *Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20m gemeten vanaf het dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig het in betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

- 7) *Kabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.*

De 150kV kabel Zoetermeer – Leiden is middels een boring in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd, zie bijlage C. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart buitenste spoor (20+11) mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.*

De minimale afstand tussen de in- en uitreden punten van de boring en het hart van de buitenste spoor is 220 meter. Binnen deze afstand zijn geen aarding of moffen aanwezig. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

5.4 Berekeningen en toetsing

Uit de toetsing in paragraaf 5.3 blijkt dat een locatie specifieke studie plaats moet vinden. In deze paragraaf zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. De beïnvloedingen van de 380kV lijn Vijfhuizen – Bleiswijk zijn maatgevend te opzichte van de beïnvloedingen van de 150kV kabelverbinding Zoetermeer – Leiden. Hierdoor zullen de beïnvloedingen van deze kabelverbinding buiten beschouwing gelaten.

Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

5.4.1 Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100 A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10% . Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 4 A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10 A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

5.4.2 Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 12,3 bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

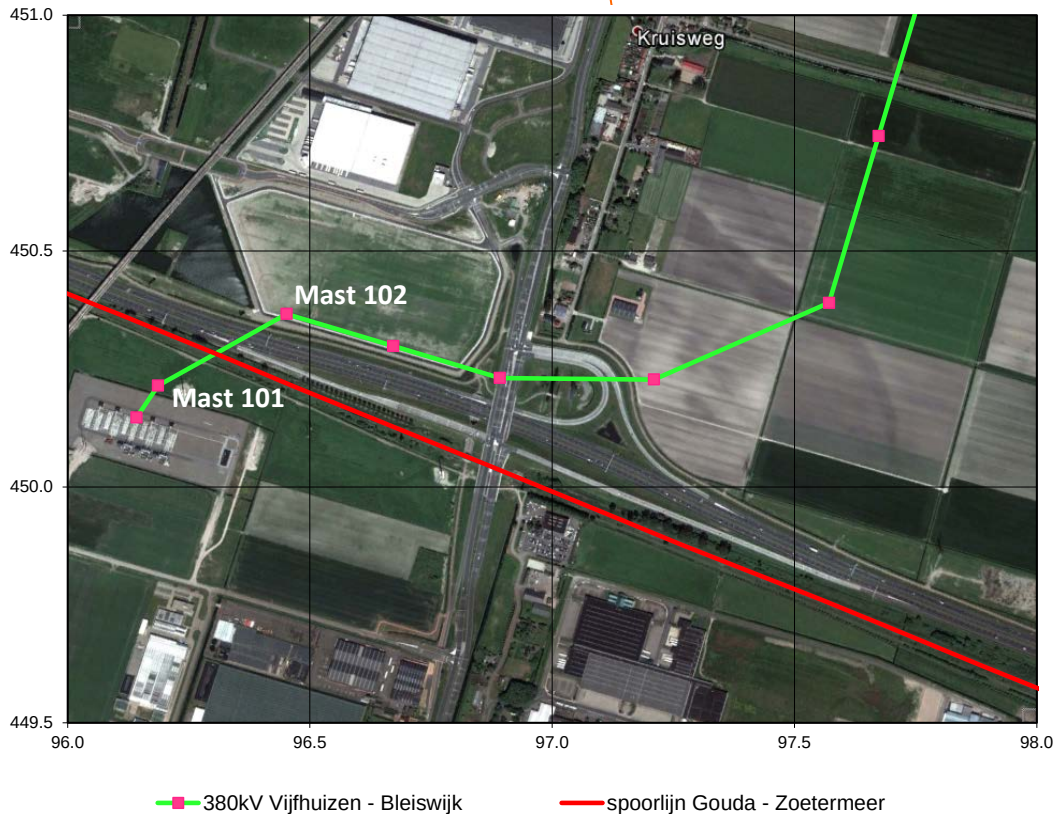
5.4.3 Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 5 μT . Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μT) conform RLN00398.

6 BESCHOUWEN SPOORLIJN GOUDA – ZOETERMEER

6.1 Gebied en tracés

De spoorlijn Gouda – Zoetermeer ligt in het veld tussen mast 102 en mast 101 van de 380kV lijn Vijfhuizen - Bleiswijk. De tracés zijn in afbeelding 5 opgenomen conform opgaven van ProRail [2] en TenneT [3].



Afbeelding 5, Situatieschets met 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk en spoorlijn Gouda – Zoetermeer

6.2 Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Gouda - Zoetermeer wordt rekening gehouden met de volgende uitgangspunten conform ProRail opgave.

- Vanaf km10.320 tot km8.450 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk.
- ES-lassen zijn toegepast op km8.324, km9.262, km9.300, km10.208, km10.494 en km10.795.
- Er zijn geen kunstwerken aanwezig binnen het te beschouwen traject, hierdoor wordt vanuit gegaan dat er geen VLD-O (Voltage Limiter Device type O) zijn toegepast in het te beschouwen traject.
- Dichtstbijzijnde onderstation ligt op km6.600

Gezien het ontbreken van de benodigde gegevens, wordt aangenomen dat de kabels (3kV voedingskabel, IB-kabel en de IT-kabel) in het kabelbed niet zijn gesegmenteerd en aan één zijde geaard.

6.3 Toetsing conform RLN00398

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 52 graden. De optredende inductieve beïnvloedingen moet in detail berekend en getoetst worden.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening, zie bijlage E, conform opgave van TenneT [3] blijkt dat de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders als volgt zijn:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 21 m
- de afstand tussen BS en de retourstroomgeleider is 14,4 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider en 10,3 m voor de retourstroomgeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Mast 102 is een hoekmast van het type W2H400+10 en mast 101 is een hoekmast van het type W2E350+5, zie bijlage C. Met deze masten wordt voldaan aan deze eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT [3] wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*
 - c. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
 - d. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn ligt binnen een afstand kleiner dan 700 m. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μ T op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

De dichtstbijzijnde mast ligt op een afstand van 140m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig in het betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

6.4 Berekeningen en toetsing

Uit de toetsing in paragraaf 6.3 blijkt dat niet aan alle eisen uit RLN00398 voldaan wordt. Hierdoor dient een locatie specifieke studie plaats te vinden. In deze paragraaf zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

Uit de berekeningen blijkt dat de bijdrage van 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk groter is dan 20% van het beoordelingscriterium conform RLN00398. Hierdoor wordt rekening gehouden met de beïnvloeding van de volgend bestaande hoogspanningsverbindingen:

- 380kV lijn Krimpen-Bleiswijk
- 150kV kabel Bleiswijk-Zoetermeer

6.4.1 CM railinfra spoorstroomlopen (B1)

In deze spoorlijn zijn zowel enkel- als dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast. De maximale optredende spanningen en stromen op de spoorstroomlopen, type 'enkelbenig', zijn bepalend. De optredende spanningen en stromen zijn berekend en getoetst conform RLN00398.

Voor de afleidingweerstand van spoorstaven wordt rekening gehouden met een spoorstaafweerstand van 100, 10 en 2,5Ω.km per spoorstaaf. De toetsing bij continue verschijnselen is in tabel 3 opgenomen. Gezien de afschakeltijd van 100 ms bij kortsluiting in de hoogspanningslijn hoeven conform RLN00398, kortsluitverschijnselen niet te worden beoordeeld.

Tabel 11, CM spanningen en stromen met een spoorstaafweerstand van 100, 10 en 2,5Ω.km

Belastingssituatie	Faalwijzen Railinfrastructuur	Maximaal toelaatbaar		Maximaal optredend						Voldoet [J/N]
		Spanning [V]	Stroom [A]	Spanning [V]			Stroom [A]			
				2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	
Normaal bedrijf	geen	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
Normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
Onderhoud	geen	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
Onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	geen	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	geen	20	58	9	11	12	5	2	<1	J
10% asymmetrie bij onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	20	58	9	11	12	5	2	<1	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 11 voldoen de maximale berekende spanningen en stromen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

6.4.2 CM railinfra baanvakken (B2)

Deze toetsing is van toepassing voor baanvakken met alleen dubbelbenige spoorstroomlopen. Omdat er ook enkelbenige spoorstroomlopen zijn toegepast is deze toetsing niet van toepassing.

6.4.3 CM spanning aders railinfra apparatuur (B3)

De maximale optredende spanningen op aders railinfra apparatuur, één zijde geaard, zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende spanningen zijn in tabel 12 opgenomen.

Tabel 12, CM spanning aders railinfra apparatuur

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf	150	27	J
Onderhoud	150	25	J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	150	25	J
10% asymmetrie bij onderhoud	150	30	J
Één fasekortsluiting	650	772	N
Drie fasen kortsluiting	650	67	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 12 voldoet de maximale berekende spanning niet aan de gestelde eisen conform RLN00398.

6.4.4 Psofometrische stoorspanning op modemverbindingen (B4)

Deze toetsing is relevant als de hoogspanningsverbinding aansluit op een HVDC verbinding of er een grootverbruiker met veel vermogenslektronica is.

De te beschouwen hoogspanningsverbinding is een normale verbinding tussen twee hoogspanningsstations. Voor deze verbinding is deze eis nooit maatgevend conform RLN00398. Hierdoor is deze toetsing buiten beschouwing gelaten.

6.4.5 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning (B5)

De maximale optredende 50 Hz spanningscomponent in het 1500 VDC tractievoedingsysteem, één zijde geaard, is berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende 50 Hz spanningscomponent is in tabel 13 opgenomen.

Tabel 13, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning

Belastingssituatie	Faalwijzen Railinfrastructuur	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]			Voldoet [J/N]
		Beschikbaarheid /Veiligheid	2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	
Normaal bedrijf	geen	7/25	12/24	13/27	13/27	N/N
Normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	12/24	13/27	13/27	N/N
Onderhoud	geen	7/25	11/22	12/24	12/24	N/J
Onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	11/22	12/24	12/24	N/J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	geen	7/25	11/23	12/25	12/25	N/J
10% asymmetrie bij normaal bedrijf	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	11/23	12/25	12/25	N/J
10% asymmetrie bij onderhoud	geen	7/25	13/27	14/29	15/30	N/N
10% asymmetrie bij onderhoud	FP2 (4 opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen)	7/25	13/27	14/29	15/30	N/N

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 13 voldoen de maximale berekende spanningen niet aan de gestelde eisen conform RLN00398. Deze overschrijding is de gevolg van de beïnvloedingen van de bestaande 380kV Krimpen-Bleiswijk.

6.4.6 Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven (B6)

De maximale optredende aanraakspanningen, met vier opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen en één zijde geaard kabelmantel, zijn maatgevend. Deze zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende maximale aanraakspanningen zijn in tabel 14 opgenomen.

Tabel 14, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning kabelmantel [V]			Maximale optredende Spanning spoorstaaf [V]			Voldoet [J/N]
		2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	2,5 Ω.km	10 Ω.km	100 Ω.km	
Normaal bedrijf	60	22	25	27	11	13	13	J
Onderhoud	60	20	23	25	11	13	13	J
10% asymmetrie bij normaalbedrijf	60	20	23	25	11	13	13	J
10% asymmetrie bij onderhoud	60	25	28	30	11	13	13	J
Eén fasekortsluiting	785	766	770	772	320	324	532	J
Drie fasen kortsluiting	785	67	67	73	26	26	40	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 14 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

6.4.7 Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10% . Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 8A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

6.4.8 Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 14m bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

6.4.9 Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 11 μ T. Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μ T) conform RLN00398.

7 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

TenneT is voornemens een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding te realiseren van station Beverwijk via station Vijfhuizen naar station Bleiswijk. Voor het tracé zal gebruik worden gemaakt van Wintrack hoogspanningsmasten. Diverse nabijgelegen hoogspanningsverbindingen zullen worden gecombineerd met de nieuwe 380kV verbinding. Delen van deze bestaande verbindingen zullen in de toekomst worden geamoveerd. Deze aanpassingen vormen samen het project Randstad 380kV Noordring. Binnen het projectdeel elektromagnetische compatibiliteit (EMC) wordt de invloed van elektromagnetische fenomenen, veroorzaakt door de hoogspanningsverbinding, op objecten en levende wezens onderzocht. De doelstelling is het in kaart brengen van eventuele overschrijdingen en het treffen van maatregelen om de gevolgen van dergelijke overschrijdingen teniet te doen.

In het geplande tracé van de Randstad 380kV Noordring liggen vier spoorlijnen die worden beheerd door ProRail. Van noord naar zuid zijn dit de spoorlijnen Amsterdam - Haarlem, Schiphol - Leiden, Leiden - Woerden en Gouda - Zoetermeer. In het geval van een hoogspanningsverbinding in de (directe nabijheid) van een spoorlijn, moet rekening worden gehouden met de elektrische beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op de spoorlijn. In ProRail richtlijn RLN00398 [1] is beschreven hoe de elektromagnetische invloed van een hoogspanningsverbinding op een spoorlijn moet worden getoetst.

De mogelijke optredende beïnvloedingen, door Randstad 380kV Noordring, op de spoorlijnen zijn berekend en getoetst conform de RLN00398. Uit de berekeningen en toetsing blijkt het volgende:

Spoorlijn Amsterdam – Haarlem

Er wordt voldaan aan alle gestelde eisen conform ProRail richtlijn RLN00398. Er is geen sprake van ontoelaatbare beïnvloedingen.

Spoorlijn Schiphol – Leiden

Er wordt niet voldaan aan alle gestelde eisen conform ProRail richtlijn RLN00398. Uit de berekeningen en toetsingen blijkt dat de elektrische beïnvloeding tijdens een 1-fase kortsluiting in de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk niet voldoet aan de beoordelingscriteria voor aanraakspanningen bij de kabelmantels en de maximale spanning op de aders van railinfra apparatuur indien wordt uitgegaan van een 1-zijdige aarding van de aders, aardscherm en armering. Zoals aangegeven in RLN00398 is dit in de praktijk niet het geval en is er sprake van een 2-zijdige aarding bij de 3kV kabel of zwevend in geval van de IB en IT kabels. Of de berekende overschrijdingen aanleiding zijn voor het treffen van maatregelen of aanpassingen, zal in een nader overleg tussen TenneT en ProRail moeten worden bepaald.

Spoorlijn Leiden – Woerden

Er wordt voldaan aan alle gestelde eisen conform ProRail richtlijn RLN00398. Er is geen sprake van ontoelaatbare beïnvloedingen.

Spoorlijn Gouda - Zoetermeer

Er wordt niet voldaan aan alle gestelde eisen conform ProRail richtlijn RLN00398. Uit de berekeningen en toetsingen blijkt dat de elektrische beïnvloeding tijdens een 1-fase kortsluiting in de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk niet voldoet aan de beoordelingscriteria voor de maximale spanning op de aders van railinfra apparatuur indien wordt uitgegaan van een 1-zijdige aarding van de aders, aardscherm en armering. Zoals aangegeven in RLN00398 is dit in de praktijk niet het geval en is er sprake van een 2-zijdige aarding bij de 3kV kabel of zwevend in geval van de IB en IT kabels. Of de berekende overschrijdingen aanleiding zijn voor het treffen van maatregelen of aanpassingen, zal in een nader overleg tussen TenneT en ProRail moeten worden bepaald.

Uit de berekeningen en toetsingen blijkt ook dat de 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning ontoelaatbaar is. Deze overschrijding is het gevolg van de beïnvloedingen van de bestaande 380kV Krimpen-Bleiswijk.

BRONVERMELDING

- [1] ProRail Richtlijn RLN00398 “Beleid elektromagnetische beïnvloedingen van hoogspanningsverbindingen op de hoofd-spoorweginfrastructuur”, documentnummer: RLN00398, versie: 001, datum:01-11-2013.
- [2] ProRail gegevens:
 - a. E-mail van mevr. L. Hoogendoorn van ProRail met informatie over de spoorlijn, d.d. 1-3-2013.
 - b. E-mail van dhr. M. Verweijmeren van ProRail met informatie over de OR bladen, d.d. 18-12-2013.
 - c. E-mail van dhr. J. van Nieuwkerk van ProRail met informatie over de OR bladen, d.d. 28-1-2014.
- [3] Gegevens TenneT:
 - a. Gegevens hoogspanningsverbindingen: Petersburg rapport: “*Utgangspuntendocument EMC Studie Randstad 380kV Noordring*”, referentie: TE121000-R01 AM, d.d. 04-04-2014.
 - b. Email van dhr. J. Verduijn met informatie over masten omnummeren van VKT 4.0 naar VKT 5.0, d.d. 12-02-2014.
 - c. Email van dhr. R. van der Woude met tracé gegevens VKT 5.0, d.d. 12-02-2014.

Bijlage A: Stroombelastingen

TE121000-R08 AM
11 juli 2014

In tabel A1 zijn de stroombelastingen van de voor ProRail relevante trajecten van de Randstad 380kV Noordring weergegeven, conform opgave TenneT [3].

Tabel A1, Stroombelastingen van de Randstad 380kV Noordring

Verbinding		Spanning	Aantal circuits	Inom	kortsluitstroom station 1 (kA)					kortsluitstroom station 2 (kA)				
					kortsluitstroom station 1 (kA)		R / X (Ω)	bijdrage vanuit station 2 per circuit (kA)		kortsluitstroom station 2 (kA)		R / X (Ω)	bijdrage vanuit station 1 per circuit (kA)	
Station 1	Station 2	[kV]		[A]	3-fasig	1-fasig		3-fasig	1-fasig	3-fasig	1-fasig		3-fasig	1-fasig
Velsen	Vijfhuizen	150	2	850	52.19	30.3	0.07	3.487	1.8	39.41	26.09	0.12	8.926	4.73
Zoetermeer	Leiden	150	3	1155	37.76	22.57	0.06	4.317	2.61	36.1	10.21	0.1	4.84	1.02
Sassenheim	Haarlemmermeer	150	2 (1)	800	28.88	18.4	0.14	11.213	7.57	30.01	20.64	0.14	10.568	6.96
Leiden	Sassenheim	150	2	770	36.1	10.21	0.1	4.495	2.95	28.88	18.4	0.14	8.837	5.45
Haarlemmermeer	Vijfhuizen	150	2	925	30.1	20.64	0.14	9.805	6.38	39.41	26.09	0.12	4.303	3.09
Zoetermeer	Alphen a/d Rijn	150	2	1155	37.76	22.57	0.06	1.862	2.27	24.56	18.49	0.08	10.145	6.88

(1) Dit is een samengeslagen verbinding

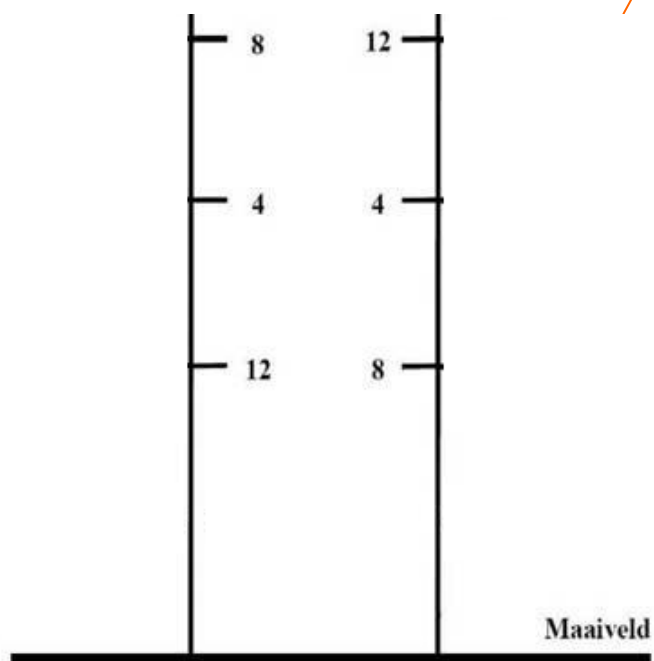
Verbinding		Spanning	Aantal circuits	Inom	kortsluitstroom station 1 (kA)					kortsluitstroom station 2 (kA)				
					kortsluitstroom station 1 (kA)		R / X (Ω)	bijdrage vanuit station 2 per circuit (kA)		kortsluitstroom station 2 (kA)		R / X (Ω)	bijdrage vanuit station 1 per circuit (kA)	
Station 1	Station 2	[kV]		[A]	3-fasig	1-fasig		3-fasig	1-fasig	3-fasig	1-fasig		3-fasig	1-fasig
Beverwijk	Vijfhuizen	380	2	2900	38.11	50	0.06	7.48	8.73	36.9	50	0.06	9.49	8.97
Vijfhuizen	Bleiswijk	380	2	2900	39.9	50	0.06	8.49	9.04	47.05	49.84	0.05	5.12	5.64

Tab2, Stroombelastingen van de bestaande hoogspanningsverbindingen

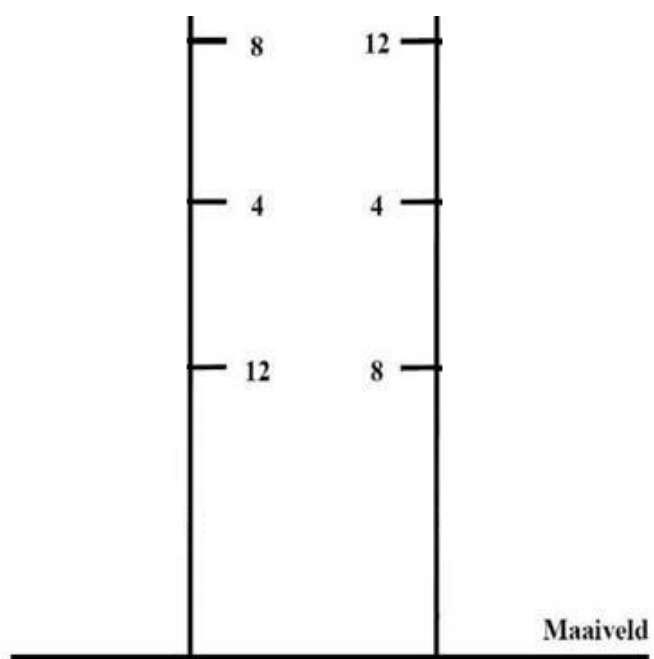
Verbinding	Aantal circuits	Klokgetallen	Nominale stroom [A]
380kV lijn Krimpen - Bleiswijk	2	Zie bijlage B	4000
150kV kabelverbinding Bleiswijk – Zoetermeer	3	Platvlak 8-4-12 / 8-4-12 / 8-4-12	960

Bijlage B: Klokgetallen

TE121000-R08 AM
11 juli 2014



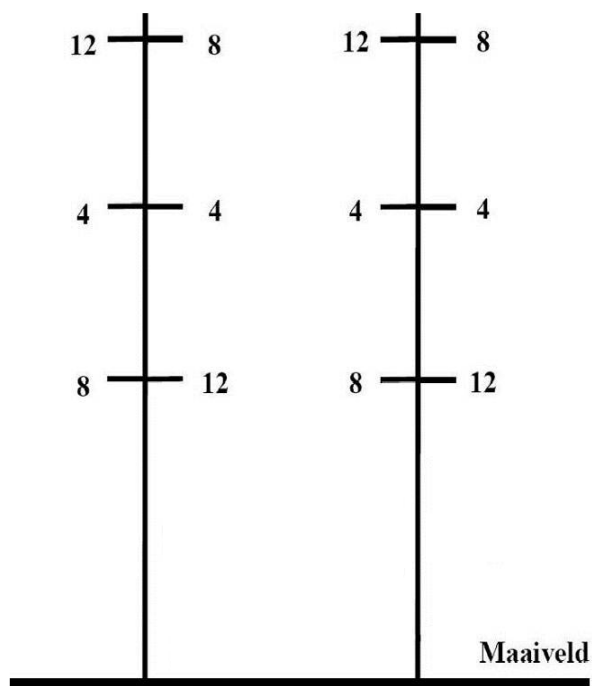
Afbeelding B1, Klokgetallenconfiguratie 380kV verbinding Beverwijk – Vijfhuizen
circuit aanduiding Zwart-Wit



Afbeelding B2, Klokgetallenconfiguratie 380kV verbinding Vijfhuizen - Bleiswijk
circuit aanduiding Paars-Oranje

Bijlage B: Klokgetallen

TE121000-R08 AM
11 juli 2014



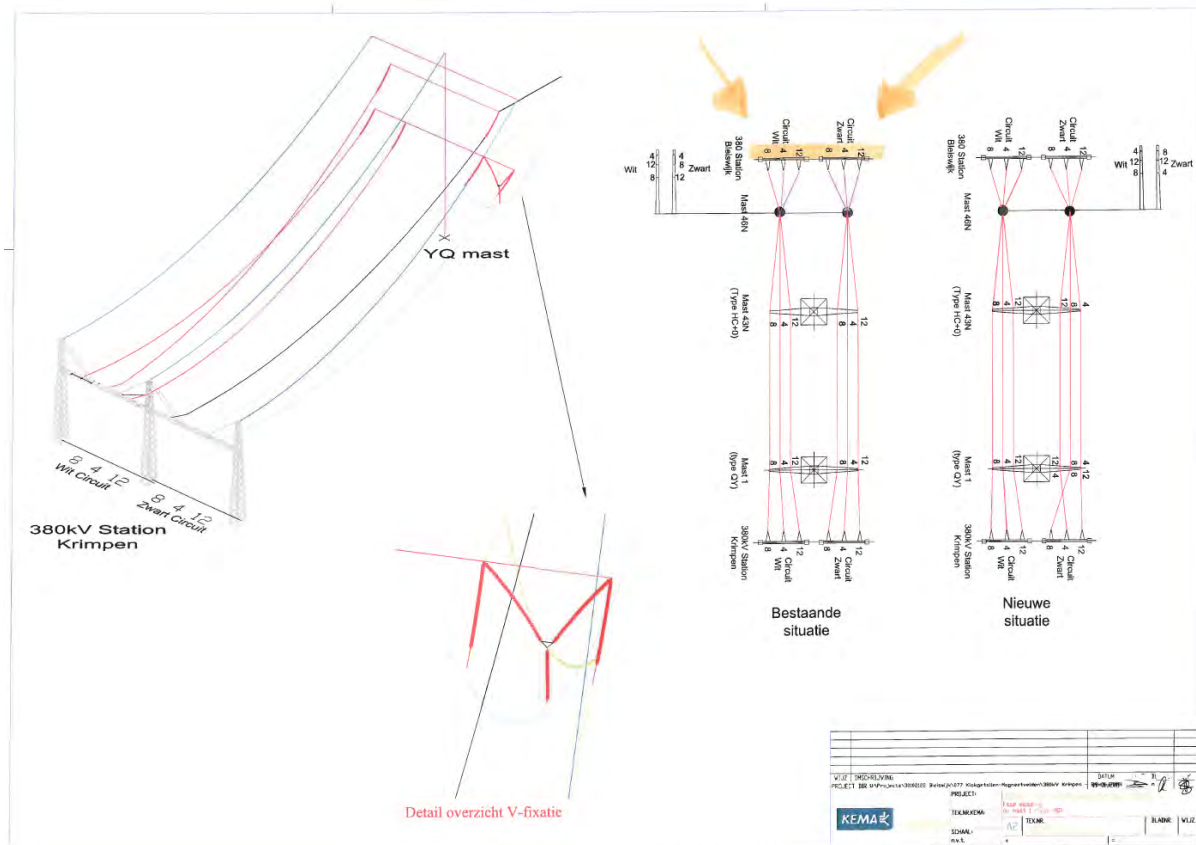
Afbeelding B3, Klokgetallen configuratie bovengrondse lijn Vijfhuizen – Bleiswijk
(380kV binnen en 150kV buiten)

380kV verbinding:	12 – 4 – 8 – 8 – 4 – 12 8 – 4 – 12 – 12 – 4 – 8
150kV verbinding:	12 – 4 – 8 8 – 4 – 12

Afbeelding B4, Klokgetallen kabelverbindingen

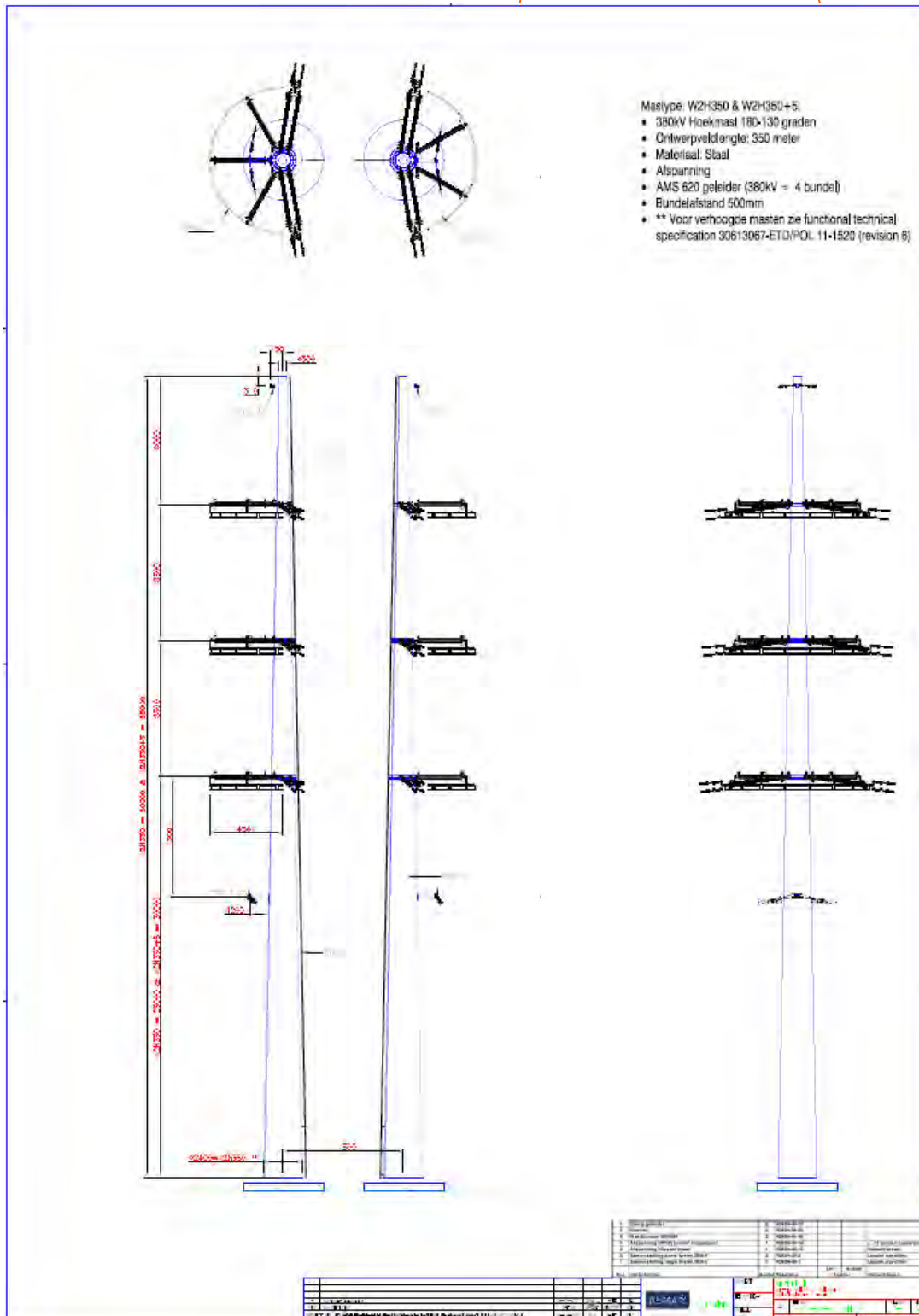


Afbeelding B5, Klokgetallen configuratie kabelgedeelte (maaiveldligging)



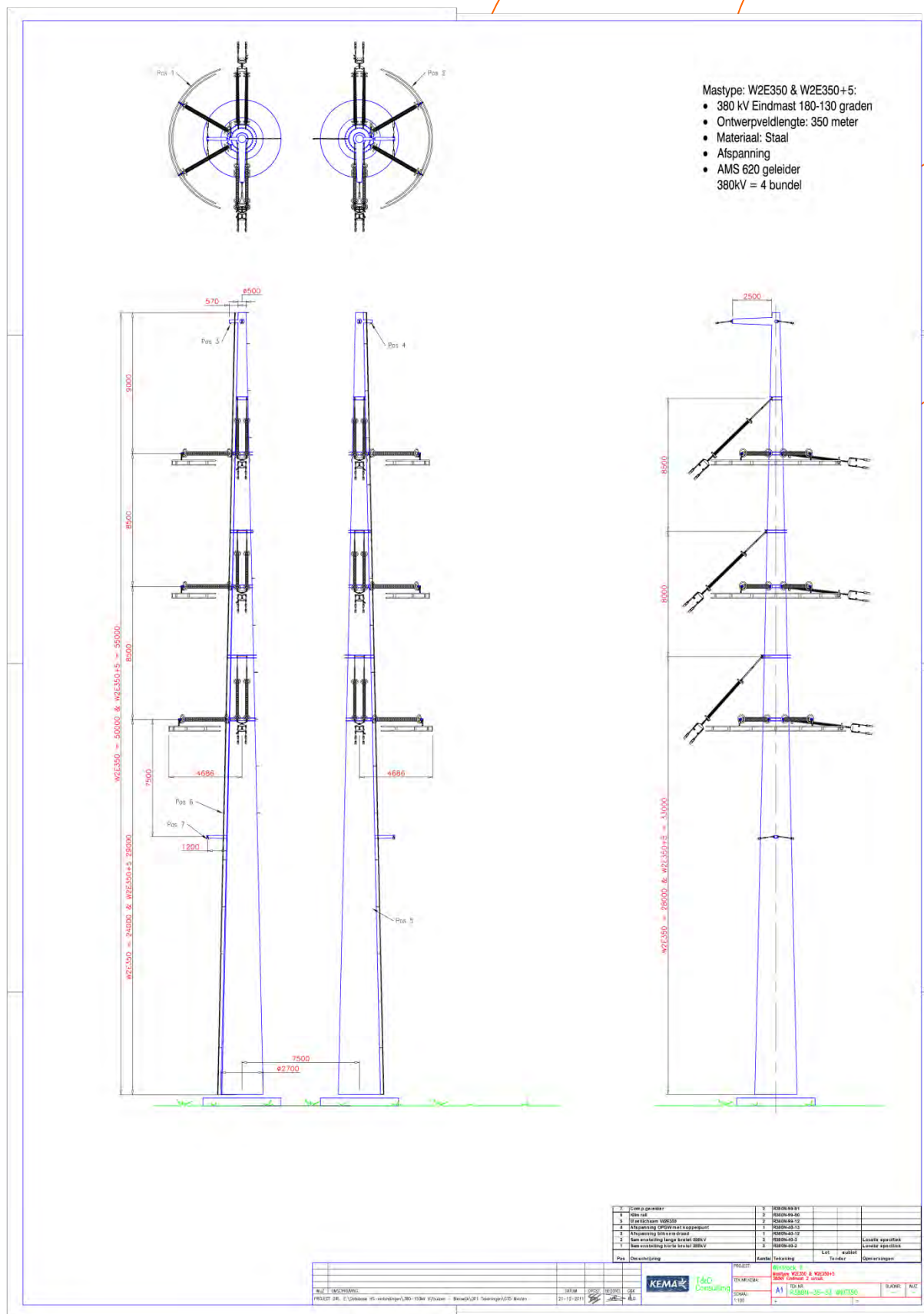
Afbeelding B6, Klokgetallen 380kV Krimpen-Bleiswijk

Mastbeelden van de voor ProRail relevante trajecten van de Randstad 380kV Noordring, conform opgave TenneT [3].



Afbeelding C1, Mastbeelden type W2H350

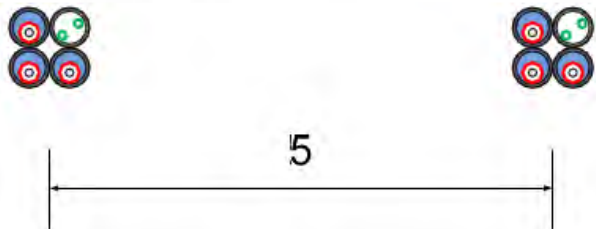




Afbeelding C3, Mastbeelden type W2E350

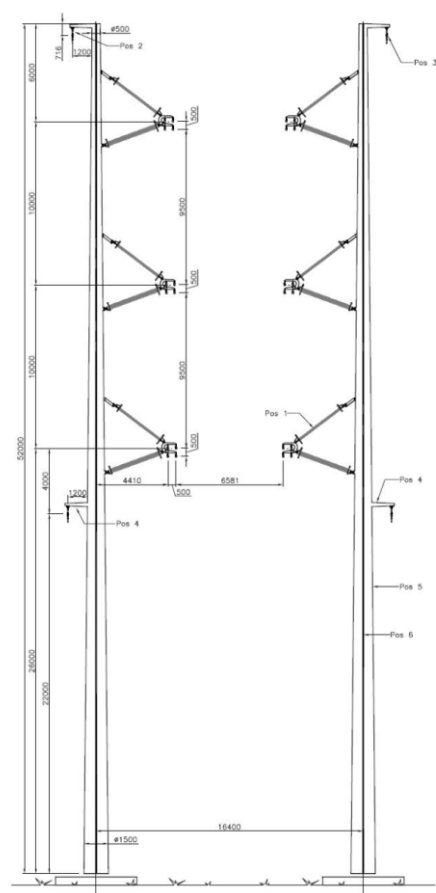
150kV-verbindingen (standaard):

Liggingdiepte (dek)	: afhankelijk van het te kruisen object
Beschikbare ruimte per boring	: afhankelijk van de situatie
Aantal boringen	: 2 stuks
Aantal buizen HS kabel	: 6 x Ø200mm
Aantal buizen secundaire kabel	: 2 x Ø200mm
Ruimte tussen boringen	: 5m
Veiligheidsafstand	: 5m buiten hartlijn buitenste boringen



Afbeelding C4, HDD 150kV verbinding kabeldoorsnede

TE121000-R08 AM
11 juli 2014



Afbeelding C5, Mastbeelden 380 verbinding Krimpen - Bleiswijk

TE121000-R08 AM
11 juli 2014

Tabel D1 : Bodemweerstanden bij het traject Beverwijk-Vijfhuizen

Mast	Locatie		Bodemweerstand in [Ωm] voor verschillende dieptes									
	X	Y	-0,5m	-1m	-2m	-3m	-4m	-5m	-7m	-10m	-15m	-30m
Mast 1	106948	498499	16	21	22	19	12	9	7	8	5	10
Mast 3	106892	497851	321	274	107	62	22	23	20	23	26	35
Mast 5	106582	497168	186	221	215	167	112	63	24	12	27	24
Mast 7	106139	495975	16	18	20	20	19	17	16	16	16	18
Mast 8	106093	495580	61	30	25	26	28	27	25	24	23	25
Mast 9	106317	495343	18	30	17	19	20	21	22	23	24	28
Mast 10	106556	495089	15	16	13	11	9	9	9	11	14	18
Mast 11	106798	494832	11	8	9	9	9	9	9	11	13	16
Mast 13	107261	494341	27	27	24	25	17	17	17	17	18	14
Mast 14	107501	494087	24	26	25	24	23	23	23	23	23	21
Mast 15	107741	493832	39	30	33	35	36	37	37	38	36	33
Mast 16	107974	493586	69	56	47	49	33	22	14	9	8	11
Mast 17	108217	493327	31	26	28	25	15	9	8	14	10	16
Mast 19	108585	492928	47	28	27	24	14	8	20	12	135	17
Mast 20	108787	492710	39	40	22	11	5	3	3	3	3	4
Mast 21	108751	492431	17	12	7	5	3	3	3	3	3	3
Mast 27	108572	490821	17	13	12	13	14	14	14	11	9	7
Mast 30	108431	489989	28	26	19	16	14	14	14	11	11	10
Mast 33	108312	489129	17	17	20	21	21	23	23	23	20	16
Mast 34	108233	488893	178	179	79	40	25	22	21	18	17	16
Mast 38	107956	487732	11	12	14	15	16	16	15	13	13	8

Mast	Locatie		Bodemweerstand in [Ωm] voor verschillende dieptes									
	X	Y	-0,5m	-1m	-2m	-3m	-4m	-5m	-7m	-10m	-15m	-30m
Mast 212	107553	484669	38	41	42	38	36	34	28	18	12	8
Mast 210	107213	484298	16	15	19	18	16	15	13	12	11	7
Mast 209	107033	484102	124	151	156	131	102	71	37	21	8	5
Mast 208	106856	483909	115	119	103	86	66	54	42	30	18	9
Mast 207	106674	483710	50	40	42	45	48	48	45	38	25	10
Mast 206	106476	483495	40	40	40	35	31	28	26	24	21	
Mast 205	106314	483318	72	61	50	43	38	35	31	37	19	
Mast 204	106154	483146	183	160	88	50	34	28	24	20	17	
Mast 203	105931	482939	27	31	37	38	39	38	37	34	28	15
Mast 202	105656	482834	48	52	53	40	37	35	32	26	20	12
Mast 201	105388	482732	42	43	40	40	39	38	35	26	21	14
Mast 200	105134	482635	29	28	26	28	30	31	29	28	23	
Mast 199	102677	479952	31	34	31	29	28	30	32	34	34	33
Mast 198	102499	479704	34	27	26	28	30	31	33	35	37	33
Mast 197	102571	479313	15	18	24	28	30	32	37	41	45	46
Mast 196	102643	478919	27	22	23	22	24	23	22	21	22	
Mast 195	102390	478605	19	19	20	17	15	14	14	16	18	21
Mast 194	102125	478306	22	17	15	13	12	11	12	13	16	20
Mast 193	101904	478057	25	21	16	14	13	13	14	17	21	38
Mast 192	101684	477807	29	26	22	18	16	14	15	17	22	27
Mast 191	101465	477560	17	11	10	11	11	12	14	18	21	25
Mast 190	101237	477305	20	14	9	8	9	10	11	14	19	28

Bijlage D: Bodemweerstand

TE121000-R08 AM
11 juli 2014

Mast	Locatie		Bodemweerstand in [Ω m] voor verschillende dieptes									
	X	Y	-0,5m	-1m	-2m	-3m	-4m	-5m	-7m	-10m	-15m	-30m
Mast 189	100993	477041	21	16	11	10	10	10	12	15	19	28
Mast 188	100756	476784	26	17	11	10	10	11	12	14	18	27
Mast 187	100563	476575	27	20	13	11	11	12	13	14	19	29
Mast 186	100602	476249	16	15	13	11	10	10	11	13	17	24
Mast 185	100641	475916	15	15	13	12	12	12	13	16	20	29
Mast 184	100685	475546	14	13	13	12	12	12	13	16	20	29
Mast 183	100928	475329	16	18	17	17	16	15	16	20	25	32
Mast 182	101218	475071	23	21	16	15	14	14	16	19	24	36
Mast 181	101511	474810	24	24	17	15	14	15	17	20	26	35
Mast 180	101799	474554	16	20	23	24	26	27	30	32	37	40
Mast 179	102097	474289	21	21	22	23	25	26	28	29	31	31
Mast 178	102394	474025	29	27	24	21	18	17	15	15	17	17
Mast 177	102693	473759	31	32	26	21	17	15	14	14	16	17
Mast 176	102990	473495	30	23	21	18	17	14	13	13	14	14
Mast 175	103035	473160	18	22	19	16	13	12	12	13	18	13
Mast 174	102856	472961	25	19	15	12	11	11	11	11	12	11
Mast 173	102654	472736	18	20	15	12	11	11	10	12	13	10
Mast 172	102421	472475	15	15	13	12	11	10	10	11	12	10
Mast 171	102190	472218	15	16	15	12	10	9	9	10	10	7
Mast 170	101963	471965	12	12	9	9	9	9	9	10	11	8
Mast 169	101778	471759	14	11	9	9	9	9	10	11	11	7
Mast 168	101659	471625	56	57	26	14	11	10	9	10	10	
Mast 167	101497	471445	13	13	11	9	8	9	9	9	9	7
Mast 166	101313	471233	18	14	12	9	8	8	8	8	9	7
Mast 165	101365	470870	31	19	9	7	7	7	7	8	9	8
Mast 164	101421	470486	11	9	7	7	7	7	7	8	9	8
Mast 163	101477	470098	10	10	8	7	7	7	7	9	10	13
Mast 162	101513	469854	65	39	22	18	22	16	17	18	19	23
Mast 161	101535	469699	37	24	18	15	16	14	14	14	13	12
Mast 160	101522	469409	21	19	18	16	14	12	11	11	11	9
Mast 159	101509	469112	32	28	26	24	22	20	16	12	10	9
Mast 158	101496	468812	32	46	25	23	23	21	18	14	11	8
Mast 157	101478	468412	18	19	21	21	20	19	17	14	12	9
Mast 156	101461	468028	42	26	11	9	8	8	8	9		
Mast 155	101445	467679	21	10	6	6	6	6	7	8		
Mast 154	101430	467342	37	27	12	9	9	9	10	10	9	7
Mast 153	100100	466000	29	24	12	9	7	7	6	6	6	5
Mast 152	99774	465775	27	19	10	8	7	7	7	6	6	4
Mast 151	99447	465550	18	12	9	7	7	7	6	6	5	4
Mast 150	99125	465330	23	15	11	9	7	6	6	5	5	
Mast 149	98820	465080	37	24	12	8	6	5	5	5	5	4
Mast 148	98576	464788	17	13	13	12	11	11	11	11	10	10
Mast 147	98354	464450	11	11	13	13	13	12	11	9	6	4
Mast 146	98255	464111	30	30	20	12	8	6	5	4	4	5
Mast 145	98470	463815	23	18	9	7	5	4	3	3	3	4
Mast 144	98706	463487	22	19	12	7	5	4	4	4	5	
Mast 143	98939	463165	28	20	13	9	6	6	5	4	5	6
Mast 142	99176	462837	23	21	13	9	6	5	4	5	6	
Mast 141	99408	462516	19	15	13	11	10	9	10	10	10	13
Mast 140	99433	462167	23	19	15	11	8	8	8	9	11	15
Mast 139	99457	461842	29	31	34	36	35	34	31	28	27	30
Mast 138	99482	461468	26	25	31	32	38	38	39	35	33	33
Mast 134	99556	460204	22	16	13	11	10	9	8	8	9	12
Mast 133	99575	459846	26	21	13	9	7	6	6	6	7	10
Mast 132	99542	459473	21	18	17	17	17	17	18	20	21	21

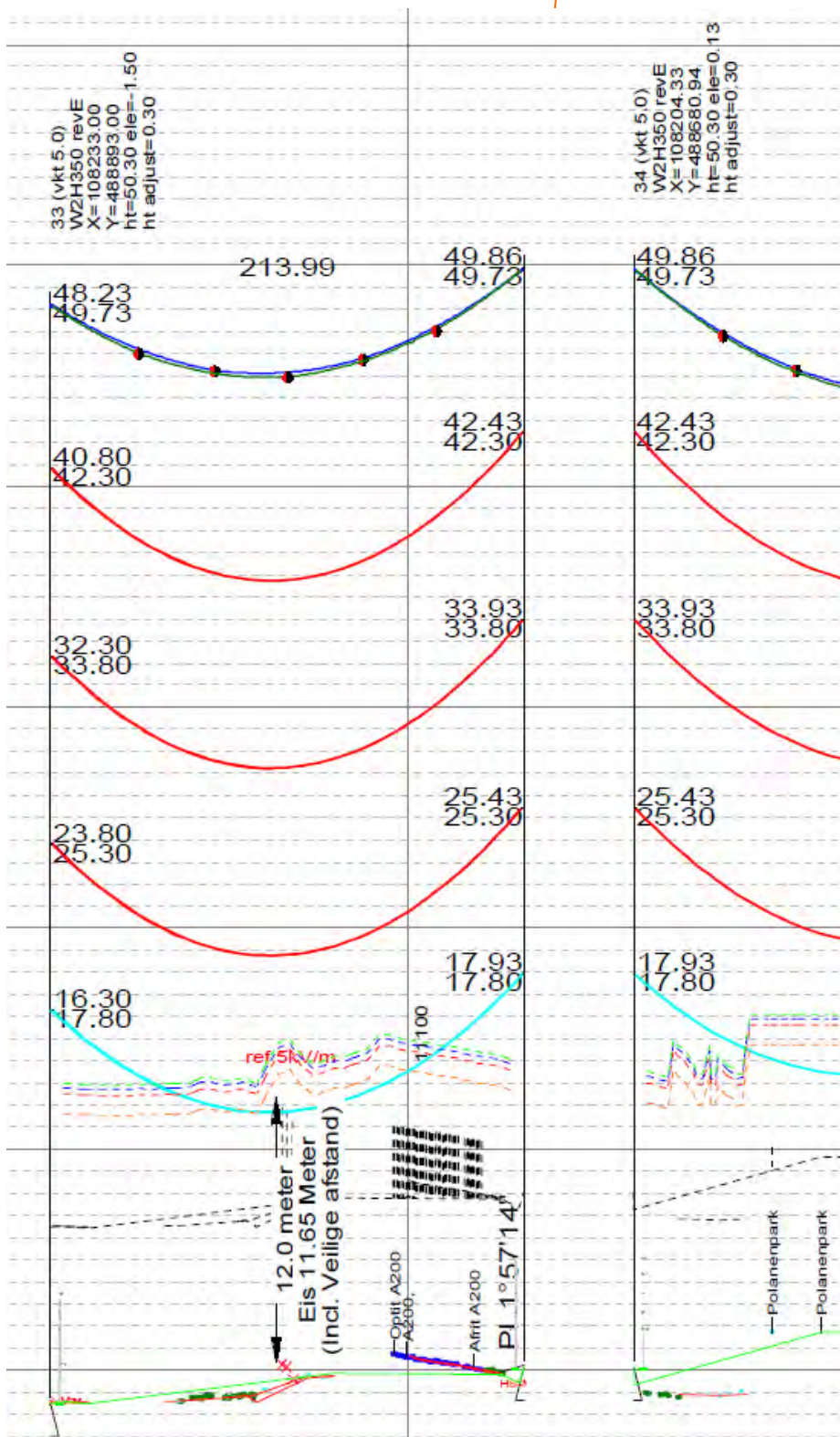
Bijlage D: BodemweerstandTE121000-R08 AM
11 juli 2014

Mast	Locatie		Bodemweerstand in [Ω m] voor verschillende dieptes									
	X	Y	-0,5m	-1m	-2m	-3m	-4m	-5m	-7m	-10m	-15m	-30m
Mast 131	99511	459122	30	22	16	12	10	10	9	10	11	17
Mast 130	99479	458754	39	30	19	14	12	11	11	11	12	16
Mast 129	99449	458405	42	33	23	19	16	17	16	16	16	17
Mast 128	99419	458066	23	23	22	20	18	17	16	15	16	14
Mast 127	99388	457720	28	28	26	22	19	17	15	14	13	13
Mast 126	99354	457322	29	24	22	20	17	15	12	12	13	13
Mast 125	99324	456985	44	36	25	21	20	18	17	16	16	16
Mast 124	99306	456661	56	48	25	19	20	17	18	17	17	16
Mast 123	99288	456320	17	23	24	22	21	19	17	17	17	13
Mast 122	99180	455947	27	28	28	26	23	21	17	14	13	9
Mast 121	99083	455611	30	34	31	26	21	17	14	12	11	9
Mast 120	98986	455277	27	29	27	23	20	18	16	14	13	10
Mast 119	98886	454931	21	24	24	22	20	18	15	13	13	12
Mast 118	98775	454550	19	17	16	17	17	17	16	15	16	16
Mast 117	98674	454200	27	28	27	25	23	22	18		17	
Mast 116	98594	453922	20	23	26	25	22	20	18	17	17	17
Mast 115	98522	453676	22	24	26	23	20	18	17	13	14	15
Mast 114	98434	453372	26	31	29	25	23	19	16	14	15	15
Mast 113	98340	453047	26	23	18	15	14	13	12	13	14	15
Mast 112	98229	452663	22	27	27	23	21	19	17	16	17	19
Mast 111	98118	452278	23	28	28	23	21	19	17	17	18	19
Mast 110	98007	451895	25	30	30	29	28	26	22	20		
Mast 109	97896	451512	36	40	36	32	29	27	24	22	23	22
Mast 108	97786	451132	22	27	30	29	29	26	24	22	23	25
Mast 107	97674	450744	28	26	22	21	21	22	21	21	22	23
Mast 106	97571	450390	23	26	27	27	25	26	24	22	22	23
Mast 105	97210	450228	49	67	68	59	50	42	34	29	27	26
Mast 104	96892	450231	21	18	18	15	14	13	10	10		
Mast 103	96672	450299	19	20	21	21	21	19	17	17	17	20
Mast 102	96452	450367	14	15	17	17	17	16	15	14	16	19

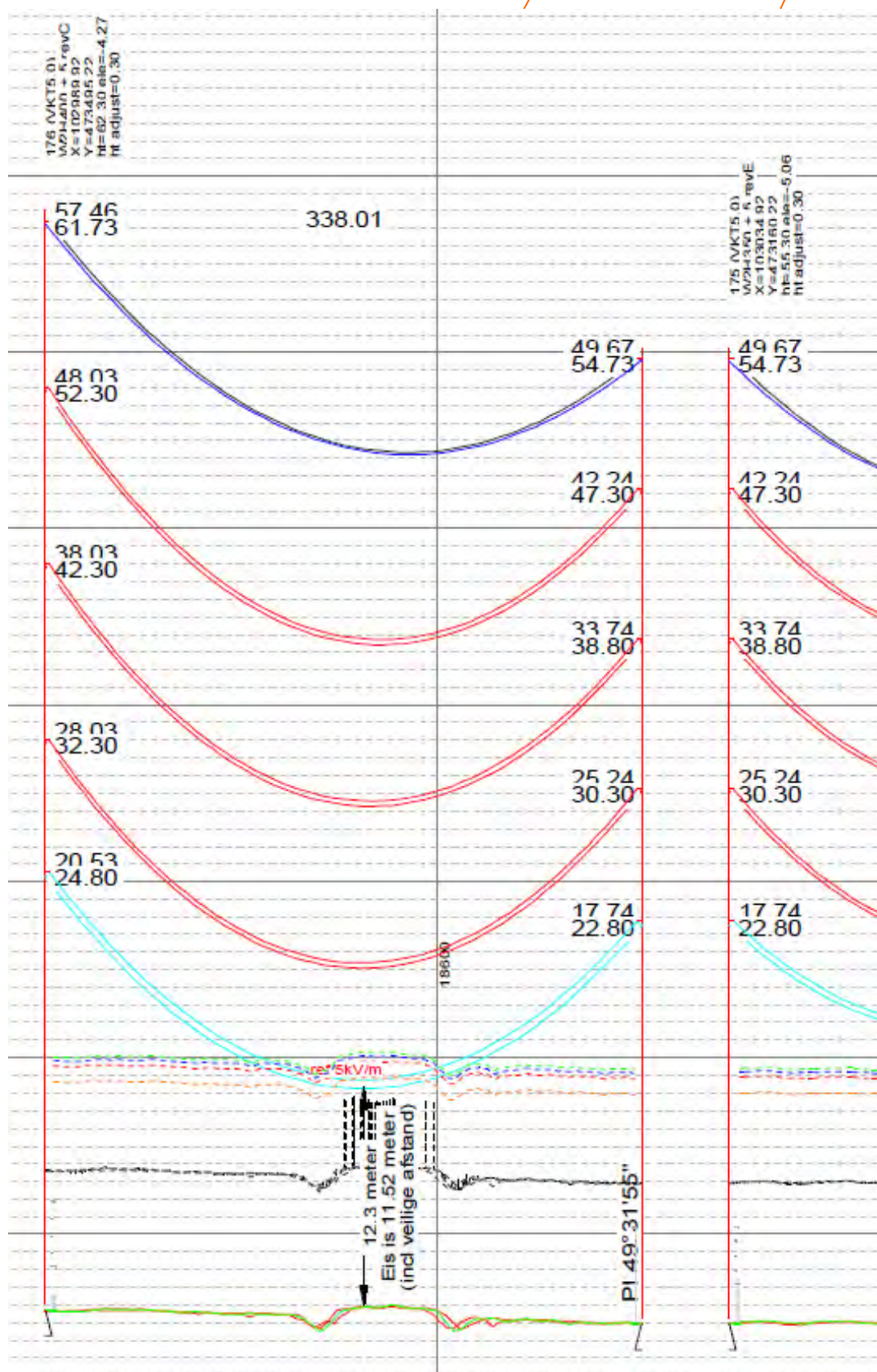
Bijlage E: Lengteprofielen

TE121000-R08 AM
11 juli 2014

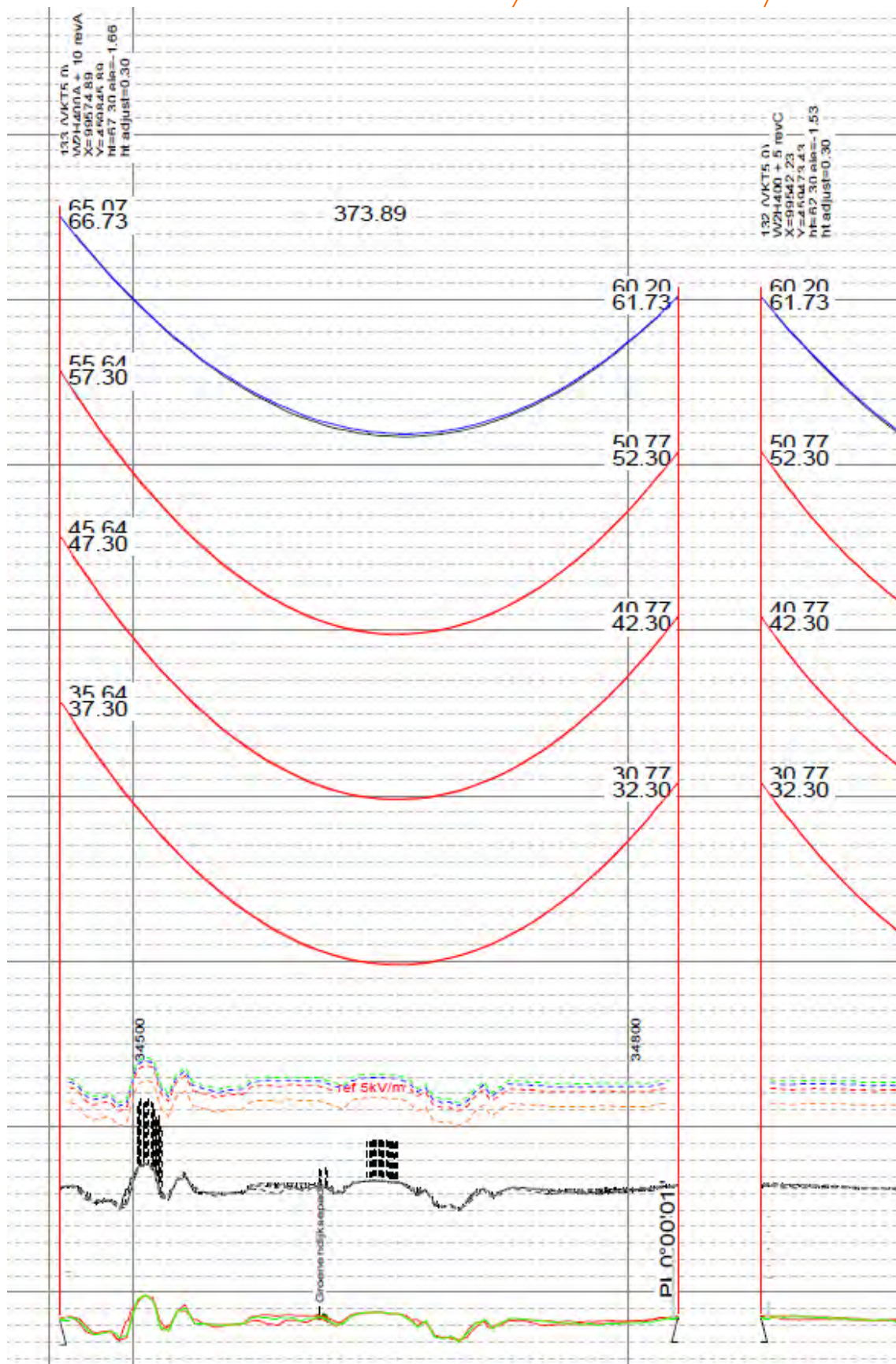
De gehanteerde lengteprofielen, conform opgave van TenneT, zijn opgenomen in bijlage E1 t/m E4. Het betreft een sectie van het betreffende lengteprofiel waar de hoogspanningsverbinding de spoorbaan kruist.



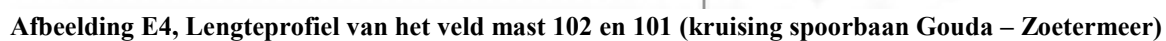
Afbeelding E1, Lengteprofiel van het veld mast 33 en 34 (kruising spoorbaan Amsterdam – Haarlem)



Afbeelding E2, Lengteprofiel van het veld mast 176 en 175 (kruising spoorbaan Schiphol – Leiden)



Afbeelding E3, Lengteprofiel van het veld mast 133 en 132 (kruising spoorbaan Leiden – Woerden)



Bijlage 11

TE121000-B05 AM

Mogelijke maatregelen in verband
met beïnvloeding ProRail

TenneT TSO B.V.
T.a.v. dhr. G. Volman
Postbus 718
6800 AS ARNHEM

Datum : 8 augustus 2014
Uw kenmerk :
Ons kenmerk : TE121000-B05 AM
Behandeld door : A. Mobder
Telefoon : +31 26 319 53 70
E-mail : a.mobder@petersburg.nl
Onderwerp : Mogelijke maatregelen in verband met beïnvloeding ProRail

Geachte heer Volman,

In opdracht van TenneT hebben wij de optredende beïnvloeding van Randstad 380kV Noordring op spoorlijnen van ProRail berekend en gerapporteerd. Uit deze rapportage blijkt dat voor de spoorlijnen Schiphol-Leiden, Gouda-Zoetermeer en HSL-Zuid rekening moet worden gehouden met overschrijding van eisen in verband met elektrische beïnvloeding.

Om tot een aanvaardbare situatie te komen, heeft TenneT ons in navolging van deze rapportage en het overleg met ProRail van 29 juli 2014, gevraagd om enerzijds waar mogelijk het rapport aan te passen door wijziging van uitgangspunten en anderzijds de effectiviteit van mogelijke maatregelen te onderzoeken.

In de bijlage bij deze brief vindt u de notitie waarin de effecten verkend worden van enkele bijgestelde uitgangspunten en enkele additionele mogelijke maatregelen. Tezamen kan hiermee aan de gestelde eisen voldaan worden, met uitzondering van een overschrijding die ook al in de bestaande situatie bestaat. In een nadere beschouwing van deze overschrijding is vastgesteld dat de Randstad 380kV Noordring leidt tot een verbetering in plaats van een verslechtering.

Met vriendelijke groet,

Petersburg Consultants BV,



Amar Mobder

Inleiding

In het geval van een hoogspanningsverbinding in de directe nabijheid (parallel of kruisend) van een spoorlijn moet rekening worden gehouden met de elektrische beïnvloeding van de hoogspanningsverbinding op de spoorlijn. In het geplande tracé van de Randstad 380kV Noordring liggen vijf spoorlijnen die worden beheerd door ProRail. Van noord naar zuid zijn dit de spoorlijnen Amsterdam - Haarlem, Schiphol-Leiden, Leiden-Woerden, Gouda-Zoetermeer en HSL-Zuid.

De mogelijke optredende elektrische beïnvloeding door de aan te leggen hoogspanningsverbinding Randstad 380kV Noordring op de spoorlijnen is berekend en getoetst. De resultaten zijn gerapporteerd in Petersburg rapporten TE121000-R08 AM en TE121000-R27 AM. Uit deze berekeningen en toetsingen blijkt dat bij de spoorlijnen Schiphol-Leiden, Gouda-Zoetermeer en HSL-Zuid niet voldaan wordt aan de gestelde eisen.

De vervolgstappen en de mogelijke maatregelen in verband met elektrische beïnvloeding zijn besproken met ProRail op 29 juli 2014 aan de hand van Petersburg notitie TE121000-B04. In deze notitie zijn in vervolgstappen bijstelling van de berekeningen voorgesteld aan de hand van locatiespecifieke gegevens en zijn verschillende oplossingsrichtingen voor maatregelen benoemd. In het overleg met ProRail heeft ProRail aangegeven dat eerst de mogelijke maatregelen in de infrastructuur van TenneT onderzocht moet worden voordat maatregelen aan de ProRail infrastructuur voorgesteld kunnen worden. Deze notitie beschrijft de effecten van bijstelling van uitgangspunten van TenneT en de verwachte effectiviteit van mogelijke maatregelen. Tenslotte wordt een overschrijding nader beschouwd, die in principe niet door de Randstad 380kV Noordring veroorzaakt wordt.

Maatregel 1: het hoogspanningsnet aanpassen d.m.v. blusspoelaarding

Deze mogelijke maatregel zal aan netstrategie worden voorgelegd. Vooralsnog wordt aangenomen dat deze maatregel niet realistisch is, vanwege gevolgen voor de structuur van het gehele 380kV-net in Nederland.

Maatregel 2: toepassen extra retourstroomgeleiders

In de relevante deeltracés zijn al retourstroomgeleiders toegepast. Het aanbrengen van extra retourstroomgeleiders resulteert niet in een significante verbetering van overschrijdingen.

Uitgangspunt 1: bijstellen kortsluitstromen

In de uitgevoerde berekeningen is uitgegaan van een algemene extreme waarde voor 1-fase kortsluitingen ongeacht de locatie van de kortsluiting in de verbinding. In het oorspronkelijke programma van eisen werd voorgeschreven dat met één enkele (worst case) waarde gerekend moest worden voor de gehele verbinding. In overleg met TenneT is dit uitgangspunt aangepast doordat de kortsluitstroom is aangenomen ter plaatse van de parallelloop met het spoor locatie specifieke gegevens. Bovendien zijn er kortsluitstroom berekeningen uitgevoerd voor de volgende situaties:

- o 32,8kA in station Vijfhuizen en 45kA in station Bleiswijk. Deze waarden zijn de daadwerkelijke waarden in de stations en zijn geldig tot 2023.
- o Ontwerpstroom van 50kA zowel in station Vijfhuizen als station Bleiswijk.

De optredende beïnvloeding is hieronder berekend en getoetst.

Beïnvloeding tijdens kortsluiting

De maatgevende optredende spanningen zijn berekend en getoetst. De resultaten van beide situaties zijn opgenomen in tabel 1 en tabel 2.

Tabel 1, Toetsing bij kortsluitstroom van 32,8kA in Vijfhuizen en 45kA in Bleiswijk tot 2023

Spoorlijn	Maatgevende toetsing	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Schiphol-Leiden	spanning op de IB en IT kabels	650	641	J
HSL-Zuid	spanning op bovenleiding tijdens CLU	785	646	J
Gouda-Zoetermeer	spanning op de IB en IT kabels	650	628	J

Tabel 2, Toetsing bij kortsluitstroom van 50kA zowel in Vijfhuizen als in Bleiswijk

Spoorlijn	Maatgevende toetsing	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Schiphol-Leiden	spanning op de IB en IT kabels	650	950	N
HSL-Zuid	spanning op bovenleiding tijdens CLU	785	684	J
Gouda-Zoetermeer	spanning op de IB en IT kabels	650	661	N

Uit de tabellen blijkt dat in de komende periode tot 2023 aan de eisen kan worden voldaan zonder het treffen van aanvullende maatregelen. Een probleem ontstaat daarna als de kortsluitwaarde van 50kA geldig wordt. Vanwege het ontbreken van detailinformatie van de IB en IT kabels, is een oplossing gezocht met extra, tweezijdig gearde aardkabels, in de nabijheid van de kabels van ProRail. Voor de spoorlijn Schiphol-Leiden zou in dat geval volstaan kunnen worden met tien aardkabels en twee aardkabels voor de spoorlijn Gouda-Zoetermeer. De lengte van de parallelloop van de spoorlijn Schiphol-Leiden is circa 3km en die van spoorlijn Gouda-Zoetermeer circa 1,5km.



Nadere beschouwing van bestaande overschrijding

De optredende spanningen tijdens normaal bedrijf zijn in de rapporten berekend en getoetst en zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 3, Toetsing bij normaal bedrijf

Spoorlijn	Maatgevende toetsing	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Schiphol-Leiden	50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning	7/25	7/14	J
HSL-Zuid	spanning op bovenleiding tijdens CLU	60	7	J
Gouda-Zoetermeer	50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning	7/25	13/27	N

Uit de berekeningen in de rapporten blijkt dat de bijdrage van Randstad 380kV Noordring groter is dan 20% van het beoordelingscriterium conform RLN00398. Daarom is rekening gehouden met de beïnvloeding van de bestaande hoogspanningsverbindingen:

- 380kV lijn Krimpen-Bleiswijk
- 150kV kabel Bleiswijk-Zoetermeer

Tabel 3 geeft de toekomstige situatie met Randstad 380kV Noordring en de bestaande hoogspanningsverbindingen. Hieruit blijkt dat bij spoorlijn Gouda-Zoetermeer niet wordt voldaan aan de gestelde eis. Om de bijdrage van de Randstad 380kV Noordring nader in beeld te brengen, zijn de optredende spanningen zowel in de huidige situatie (zonder Randstad 380kV Noordring) als de toekomstige situatie berekend en getoetst. De resultaten zijn in tabel 4 opgenomen.



Tabel 4, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning van spoorlijn Gouda-Zoetermeer

Belastingssituatie	Maximaal toelaatbare spanning Beschikbaarheid/veiligheid [V]	Maximaal optredende spanning [V]		Voldoet [J/N]
		Huidig	Toekomstig	
Normaal bedrijf	7/25	14/28	12/24	N
Onderhoud in R380kV Noordring	7/25	-	11/22	N
10% asymmetrie in R380kV Noordring	7/25	-	11/23	N
10% asymmetrie bij onderhoud in R380kV Noordring	7/25	-	13/27	N

Uit de tabel blijkt dat de bestaande verbindingen verantwoordelijk zijn voor de overschrijding van de maximaal toelaatbare waarden. Met de bijdrage van Randstad 380kV Noordring worden de optredende spanningen lager dan de spanningen in de huidige situatie.

Vervolgstappen

- In overleg met ProRail vaststellen over hoe om te gaan met de overschrijding in de huidige situatie.
- Keuze van uitgangspunten voor de 1-fase kortsluitstroom in de stations.
- Wanneer moet worden uitgegaan van 50kA, in overleg met ProRail de mogelijke oplossingsrichtingen verkennen. Eén van die richtingen kan zijn het aanbrengen van extra aardkabels die niet ingrijpen op de systemen van ProRail.
- Bijstellen van de rapporten aan de hand van de gewijzigde uitgangspunten en/of verwerking van de overeengekomen maatregelen.



Bijlage 12

TE121000-N21

Interferentie spoorlijnen door
Noordring

Notitie

Aan : Jan van Oostveen, Jeffrey Boode, René Koopal, Wenda van Dijk, Camiel
Masselink, John Verduijn
Van : Marcel Janssen en Amar Mobder
Datum : 12 september 2014
Onze referentie : TE121000-N21

Betreft : Interferentie Randstad 380kV Noordring op spoorlijnen

Achtergrond

TenneT is voornemens om twee 380 kV hoogspanningsverbindingen te realiseren waarmee hoogspanningsstations in Beverwijk, Vijfhuizen en Bleiswijk met elkaar worden verbonden. Deze hoogspanningsverbindingen moeten worden gerealiseerd binnen het project “Randstad 380kV Noordring”.

Petersburg heeft in opdracht van TenneT de effecten van het project “Randstad 380kV Noordring” voor de elektromagnetische beïnvloeding van spoorlijnen onderzocht conform RLN00398. Uit dit eerste onderzoek (zie rapport TE121000-R08 AM versie 1.4, d.d. 11 juli 2014) is gebleken dat, op basis van worst case berekeningen en aannamen, ontoelaatbare beïnvloeding nog niet uitgesloten kan worden voor:

- Optredende spanningen op IB en IT bekabeling van spoorlijn Schiphol – Leiden tijdens een 1-fase kortsluitingen in de nieuwe hsp-lijn
- Optredende aanraakspanningen bij HSL-Zuid tijdens een kortsluiting in de nieuwe hsp-lijn
- Spanningen op de rijdraad van de spoorlijn Gouda - Zoetermeer als gevolg van beïnvloeding door bestaande hsp-verbindingen.

In overleg met dhr. Koopal van ProRail zijn enkele eerder gehanteerde uitgangspunten voor modellering van de spoorlijn aangepast (zie ook notitie TE121000-N20 d.d. 6 september 2014). De invloed van de nieuw te bouwen hoogspanningslijn op de spoorlijnen is met de aan de nieuwe uitgangspunten aangepaste berekeningsmodellen opnieuw beschouwd.

Deze notitie geeft een overzicht van de resultaten van de beschouwing van situaties van spoorlijnen in de nabijheid van de voorziene 380 kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk en Vijfhuizen en Vijfhuizen en Bleiswijk. Resultaten van toetsingen van spoorlijnen waarop de aangepaste uitgangspunten geen effect hebben zijn eveneens in deze notitie opgenomen.

Overzicht aanpassingen in de modellering

Modellering hoogspanningsverbinding

De hoogspanningslijn is in eerste instantie gemodelleerd door in het model stroombronnen toe te passen en er is in de berekeningen rekening gehouden met de worst case kortsluitstroom onafhankelijk van de foutlocatie in de hoogspanningslijn. De ontwerpwaarde van de 1-fase kortsluitstroom in de TenneT hsp-stations bedraagt 50 kA. De maximale kortsluitstroom in een parallelloop is echter afhankelijk van de locatie van de kortsluiting in de hsp-lijn.

Eén van de optredende effecten tijdens een kortsluiting is dat de stromen in de overige fasen, bliksemdraden en compensatiegeleiders veranderen, waardoor de beïnvloeding van de hoogspanningslijn op de omgeving verkleint

In de nieuwe berekeningen is rekening gehouden met deze effecten door in een separate kortsluitberekening waarin alle afzonderlijke masten zijn gemodelleerd, de maatgevende verdeling van stromen tijdens een kortsluiting te bepalen.

In de directe nabijheid van de locatie van een kortsluiting is sprake van een grotere reductie vanwege de grote retourstromen in de bliksemdraden en compensatiegeleiders. Deze extra reductie van beïnvloeding speelt echter alleen een rol voor de hoogspanningslijn bij de eerste paar masten vanaf de locatie van de kortsluiting. In de berekeningsresultaten is dit effect niet meegenomen.

Modellering spoorlijn

In de modellering van de spoorlijn in de eerste rapportage was rekening gehouden met enkelzijdige aarding van kabels en bovenleiding en sectionering van de spoorstaven bij de ES-lassen. Bovendien was geen rekening gehouden met de aanwezige maatregelen in verband met elektrische beïnvloeding door HSL op de spoorlijn Schiphol – Leiden. Naar aanleiding van het overleg met dhr. Koopal zijn de volgende zaken aangepast in de modellering van de spoorlijnen (alleen bij spoorlijnen met een 1500 V DC TES):

- De bovenleiding is bij ieder onderstation laagohmig verbonden met de spoorstaven (bij 1500 V DC TES)
- ES lassen zijn laagimpedant voor 50 Hz stromen; afsluitimpedanties van spoorstaven zijn hierdoor effectief
- Aanwezige condensatorbanken met aarding zijn gemodelleerd als laagohmige aarding van de spoorstaven

Berekening/toetsing

In de eerder gerapporteerde rijdraad spanningen is de spanning van de rijdraad ten opzichte van verre aarde weergegeven. Deze spanning is veel groter dan de spanning tussen rijdraad en de spoorstaven. Op maandag 8 september is besproken dat voor de toetsing van de beschikbaarheid, de spanning tussen de rijdraad en de spoorstaven moet worden getoetst. Voor het toetsen van veiligheid wordt de spanning rijdraad – verre aarde getoetst. In de berekeningen in deze notitie is het maximale spanningsverschil tussen de rijdraad en de spoorstaven gegeven (spoorstaven en rijdraad op dezelfde locatie in het spoor).

RLN00398 geeft aan dat rekening moet worden met asymmetrische stromen van 10%. De berekeningen van normale bedrijfsvoering zijn uitgevoerd door stroombronnen te modelleren in de hoogspanningsverbindingen. Bij de twee-circuit verbindingen is steeds de amplitude van één van de fasen 10% groter gekozen, totdat de resultaten van alle fasen met verhoogde amplitude bekend is. In situaties waar meerdere hoogspanningsverbindingen van belang zijn, wordt eerst vastgesteld met welke fase met 10% grotere amplitude, de hoogste beïnvloeding op de spoorlijn ontstaat. Vervolgens wordt in de andere hoogspanningsverbinding iedere fase gevarieerd totdat de hoogst optredende beïnvloeding op de spoorlijn wordt gevonden.

Conform RLN00398 moeten de effecten van overige beïnvloedingsbronnen op de spoorlijn in samenhang met de nieuwe hoogspanningsverbinding mede worden beschouwd indien de beïnvloeding van de nieuwe hoogspanningsverbinding zonder de beïnvloeding van overige verbindingen meer dan 20% van de toetswaarde bedraagt.

In het overleg op 8 september 2014 is afgesproken dat voor de situatie bij de spoorlijn Gouda – Zoetermeer de invloed van de bestaande 380 kV hoogspanningsverbinding Krimpen – Bleiswijk mede wordt beschouwd door de beïnvloeding van de volgende situaties te berekenen:

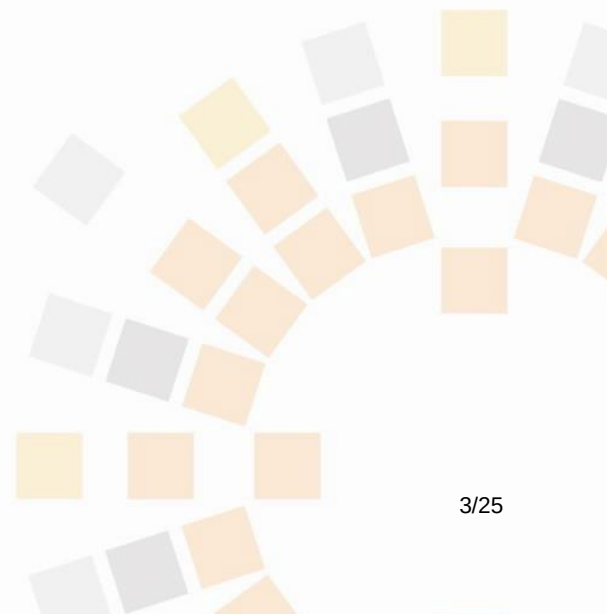
- 0% asymmetrische stromen in Krimpen – Bleiswijk, de verbinding Vijfhuizen – Bleiswijk is niet in het model opgenomen
- 10% asymmetrische stromen in Krimpen – Bleiswijk, de verbinding Vijfhuizen – Bleiswijk is niet in het model opgenomen
- 0% asymmetrische stromen in Vijfhuizen – Bleiswijk, de verbinding Krimpen – Bleiswijk is niet in het model opgenomen
- 10% asymmetrische stromen in Vijfhuizen – Bleiswijk, de verbinding Krimpen – Bleiswijk is niet in het model opgenomen
- 0% asymmetrische stromen in Vijfhuizen – Bleiswijk en Krimpen – Bleiswijk.
- 10% asymmetrische stromen in Vijfhuizen – Bleiswijk en Krimpen – Bleiswijk.

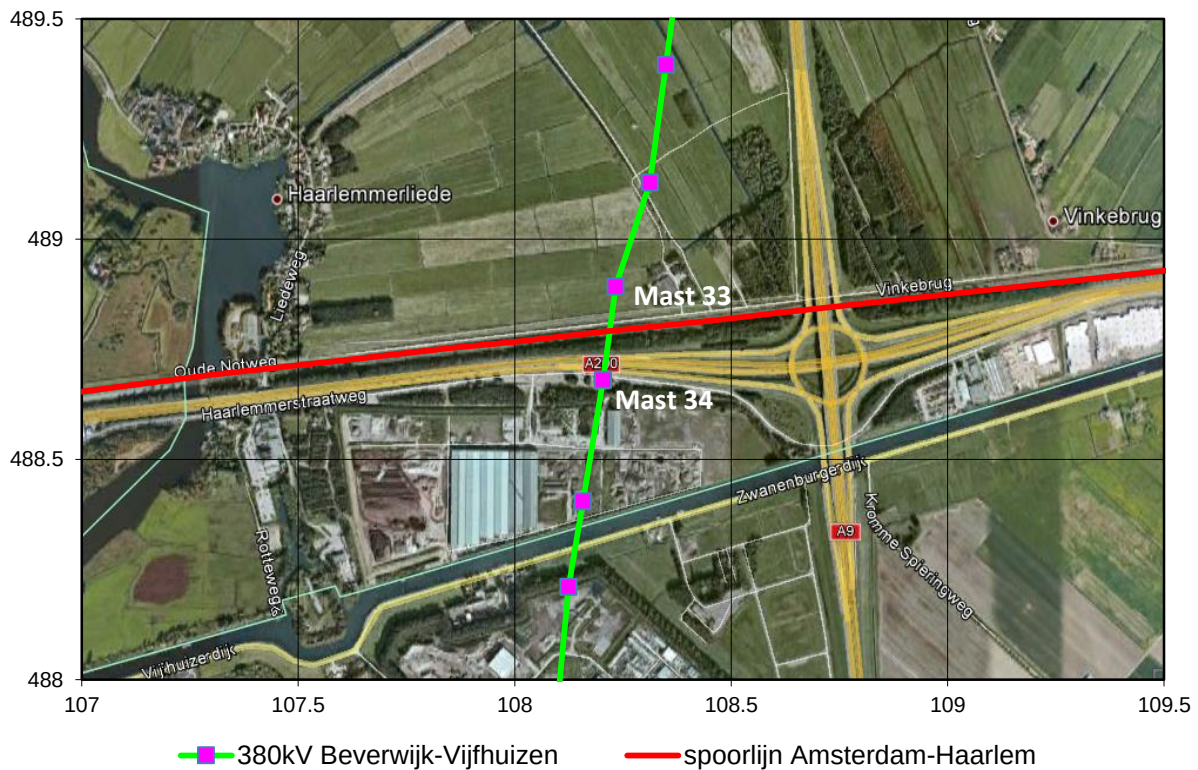
Deze notitie geeft alleen de worst case optredende spanningen weer, uitgaande van een spoorstaaf afleidingsweerstand van 100 Ω .km.

Effect van Randstad 380kV Noordring voor spoorlijn Amsterdam - Haarlem

Gebied en tracés

De spoorlijn Amsterdam - Haarlem ligt in het veld tussen mast 33 en mast 34 van de 380kV lijn Beverwijk - Vijfhuizen. Een overzicht van de tracés is in afbeelding 1 opgenomen.





Afbeelding 1, Overzicht met 380kV Beverwijk - Vijfhuizen en spoorlijn Amsterdam - Haarlem

Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Amsterdam - Haarlem is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten.

- Vanaf km11.725 tot km13.150 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Beverwijk - Vijfhuizen.
- ES - lassen zijn toegepast op km11.565, km12.085, km12.150 en km13.076.
- Dichtstbijzijnde onderstation ligt op km9.586.

Toetsing conform RLN00398

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

De hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 77 graden. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Beverwijk - Vijfhuizen verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening conform opgave van TenneT blijken onderstaande minimale afstanden:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 18 m
- de afstand tussen BS en de retourstroomgeleider is 12 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider en 10,3 m voor de retourstroomgeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Masten 33 en 34 zijn hoekmasten van het type W2H350. Met deze masten wordt voldaan aan deze eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*

- a. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
- b. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn ligt binnen een afstand kleiner dan 700 m. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μ T op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

Mast 33 ligt op afstand van 100 m uit het hart van het buitenste spoor en mast 34 ligt op afstand van 110 m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt aan deze eis voldaan.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Ter hoogte van de kruising staan geen technische ruimtes, aan deze eis wordt voldaan.

Berekeningen en toetsing

Uit de initiële toetsing conform RLN00398 blijkt dat een locatie specifieke studie moet worden uitgevoerd. Onderstaand zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. Hierbij is rekening gehouden met de uitgangspunten

ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

CM railinfra spoorstroomlopen (B1)

In deze spoorlijn zijn zowel enkel- als dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast. De maximale optredende spanningen en stromen op de spoorstroomlopen, type 'enkelbenig', zijn bepalend. De optredende spanningen zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De toetsing bij continue verschijnselen is in tabel 1 opgenomen. Gezien de afschakeltijd van 100ms bij kortsluiting in de hoogspanningslijn hoeven conform RLN00398, kortsluitverschijnselen niet te worden beoordeeld.

Tabel 1, CM spanningen

Belastingssituatie	Maximaal toelaatbaar spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	65	0,4	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	65	0,7	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 1 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

CM railinfra baanvakken (B2)

Deze toetsing is van toepassing voor baanvakken met alleen dubbelbenige spoorstroomlopen. Omdat er ook enkelbenige spoorstroomlopen zijn toegepast is deze toetsing niet van toepassing.

CM spanning anders railinfra apparatuur (B3)

De maximale optredende spanningen op anders railinfra apparatuur, één zijde geaard, zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende spanningen zijn in tabel 2 opgenomen.

Tabel 2, CM spanning anders railinfra apparatuur

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	150	0,7	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	150	1,3	J
Één fasekortsluiting	650	122	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 2 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Psfofometrische stoorspanning op modemverbindingen (B4)

Deze toetsing is relevant als de hoogspanningsverbinding aansluit op een HVDC verbinding of er een grootverbruiker met veel vermogenslektronica is.

De te beschouwen hoogspanningsverbinding is een normale verbinding tussen twee hoogspanningsstations. Voor deze verbinding is deze eis nooit maatgevend conform RLN00398. Hierdoor is deze toetsing buiten beschouwing gelaten.

50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning (B5)

De maximale optredende 50 Hz spanningscomponent in het 1500 VDC tractievoedingssysteem, één zijde geaard, is berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende 50 Hz spanningscomponent is in tabel 3 opgenomen.

Tabel 3, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning

Belastingssituatie	Beschikbaarheid/Veiligheid		Voldoet [J/N]
	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	7/25	nihil/0,4	J/J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	7/25	nihil/0,7	J/J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 3 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven (B6)

De maximale optredende aanraakspanningen, met vier opeenvolgende defecte paalspoorstaafverbindingen en één zijde geaard kabelmantel, zijn maatgevend. Deze zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende maximale aanraakspanningen zijn in tabel 4 opgenomen.

Tabel 4, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]		Voldoet [J/N]
		kabelmantel	spoorstaaf	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	0,7	0,4	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	1,3	0,7	J
Één fasekortsluiting	785	122	63	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 4 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100 A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10%. Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 9,5 A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10 A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 13,8 bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee

wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

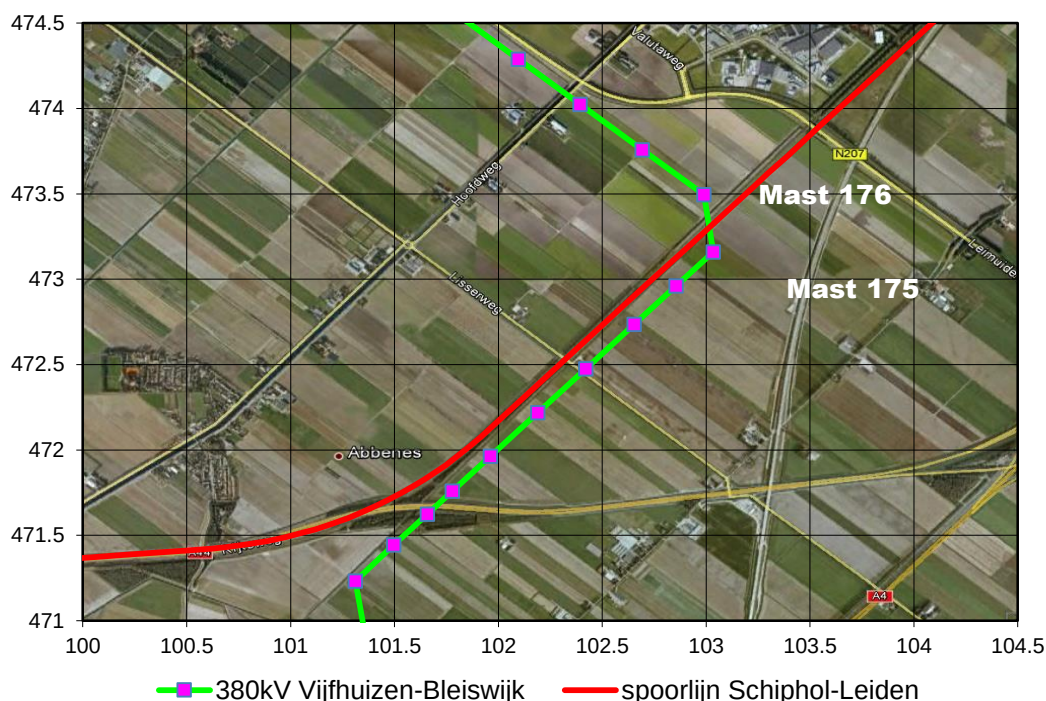
Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 13 μT . Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μT) conform RLN00398.

Effect van Randstad 380kV Noordring voor spoorlijn Schiphol - Leiden

Gebied en tracés

De spoorlijn Schiphol - Leiden ligt in het veld tussen mast 176 en mast 175 van de 380kV lijn Vijfhuizen - Bleiswijk. De tracés zijn in afbeelding 2 opgenomen conform opgaven van ProRail en TenneT.



Afbeelding 2, Situatieschets met 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk en spoorlijn Schiphol – Leiden

Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Schiphol - Leiden is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten conform ProRail opgave.

- Vanaf km25.470 tot km29.432 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Beverwijk - Vijfhuizen.
- ES-lassen zijn toegepast op km25.430, km25.565, km25.865, km26.150, km26.545, km26.940, km27.290, km27.360, km27.910, km28.445, km28.770, km29.080, km29.675 en km29.900.
- Dichtstbijzijnde onderstations liggen op km24.700 en km30.850.
- De spoorstaven zijn via condensatorbanken geaard bij km24.700 en km30.850 met een aarding van 0,25 Ω .

Toetsing conform RLN00398

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

De hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 50 graden. De optredende inductieve beïnvloedingen moet in detail berekend en getoetst worden.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening van TenneT blijken de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 19 m
- de afstand tussen BS en de retourstroomgeleider is 12,3 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider en 10,3 m voor de retourstroomgeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Mast 176 is een hoekmast van het type W2H400+5 en mast 175 is een hoekmast van het type W2H350+5. Met deze masten wordt voldaan aan deze eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*

- a. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
- b. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn ligt binnen een afstand kleiner dan 700 m. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μ T op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

De dichtstbijzijnde mast ligt op een afstand van 110m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig in het betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

Berekeningen en toetsing

Uit de initiële toetsing volgens RLN00398 blijkt dat een locatiespecifieke studie moet worden uitgevoerd. Onderstaand zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

CM railinfra spoorstroomlopen (B1)

Deze toetsing is van toepassing voor baanvakken waar enkelbenige spoorstroomlopen worden toegepast. In deze baanvak worden alleen dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast, hierdoor is deze toetsing niet van toepassing.

CM railinfra baanvakken (B2)

In deze spoorlijn zijn alleen dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast. De optredende spanningen zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De toetsing bij continue verschijnselen is in tabel 5 opgenomen. Gezien de afschakeltijd van 100ms bij kortsluiting in de hoogspanningslijn hoeven conform RLN00398, kortsluitverschijnselen niet te worden beoordeeld.

Tabel 5, CM spanningen

Belastingssituatie	Maximaal toelaatbaar spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	65	3	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	65	6	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 5 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

CM spanning aders railinfra apparatuur (B3)

De maximale optredende spanningen op aders railinfra apparatuur, één zijde geaard, zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende spanningen zijn in tabel 6 opgenomen.

Tabel 6, CM spanning anders railinfra apparatuur

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	150	6	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	150	11	J
Één fasekortsluiting	650	524	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 6 voldoet de maximale berekende spanning aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Psofometrische stoorspanning op modemverbindingen (B4)

Deze toetsing is relevant als de hoogspanningsverbinding aansluit op een HVDC verbinding of er een grootverbruiker met veel vermogenslektronica is.

De te beschouwen hoogspanningsverbinding is een normale verbinding tussen twee hoogspanningsstations. Voor deze verbinding is deze eis nooit maatgevend conform RLN00398. Hierdoor is deze toetsing buiten beschouwing gelaten.

50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning (B5)

De maximale optredende 50 Hz spanningscomponent in het 1500 VDC tractievoedingssysteem, is berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende 50 Hz spanningscomponent is in tabel 7 opgenomen.

Tabel 7, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning

Belastingssituatie	Beschikbaarheid/veiligheid		Voldoet [J/N]
	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	7/25	0,2/3	J/J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	7/25	0,2/6	J/J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 7 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven (B6)

De maximale optredende aanraakspanningen, met één zijde geaard kabelmantel, zijn maatgevend. Deze zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende maximale aanraakspanningen zijn in tabel 8 opgenomen.

Tabel 8, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]		Voldoet [J/N]
		kabelmantel	spoorstaaf	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	6	3	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	11	6	J
Één fasekortsluiting	785	520	290	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabel 8 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100 A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10%. Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 9 A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10 A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 13,5 bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

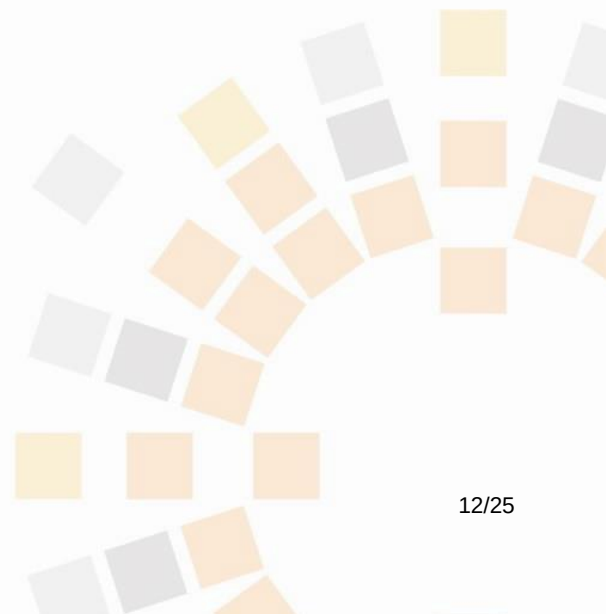
Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

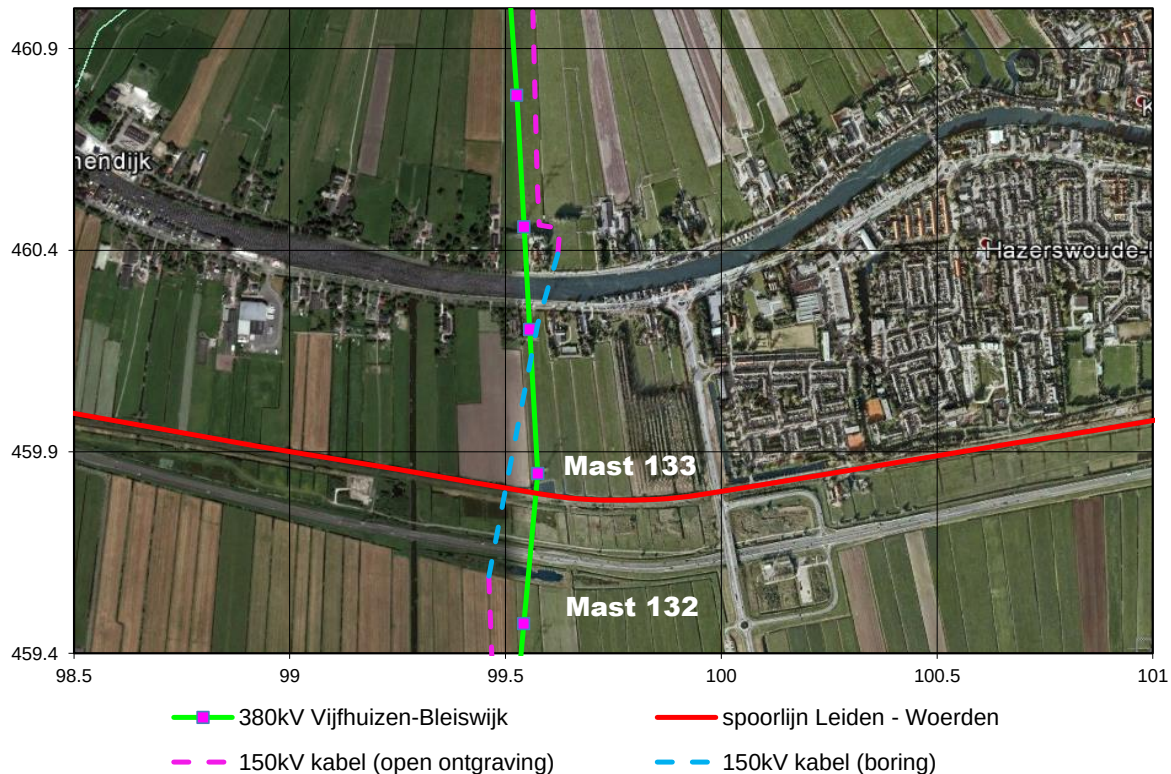
De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 12 μT . Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μT) conform RLN00398.

Effect van Randstad 380kV Noordring voor spoorlijn Leiden - Woerden

Gebied en tracés

De spoorlijn Leiden - Woerden ligt in het veld tussen mast 133 en mast 132 van de 380kV lijn Vijfhuizen - Bleiswijk. De 150kV kabel Zoetermeer - Leiden bij de spoorlijn wordt in een boring uitgevoerd. Een overzicht van de tracés is in afbeelding 3 opgenomen.





Afbeelding 3, Situatieschets met 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk en spoorlijn Leiden - Woerden

Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Leiden - Woerden is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten:

- Vanaf km22.450 tot km23.830 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk.
- ES-lassen zijn toegepast op km22.417, km22.726, km23.120 en km23.600.
- Dichtstbijzijnde onderstation ligt op km22.340.

Toetsing conform RLN00398

Eisen aan hoogspanningslijnen

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

De hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 85 graden. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening van TenneT blijken de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 29 m
- in het kruisende veld worden geen retourstroomgeleider toegepast

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Mast 133 is een hoekmast van het type W2H400A+10 en mast 132 is een hoekmast van het type W2H400+5. Met deze masten wordt voldaan aan de eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*
a. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
b. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Deze eis is niet van toepassing, de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk kruist de spoorbaan.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μ T op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

De dichtstbijzijnde mast ligt op een afstand van 50m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimtes.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig in het betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

Eisen aan hoogspanningskabels

- 1) *De hoogspanningskabel dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

De hoogspanningskabel kruist de spoorbaan onder een hoek van 90 graden. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 2) *Een eerste orde kabelfout dient binnen maximaal 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 3) *Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van $\geq 35kV$;*
- a. *Niet kruisende hoogspanningskabels met een nominale spanning van $\geq 35kV$ mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 700m vanaf het hart van het buitenste spoor;*
 - b. *In afwijking van punt 3a geldt een afstand van 11m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Deze eis is niet van toepassing, de 150kV kabel Zoetermeer – Leiden kruist de spoorbaan.

- 4) *Niet kruisende drie-aderige hoogspanningskabels met een nominale spanning $<35kV$ mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 11m vanaf het hart buitenste spoor.*

Deze eis is niet van toepassing, het betreft een 150kV kabelverbinding.

- 5) *Niet kruisende enkelfasige hoogspanningskabels in driehoek ligging met een nominale spanning van $<35kV$ mogen niet aanwezig zijn in het gebied binnen een afstand van 11m vanaf het hart buitenste spoor.*

Deze eis is niet van toepassing, de 150kV kabel Zoetermeer – Leiden kruist de spoorbaan.

- 6) *Hoogspanningskabels mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van 20m gemeten vanaf het dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig het in betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

- 7) *Kabels dienen in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd te worden.*

De 150kV kabel Zoetermeer – Leiden wordt middels een boring in een elektrisch geïsoleerde buis onder het spoor doorgevoerd. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart buitenste spoor (20+11) mogen zich geen aardpunten of moffen bevinden.*

De minimale afstand tussen de in- en uitreden punten van de boring en het hart van de buitenste spoor is 220 meter. Binnen deze afstand zijn geen aarding of moffen aanwezig. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

Berekeningen en toetsing

Uit de initiële toetsing volgens RLN00398 blijkt dat een locatiespecifieke studie moet worden uitgevoerd. Onderstaand zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen. Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering

conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100 A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10%. Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 4 A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10 A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 12,3m bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

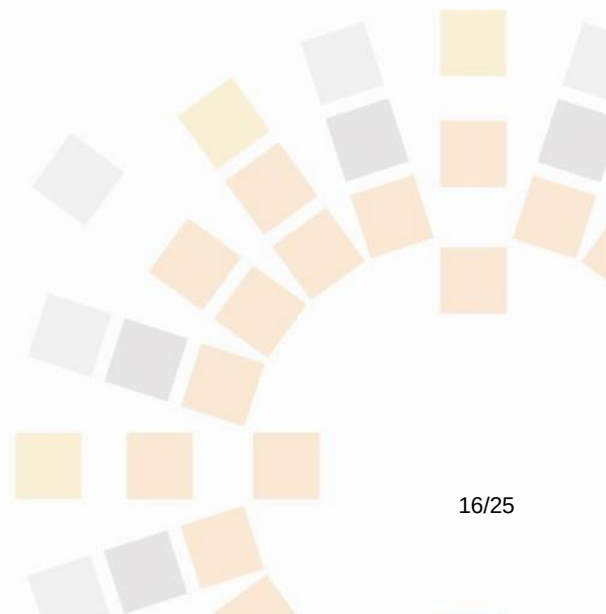
Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

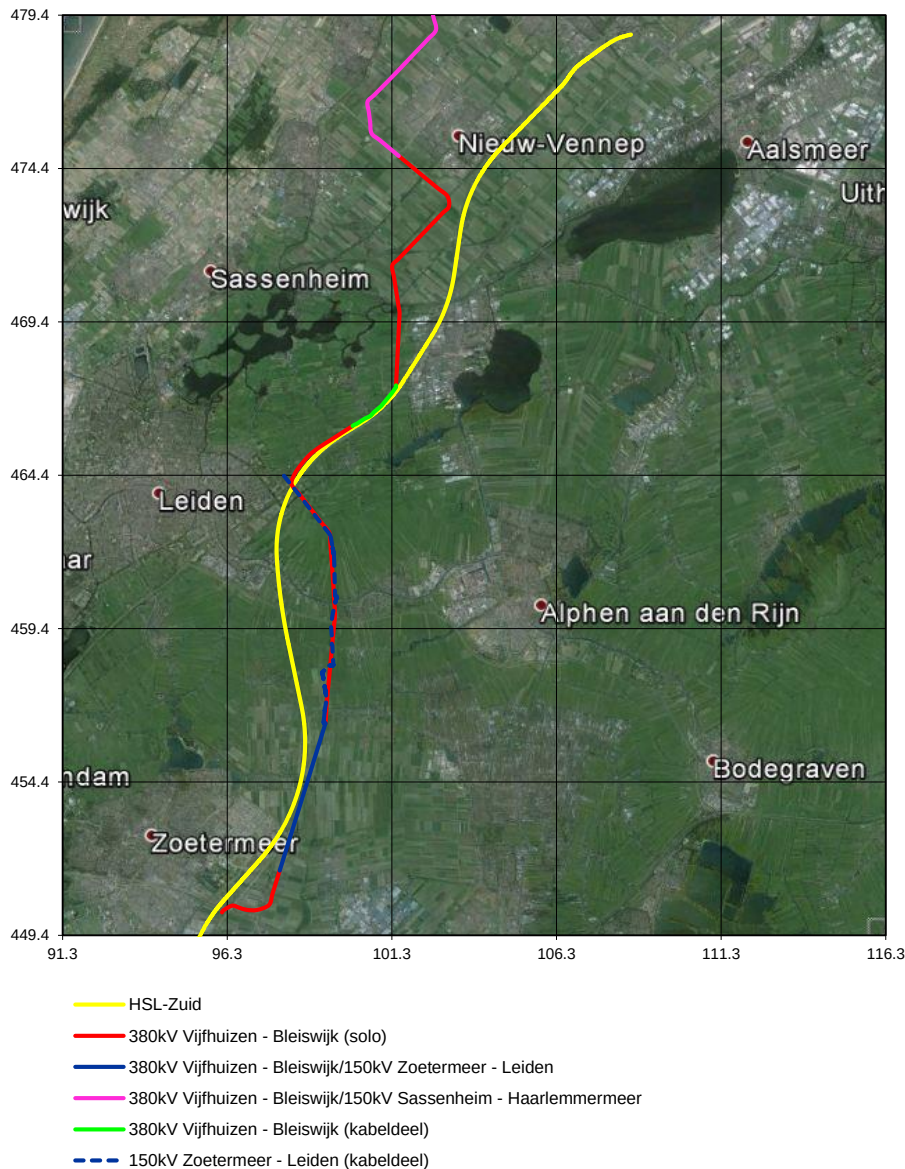
De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 5 μT . Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μT) conform RLN00398.

Effect van Randstad 380kV Noordring voor HSL

Gebied en tracés

Er is zowel sprake van parallelloop van de hoogspanningsverbindingen Randstad 380kV Noordring als een kruising van een bovengronds deel van de hoogspanningsverbinding en de spoorlijn HSL-Zuid. De situatie is weergegeven in afbeelding 4.





Afbeelding 2, Situatieschets met Randstad 380kV Noordring en HSL

Gegevens spoorlijn

HSL heeft een 25 kV TES. In het gebied nabij de nieuwe hoogspanningsverbinding ligt HSL gedeeltelijk in een tunnelbak.

De geometrie van het 25 kV tractiesysteem HSL-Zuid is opgegeven door Infrasppeed en de bovenleidingschema's van HSL-Zuid zijn door ProRail verstrekt.

Conform de opgave van Infrasppeed zijn de spoorstaven, geluidschermen en hekwerken gekoppeld aan een goed geaarde draagconstructie. Tijdens CLU (Complete Lijn Uitschakeling) wordt de bovenleiding geaard in onderstation TSS1 ZTM (km 115.295). De bovenleiding kan ook geaard worden met aardingsschakelaars die handmatig bediend kunnen worden bij de uiteinden van het tunnel Groene Hart (km 122.300 en km129.900). De aardverspreidingsweerstand in het onderstation en bij het tunnel is circa 1 Ω .

Toetsing EMC HSL

Omdat HSL is voorzien van een 25 kV TES, zijn de kabels in het spoorse gebied immuun voor 50 Hz stoorspanningen van externe bronnen buiten het spoorse gebied. RLN00398 gaat uit van toetsing van een spoorlijn met een 1500 VDC TES. EMC met HSL is getoetst door de als gevolg van inductieve beïnvloeding optredende spanningen in de eindsituatie onder de volgende omstandigheden te toetsen aan de eisen voor aanraakspanningen volgens NEN-EN 50122-1:

- Tijdens een CLU.
- Tijdens ingeschakeld aardingsysteem in de tunnel Groene Hart.

De maximale optredende spanningen op de bovenleiding als gevolg van inductieve beïnvloeding bij complete lijnuitschakeling (CLU) en bij het inschakelen van de aardingen van het tunnel Groene Hart zijn berekend en getoetst aan de gestelde eisen voor overbruggingsspanningen conform NEN-EN 50122-1. De resultaten van de berekende spanningen en de toetsing zijn in tabel 9 en tabel 10 opgenomen.

Tabel 9, Maximale spanningen tijdens een CLU

Belastingsituatie	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [Ja/Nee]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	4	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	14	J
Één fasekortsluiting	785	660	J

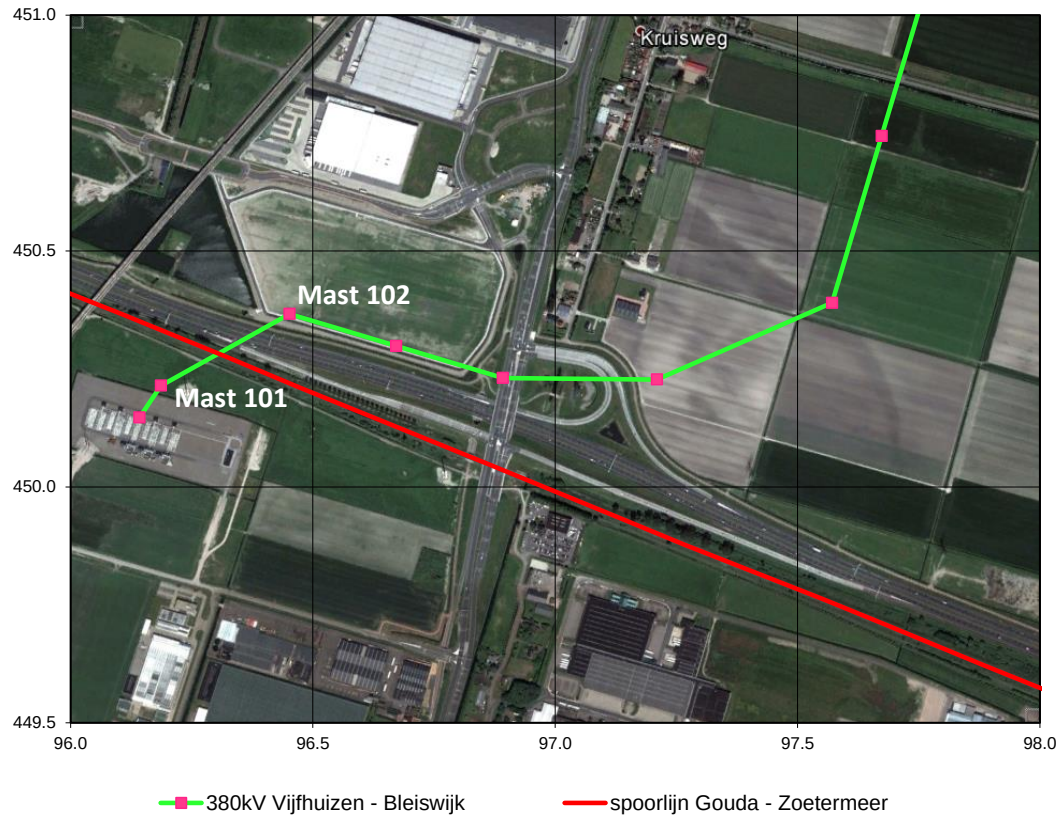
Tabel 10, Maximale spanningen bij ingeschakeld aardingsysteem tunnel Groene Hart

Belastingsituatie	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [Ja/Nee]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	5	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	17	J
Één fasekortsluiting	785	764	J

Effect van Randstad 380kV Noordring voor spoorlijn Zoetermeer - Gouda

Gebied en tracés

De spoorlijn Gouda – Zoetermeer ligt in het veld tussen mast 102 en mast 101 van de 380kV lijn Vijfhuizen - Bleiswijk. De tracés van de spoorlijn en hoogspanningsverbinding zijn in afbeelding 5 opgenomen.



Afbeelding 5, Situatieschets met 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk en spoorlijn Gouda – Zoetermeer

Gegevens spoorlijn

Voor de spoorlijn Gouda - Zoetermeer is rekening gehouden met de volgende uitgangspunten:

- Vanaf km10.320 tot km8.450 ligt de spoorlijn binnen het beïnvloedingsgebied van de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk.
- ES-lassen zijn toegepast op km8.324, km9.262, km9.300, km10.208, km10.494 en km10.795.
- Dichtstbijzijnde onderstation ligt op km6.600

Toetsing conform RLN00398

- 1) *De hoogspanningslijn dient de spoorbaan haaks te kruisen met een hoek Ψ , waarbij $80 \leq \Psi \leq 100$ graden.*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn kruist de spoorbaan onder een hoek van 52 graden. De optredende inductieve beïnvloedingen moet in detail berekend en getoetst worden.

- 2) *De minimale afstand (clearance) van de hoogspanningslijn tot de bovenleiding dient te voldoen aan NEN-EN 50341-1:2001 en NEN-EN 50341-3:2001.*

Bij het ontwerp van de 380kV Vijfhuizen - Bleiswijk verbinding is getoetst of aan deze eis is voldaan. Uit de lengteprofieltekening van TenneT blijken de afstanden tussen BS (bovenkant spoorstaaf) en de geleiders:

- de afstand tussen BS en de onderste fasegeleider is circa 21 m
- de afstand tussen BS en de retourstroomgeleider is 14,4 m

Hiermee wordt voldaan aan de minimale vereiste afstanden van 13,3 m voor de fasegeleider en 10,3 m voor de retourstroomgeleider.

- 3) *De hoogspanningslijn dient in het kruisende veld met de spoorbaan dubbelzijdig afgespannen te zijn, in verband met kans op breuk.*

Mast 102 is een hoekmast van het type W2H400+10 en mast 101 is een hoekmast van het type W2E350+5. Met deze masten wordt voldaan aan deze eis.

- 4) *Een eerste orde lijnfout dient binnen max. 100ms afgeschakeld te zijn.*

Volgens opgave van TenneT wordt binnen 0,1 seconde afgeschakeld. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 5) *Niet kruisende hoogspanningslijnen;*

- c. *Niet kruisende hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van –horizontaal gemeten- 700 m uit het hart van de buitenste spoorbaan;*
- d. *In afwijking van punt 5a geldt een afstand van 11 m bij geëlektrificeerde sporen met een tractiespanning van 25kV, 50Hz;*

Aan deze eis wordt niet voldaan, de hoogspanningslijn ligt binnen een afstand kleiner dan 700 m. De optredende inductieve beïnvloeding moet in detail berekend en getoetst worden.

- 6) *De blootstelling van de mens conform NEN EN 50341-3:2001, mag niet meer bedragen dan 100 μ T op 1 m boven BS.*

Om te toetsen of aan de eis wordt voldaan wordt de maximaal optredende magnetische veldsterkte op 1 m boven BS berekend.

- 7) *Hoogspanningsmasten mogen niet worden geplaatst binnen een afstand van ten minste 31m uit het hart van het buitenste spoor (20+11).*

De dichtstbijzijnde mast ligt op een afstand van 140m uit het hart van het buitenste spoor. Hiermee wordt voldaan aan deze eis.

- 8) *Hoogspanningslijnen mogen niet aanwezig zijn binnen een afstand van -horizontaal gemeten- 20 m vanaf de dichtst bij zijnde gevel van een technische ruimte.*

Er zijn geen technische ruimtes aanwezig in het betreffende tracé, aan deze eis wordt voldaan.

Berekeningen en toetsing

Uit de initiële toetsing volgens RLN00398 blijkt dat een locatiespecifieke studie moet worden uitgevoerd. Onderstaand zijn de resultaten van de aanvullende beïnvloedingsberekeningen opgenomen.

Er is rekening gehouden met de uitgangspunten ten behoeve van modellering conform de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 6. De berekende beïnvloedingen zijn getoetst aan de eisen uit de RLN00398, hoofdstuk 7 Beoordelingscriteria.

In het overleg d.d. 8 september 2014 is afgesproken dat in de berekeningen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van de 380 kV hoogspanningslijn Krimpen – Bleiswijk. De bijdrage van de 150 kV kabelverbinding Bleiswijk – Zoetermeer is tijdens normale bedrijfsomstandigheden zeer klein en om deze reden in de berekeningen in deze notitie niet nader beschouwd.

De optredende spanningen zijn berekend voor de volgende situaties:

- Alleen de invloed van de 380kV verbinding Vijfhuizen-Bleiswijk (Krimpen – Bleiswijk is uit het model verwijderd)
- Alleen de invloed van de 380kV verbinding Krimpen-Bleiswijk (Vijfhuizen – Bleiswijk is uit het model verwijderd)
- De gelijktijdige invloed van de 380 kV verbindingen Vijfhuizen-Bleiswijk en Krimpen-Bleiswijk

CM railinfra spoorstroomlopen (B1)

In deze spoorlijn zijn zowel enkel- als dubbelbenige spoorstroomlopen toegepast. De maximale optredende spanningen op de spoorstroomlopen, type ‘enkelbenig’, zijn bepalend. De optredende spanningen zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De toetsing bij continue verschijnselen is in tabellen 11 t/m 13 opgenomen. Gezien de afschakeltijd van 100 ms bij kortsluiting in de hoogspanningslijn hoeven conform RLN00398, kortsluitverschijnselen niet te worden beoordeeld.

Tabel 11, CM spanningen door 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk

Belasting situatie	Maximaal toelaatbaar spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	65	2	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	65	3	J

Tabel 12, CM spanningen door 380kV Krimpen-Bleiswijk

Belastingssituatie	Maximaal toelaatbaar spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	65	19	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	65	30	J

Tabel 13, CM spanningen door 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk en 380kV Krimpen-Bleiswijk

Belastingssituatie	Maximaal toelaatbaar spanning [V]	Maximaal optredende spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	65	19	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	65	30	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabellen 11 t/m 13 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

CM railinfra baanvakken (B2)

Deze toetsing is van toepassing voor baanvakken met alleen dubbelbenige spoorstroomlopen. Omdat er ook enkelbenige spoorstroomlopen zijn toegepast is deze toetsing niet van toepassing.

CM spanning aders railinfra apparatuur (B3)

De maximale optredende spanningen op aders railinfra apparatuur, één zijde geaard, zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende spanningen zijn in de tabellen 14 t/m 16 opgenomen. De optredende spanning tijdens 1-fase kortsluiting in de 380kV Krimpen-Bleiswijk is niet berekend, dit scenario valt buiten de scope van deze notitie.

Tabel 14, CM spanning aders railinfra apparatuur door 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	150	3	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	150	6	J
Één fasekortsluiting	650	511	J

Tabel 15, CM spanning aders railinfra apparatuur door 380kV Krimpen-Bleiswijk

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	150	35	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	150	56	J

Tabel 16, CM spanning anders railinfra apparatuur door beide 380kV verbindingen

Belastingssituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]	Voldoet [J/N]
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	150	33	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	150	56	J
Één fasekortsluiting in de 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk	650	415	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabellen 14 t/m 16 voldoet de maximale berekende spanning aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Psofometrische stoorspanning op modemverbindingen (B4)

Deze toetsing is relevant als de hoogspanningsverbinding aansluit op een HVDC verbinding of er een grootverbruiker met veel vermogenslektronica is.

De te beschouwen hoogspanningsverbinding is een normale verbinding tussen twee hoogspanningsstations. Voor deze verbinding is deze eis nooit maatgevend conform RLN00398. Hierdoor is deze toetsing buiten beschouwing gelaten.

50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning (B5)

De maximale optredende 50 Hz spanningscomponent in het 1500 VDC tractievoedingssysteem, één zijde geaard, is berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende 50 Hz spanningscomponent is in tabellen 17 t/m 19 opgenomen.

Tabel 17, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning door 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk

Belastingssituatie	Beschikbaarheid/Veiligheid		Voldoet [J/N]
	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	7/25	nihil/2	J/J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	7/25	nihil/3	J/J

Tabel 18, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning door 380kV Krimpen-Bleiswijk

Belastingssituatie	Beschikbaarheid/Veiligheid		Voldoet [J/N]
	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	7/25	0,5/19	J/J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	7/25	0,7/30	J/N

Tabel 7, 50Hz spanningscomponent in de 1500 VDC tractiespanning door beide 380kV verbindingen

Belastingsituatie	Beschikbaarheid/Veiligheid		Voldoet [J/N]
	Maximaal toelaatbare spanning [V]	Maximaal optredende Spanning [V]	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	7/25	0,5/18	J/J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	7/25	0,7/30	J/N

Zoals blijkt uit de resultaten in tabellen 17 t/m 19 voldoen de maximale berekende spanningen niet aan de gestelde eisen conform RLN00398. Deze overschrijding is het gevolg van de beïnvloedingen van de bestaande 380kV Krimpen-Bleiswijk, de beïnvloeding van de nieuwe hoogspanningslijn bedraagt minder dan 20% van de toets waarde.

Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven (B6)

De maximale optredende aanraakspanningen, één zijde geaard kabelmantel, zijn maatgevend. Deze zijn berekend en getoetst conform RLN00398. De berekende maximale aanraakspanningen zijn in tabellen 20 t/m 22 opgenomen. De optredende spanning tijdens 1-fase kortsluiting in de 380kV Krimpen-Bleiswijk is niet berekend, dit scenario valt buiten de scope van deze notitie.

Tabel 20, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven door 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk

Belastingsituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]		Voldoet [J/N]
		kabelmantel	spoorstaaf	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	3	2	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	6	3	J
Één fasekortsluiting	785	511	292	J

Tabel 21, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven door 380kV Krimpen-Bleiswijk

Belastingsituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]		Voldoet [J/N]
		kabelmantel	spoorstaaf	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	35	19	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	56	30	J

Tabel 22, Aanraakspanningen kabelmantel en spoorstaven door beide 380kV verbindingen

Belastingsituatie	Maximale toelaatbare Spanning [V]	Maximale optredende Spanning [V]		Voldoet [J/N]
		kabelmantel	spoorstaaf	
Normaal bedrijf (0% asymmetrie)	60	33	19	J
Normaal bedrijf (10% asymmetrie)	60	56	30	J
Één fasekortsluiting 380kV Vijfhuizen-Bleiswijk	785	416	242	J

Zoals blijkt uit de resultaten in tabellen 20 t/m 22 voldoen de maximale berekende spanningen aan de gestelde eisen conform RLN00398.

Elektromagnetische compatibiliteit van apparatuur (B7)

De immuniteit van de apparatuur voor magnetische velden bedraagt 100A/m conform NEN-EN 50121-4 en NEN-EN 50121-5. Conform RLN00398 dient de maximale Power Frequency Magnetic Field een factor 10 lager te zijn dan de immuniteitswaarden uit genoemde normen.

De maximale magnetische veldsterkte treedt op tijdens onderhoud bij een asymmetrie van 10%. Op een hoogte van 1 meter bedraagt deze magnetische veldsterkte maximaal 8A/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10A/m) voor magnetische veldsterkte conform RLN00398.

Elektrische velden (B8)

De elektrische veldsterkte op een hoogte van 14m bedraagt 5kV/m, conform opgave TenneT. Het hoogste punt van de spoorlijn ligt op 8,5m. Hierdoor zal het elektrisch veldsterkte op 9,5m (1m boven het hoogste punt van spoorlijn) hoogte kleiner zijn dan 5kV/m. Hiermee wordt voldaan aan de eis (niet groter zijn dan 10kV/m) voor elektrische veldsterkte conform RLN00398.

Blootstelling van mens aan magnetische velden (B9)

De maximale berekende magnetische veldsterkte op 1 meter boven BS bedraagt 11 μ T. Hiermee wordt voldaan aan de eis voor blootstelling van personen aan magnetische velden (niet meer bedragen dan 100 μ T) conform RLN00398.

Conclusie

In de nabijheid van het tracé van de nieuw te realiseren hoogspanningsverbindingen in het kader van het project Randstad 380 kV Noordring liggen spoorlijnen. Voor deze spoorlijnen moet rekening worden gehouden met mogelijke elektromagnetische beïnvloeding door de nieuwe hoogspanningsverbindingen.

Uit eerdere berekeningen op basis van worst case uitgangspunten blijkt dat voor enkele situaties met mogelijke overschrijdingen rekening gehouden moet worden. Naar aanleiding van deze initiële berekeningen zijn nieuwe berekeningen gemaakt waarbij diverse worst case uitgangspunten zijn vervangen door locatie specifieke gegevens.

Vooruitlopend op een volledige rapportage van de elektromagnetische beïnvloeding in de situatie met de nieuwe hoogspanningsverbindingen is de te verwachten beïnvloeding voor de meest ongunstige scenario's volgens RLN00398 berekend en getoetst.

Uit de berekeningen blijkt dat in verband met de aanleg van de hoogspanningsverbindingen in het project Randstad 380kV Noordring, geen aanvullende maatregelen getroffen hoeven worden in verband met elektromagnetische beïnvloeding. Voor de spoorlijn Gouda – Zoetermeer blijkt uit de uitgevoerde berekeningen echter ook dat rekening moet worden gehouden met mogelijke overschrijdingen door de bestaande 380 kV hoogspanningsverbinding Krimpen – Bleiswijk. Aanbevolen wordt om de beïnvloeding van deze hoogspanningsverbinding nader te onderzoeken.