

Evaluatie voor locatie Borssele II

Beschikbaarheid van koelwater



Evaluatie voor locatie Borssele II
Beschikbaarheid van koelwater

Evaluatie voor locatie Borssele II

Beschikbaarheid van koelwater

Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Contactpersoon	
Referenties	Contract: DGBI-I&K/22565754
Trefwoorden	Koelwater, pluimverspreiding, recirculatie, CORMIX, Delft3D, dynamische koppeling, elektriciteitscentrale, inlaat, lozing, kerncentrale

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	26-04-2024
Projectnummer	11209639-002
Document ID	11209639-002-GEO-0005
Pagina's	121
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Samenvatting

De Nederlandse regering overweegt de ontwikkeling van een tweede kerncentrale in Nederland en heeft hiervoor Borssele en de Maasvlakte geselecteerd als mogelijke locaties. Deltares is door het Ministerie van Economische Zaken gevraagd om, onder andere, een gedetailleerde modelstudie uit te voeren naar de beschikbaarheid van koelwater op locatie Borssele. Deze verkennende studie zal de eerste technische informatie verschaffen aan mogelijke ontwikkelaars die hun eigen technische onderzoeken uit dienen te voeren voor een eerste ontwerp van een dergelijke centrale. Eenzelfde modelonderzoek (met dezelfde mate van detail als voornoemd onderzoek) naar de beschikbaarheid van koelwater in het vrijwaringsgebied van de Maasvlakte zal in een later stadium ook worden uitgevoerd als onderdeel van dit overkoepelende onderzoek.

Het doel van dit koelwateronderzoek is om de beschikbaarheid/capaciteit van koelwater in het Sloegebied (Borssele) inzichtelijk te maken. Meer specifiek: om de gecombineerde pluimverspreiding en recirculatie van verschillende mogelijkheden voor de nieuwe koelwaterlozing van Borssele 2 (en andere lozingspunten in het gebied) te verkennen in relatie tot de toepasselijke milieucriteria voor verschillende inlaat- en lozingsopties van Borssele 2 (Deltares, 2023). Deze studie heeft tot doel de ontwikkelaars een eerste indicatie te leveren van de haalbaarheid van onderzochte koelwaterconfiguraties op basis van temperatuur criteria. De uitgevoerde studies zijn niet bedoeld om volledig te zijn en zijn daarmee ook geen garantie dat, als de ontwikkelaars de verschaft informatie volgt, dit recht geeft op een vergunning en acceptatie van de ontwikkeling. Er wordt verder opgemerkt dat bevoegd gezag heeft aangegeven dat waterkwaliteit en ecologie ook belangrijke aspecten zijn in relatie tot de haalbaarheid van de ontwikkeling van de kerncentrales en dat deze aspecten nog niet in deze eerste, verkennende studie zijn meegenomen.

De beschikbare informatie voor projectlocatie Borssele 2 is geïnventariseerd en beschreven. Deze inventarisatie omvat beschrijvingen en analyses van de bathymetrie, milieucriteria en relevante omgevingsomstandigheden op de projectlocatie. Een volledig overzicht van de milieucriteria voor de inlaat- en lozingsconfiguratie van Borssele 2 wordt weergegeven in het "Voorstel regelgevend kader warmtelozingen centrales Borssele en Maasvlakte", Deltares (2023). Samen met het Ministerie van Economische Zaken zijn mogelijke conceptuele ontwerpen voor het inlaat- en lozingspunt van Borssele 2, lozingskarakteristieken en lozingsopties geïdentificeerd en overeengekomen ter simulatie.

Om de pluimverspreiding en recirculatie van geloosd koelwater in het Borssele-gebied te kunnen simuleren is een gedetailleerd *far-field* model opgezet in Delft3D. Dit *far-field* model simuleert de hydrodynamische processen van belang voor de pluimverspreiding en warmte-uitwisseling met de atmosfeer met voldoende horizontale en verticale resolutie. Hydrodynamische randvoorwaarden zijn afgeleid van intern beschikbare en gevalideerde grootschalige Westerschelde-modellen. Modelresultaten vanuit het detailmodel zijn ter verificatie vergeleken met het grootschalige model. Voor ontwerpopties die een lozing onder water voorzien, werd het gedrag in het *near-field* van de warmtepluim van de lozing onder water berekend met behulp van het CORMIX-expertsysteem. CORMIX berekent het hydrodynamische gedrag van de lozingspluim nabij de lozing, inclusief het traject van de pluim en de verdunning onder invloed van de omgevingsomstandigheden. De resultaten van de *near-field* evaluatie zijn vervolgens gekoppeld aan het *far-field* model met behulp van het C-SUMO-systeem (Coupled Subgrid Model) van Deltares.

Met het gekoppelde Delft3D-model en de *near-field* resultaten van CORMIX werden verschillende simulaties uitgevoerd voor representatieve scenario's (d.w.z. verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties, locaties, verschillende warmtelozingscapaciteiten, lozingskarakteristieken en extra constructies/golfbrekers). De modelleerresultaten zijn vervolgens geanalyseerd en weergegeven in relatie tot de milieucriteria in relatie tot temperatuur.

Op basis van de beschikbare informatie en de modelresultaten zijn de volgende hoofdconclusies getrokken:

- Voor deze eerste verkenning van verschillende koelwaterconfiguraties voor Borssele 2 zijn alleen de criteria voor de mengzone en de gemiddelde temperatuurstijging van de CIW 2004 (temperatuur) gebruikt. Let wel: de naleving van mogelijke andere criteria (bijv. voor andere waterparameters) in een volgende fase van het project dient in een volledige milieueffectrapportage te worden gemaakt.
- Voor deze eerste studie waren er nog geen gedetailleerde ontwerpen of lozingskarakteristieken beschikbaar. Daarom zijn samen met het Ministerie van Economische Zaken verschillende koelwaterlozingskarakteristieken en inlaat- en lozingsopties voor de Borssele 2 installatie geselecteerd voor simulatie in dit modelonderzoek.
- Voor de eerste modelstudie van het nieuwe Borssele 2 koelwatersysteem zijn 12 verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties overwogen. Deze 12 configuraties omvatten variaties in locatie van het inlaatpunt en het lozingspunt, het type inlaat- en lozingsconstructie (open of onder water) en aanvullende constructies zoals golfbrekers. Bovendien werden variaties in de warmtelozingscapaciteit, lozingskarakteristieken gesimuleerd. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de gesimuleerde scenario's.

Tabel S.1 Overzicht van de gesimuleerde scenario's.

Scenario	Warmte (thermische) Capaciteit (MWth)	Lozingsoptie/ Koelwater-temperatuur verhoging	Configuratie inlaat/lozings-locatie	Extra constructies	Omschrijving
0	-	-	-	-	Huidige situatie
1	6000	2/+9°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
2	4000	2/+9°C (2/3Q)	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
3	6000	1/+7°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
4	6000	3/+12°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
5	6000	2/+9°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven. Verschillende achtergrondtemperatuur
6	6000	2/+9°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven. Verschillende achtergrondtemperatuur

Scenario	Warmte (thermische) Capaciteit (MWth)	Lozingsoptie/ Koelwater-temperatuur verhoging	Configuratie inlaat/lozings-locatie	Extra construct-ies	Omschrijving
7	6000	2/+9°C	2	-	Open lozing in de Cittershaven, inlaat in de Westerschelde, als gevoeligheidstest
8	6000	2/+9°C	3	-	Inlaat en open lozing in de Westerschelde. Inlaat en lozing zijn horizontaal gescheiden om recirculatie van koelwater te beperken
9	6000	2/+9°C	4	-	Inlaat in de Cittershaven, meer naar het noordwesten en open lozing in de Westerschelde.
10	6000	2/+9°C	1b	Ja	Hetzelfde als Configuratie 1, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
11	6000	2/+9°C	1c	Ja (2x)	Hetzelfde als Configuratie 1b, maar met een extra golfbreker bij de EPZ-inlaat om potentiële recirculatie naar de EPZ-inlaat te verminderen.
12	6000	2/+9°C	5	-	Inlaat onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, open lozing in de Westerschelde.
13	6000	2/+9°C	5b	Ja	Hetzelfde als Configuratie 5, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
14	6000	2/+9°C	6	-	Inlaat onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, open lozing in de Westerschelde dicht bij de haveningang.
15	6000	2/+9°C	6b	Ja	Hetzelfde als Configuratie 6, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
16	6000	2/+9°C	7	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Cittershaven.
17	6000	3/+12°C	7	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Cittershaven.
18	6000	2/+9°C	8	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP

Scenario	Warmte (thermische) Capaciteit (MWth)	Lozingsoptie/ Koelwater-temperatuur verhoging	Configuratie inlaat/lozings-locatie	Extra construct-ies	Omschrijving
					diepte, inlaat in de Westerschelde.
19	6000	3/+12°C	8	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Westerschelde.

- Dit eerste modelonderzoek heeft aangetoond dat alle beschouwde lozingsopties van Borssele 2 in de Westerschelde onder de kritische drempelwaarden van de CIW-criteria voor de maximale oppervlakte van de dwarsdoorsnede blijven voor mengzone (max 25%) alsmede onder het criterium van de gemiddelde temperatuurstijging (max +2°C). De maximale oppervlakte van de dwarsdoorsnede door de mengzone was gewoonlijk minder dan 10% voor alle overwogen 6000 MWth Borssele 2-lozingen. De gemiddelde temperatuurstijging over een dwarsdoorsnede is ongeveer 1 °C.
- De overwogen open lozingsconfiguraties van Borssele 2 resulteren volgens de berekeningen in een maximale (oppervlakte)temperatuurstijging van 4 °C op 4 km afstand van het lozingspunt. Op 10 km afstand van het open lozingspunt wordt berekend dat de maximale (oppervlakte)temperatuurverhoging niet meer is dan 1 °C. Plaatselijk, in het langs de kade gelegen ondiepe gebied rond het lozingspunt van 2,5 km (in kustlangse richting), resulteren de berekeningen in een stijging van de maximumtemperatuur nabij de bodem tot de temperatuur van de oorspronkelijke lozing (d.w.z. +9 °C).
- Verschillende mitigerende opties werden overwogen om de stijging van de (bodem)temperaturen rond het lozingspunt te verminderen: (1) een lozingsdiffusor onder water, (2) verschillende lozingstemperaturen en (3) het gebruik van golfbrekers.
- Alle bestaande inlaatpunten zullen een temperatuurstijging ondervinden door de werking van het Borssele 2 koelwatersysteem. De gemiddelde temperatuurstijging bij de bestaande inlaatpunten is ongeveer 0,3°C tot 0,8°C voor de meeste Borssele 2 lozingsopties.
- Vanuit het oogpunt van recirculatie is de Cittershaven een geschikte locatie om het Borssele 2 inlaatpunt te plaatsen. Er wordt opgemerkt dat dit alleen vanuit het oogpunt van temperatuur geldt en is bekeken (niet vanuit bijvoorbeeld oogpunt van veiligheid, navigatie en andere operaties in de haven). Recirculatie van de Borssele 2 lozingspluim in combinatie met de bestaande lozingspunten leidt tot een gemiddelde temperatuurstijging van 0,7 tot 0,9 °C. Het model toont aan dat deze temperatuurstijging niet erg afhankelijk is van het type en de locatie van het Borssele 2-lozingspunt in de Westerschelde.
- Met betrekking tot de stroomsnelheden in de buurt van het inlaatpunt in de Cittershaven berekende het model een de diepte-gemiddelde verhoging van de stroomsnelheid met ongeveer 0,075 m/s tot 0,1 m/s.
- Als onderdeel van deze studie zijn bestaande en in ontwikkeling zijnde warmtelozingen geïdentificeerd. De resultaten van deze studies (en vervolgstudies door de ontwikkelaars) moeten worden aangepast wanneer veranderingen in warmtelozingen in de Westerschelde bekend zijn.
- De resultaten van deze studies (en vervolgstudies door de ontwikkelaars) moeten worden vergeleken met en zo nodig worden aangepast aan de gegevens uit de geactualiseerde klimaatscenario's van het KNMI van oktober 2023.

In vergelijking met een open inlaatpunt zou een inlaatpunt onder water koeler water onttrekken voor het koelwatersysteem van Borssele 2. Op basis van de eerste simulaties bedraagt de gemiddelde temperatuurstijging door recirculatie bij de overwogen inlaat onder water ongeveer 0,7 °C en de maximale temperatuurstijging ongeveer 1,0 °C bovenop de achtergrondtemperatuur. Ter vergelijking, in het scenario met zowel een open loospunt en inlaatpunt in de Westerschelde (Scenario 8) is de gesimuleerde gemiddelde recirculatie in de orde van 1,1 °C en maximaal 3,4 °C. Een inlaat onder water onttrekt dus koeler water (enkel gebaseerd op de berekende recirculatie).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	11
1.1	Achtergrondinformatie	11
1.2	Doelstellingen	12
1.3	Reikwijdte van de werkzaamheden	12
1.4	Reader	12
2	Projectinformatie	13
2.1	Bathymetrie	13
2.2	Milieucriteria	14
2.3	Omgevingswatertemperatuur	15
2.4	Hydrodynamische omgevingscondities	16
2.5	Huidige lozingen in het Borssele-gebied	17
2.6	Borssele 2 koelwaterlozing	18
2.6.1	Warmtelozingscapaciteit, debiet en lozingstemperatuur	18
2.6.2	Inlaat en lozingsmogelijkheden	19
3	Opzet van het Delft3D-detailmodel	21
3.1	Grootschalig model	21
3.2	Rekenrooster detailmodel	22
3.3	Modelbathymetrie	23
3.4	Randvoorwaarden	24
3.5	<i>Near-field</i> schematisatie van lozingen onder water	26
3.6	Overige modelparameters	28
4	Modelresultaten voor pluimverspreiding	29
4.1	Overzicht van de simulaties	29
4.2	Typisch stromings- en lozingspluimgedrag	30
4.3	Weergave van de modelresultaten	33
4.4	Modelresultaten	37
4.4.1	Inlaat- en lozingsconfiguratie Borssele 2	37
4.4.1.1	Configuratie 0 (Scenario 0)	37
4.4.1.2	Configuratie 1 (Scenario 1)	39
4.4.1.3	Configuratie 2 (Scenario 7)	41
4.4.1.4	Configuratie 3 (Scenario 8)	42
4.4.1.5	Configuratie 4 (Scenario 9)	44
4.4.1.6	Configuratie 5 (Scenario 12)	45
4.4.1.7	Configuratie 6 (Scenario 14)	47

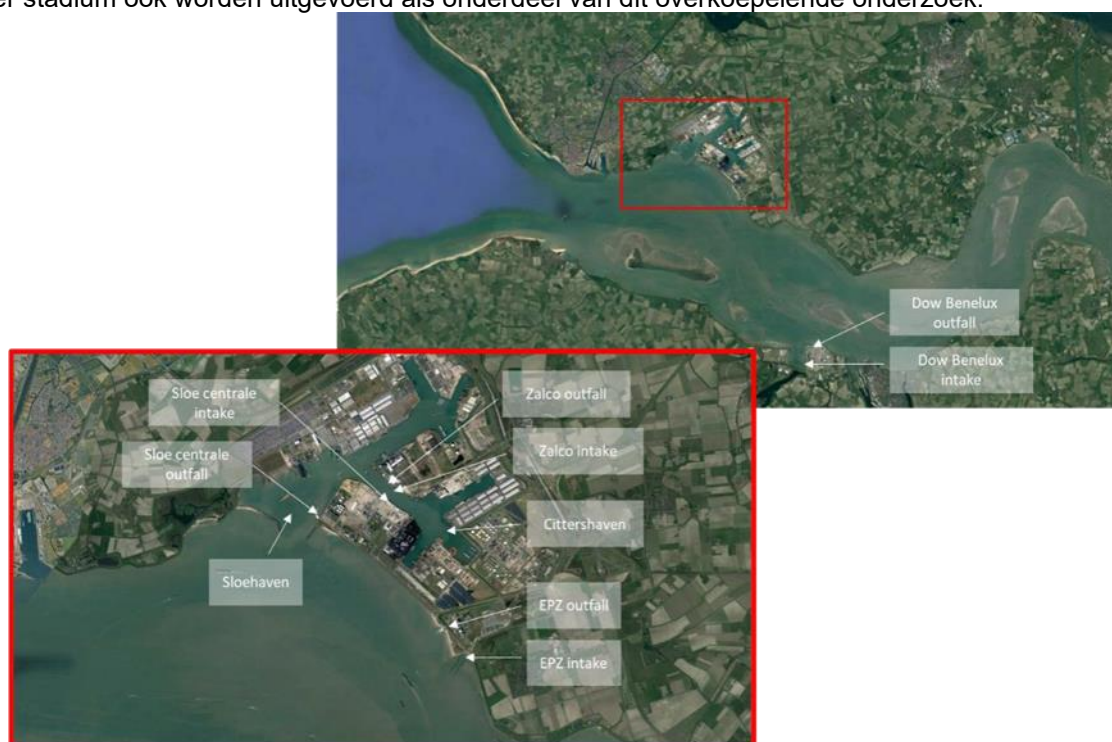
4.4.1.8	Configuratie 7 (Scenario 16)	48
4.4.1.9	Configuratie 8 (Scenario 18)	50
4.4.2	Verschillende lozingskarakteristieken van het Borssele 2 lozingspunt	52
4.4.2.1	Open lozing (Scenario 3 en 4)	52
4.4.2.2	Lozing onder water (Scenario 17 en 19)	55
4.4.3	Warmtelozingscapaciteit van de Borssele 2 lozing (Scenario 2)	56
4.4.4	Aanvullende golfbrekers (Scenario 10, 11, 13 en 15)	58
4.5	Verandering in stromingscondities in de Cittershaven door het Borssele 2 koelwatersysteem	60
4.6	Gevolgen van klimaatverandering en stijging van de achtergrondtemperatuur (Scenario 5 en 6)	62
5	Conclusies	64
6	Bronvermelding	69
A	Recirculatiepotentieel	70
B	Temperatuurvoetafdruk gemiddeld	71
C	Maximumale temperatuurvoetafdrukken	81
D	CIW-criterium voor mengzone en gemiddelde temperatuurstijging	91

1 Inleiding

1.1 Achtergrondinformatie

De Nederlandse regering overweegt de ontwikkeling van een tweede kerncentrale in Nederland en heeft hiervoor Borssele en de Maasvlakte geselecteerd als mogelijke locaties. Voordat de regering een beslissing kan nemen om door te gaan met deze ontwikkeling, moeten mogelijke ontwikkelaars hun eigen technische onderzoek uitvoeren naar een eerste ontwerp van een dergelijke centrale, inclusief alle risico- en veiligheidsoverwegingen. Het Ministerie van Economische Zaken wil deze ontwikkelaars voorzien van eerste technische informatie als startpunt voor hun onderzoeken.

Deltares ontving een verzoek van het Ministerie van Economische Zaken om twee onderzoeken uit te voeren: (1) een locatieonderzoek ter voorbereiding op een kerncentrale op locatie Borssele volgens de IAEA-richtlijnen voor locatie-evaluatie voor kerninstallaties (IAEA Site Evaluation for Nuclear Installations) op een zeer gedetailleerd niveau, én (2) een gedetailleerd modelonderzoek naar de beschikbaarheid van koelwater in Borssele. Dit haalbaarheidsonderzoek biedt input voor het informatiepakket van de ontwikkelaars en beschouwt verschillende scenario's en mogelijke opties voor het inlaat- en lozingspunt van het koelwatersysteem (maar geen specifiek ontwerp). Dit omvat de belangrijkste aspecten die relevant zijn voor de beperking van de effecten van koelwater op de omgeving. Eenzelfde modelonderzoek (met een vergelijkbare mate van detail en reikwijdte als voornoemd onderzoek) naar de beschikbaarheid van koelwater in het gebied van de Maasvlakte zal in een later stadium ook worden uitgevoerd als onderdeel van dit overkoepelende onderzoek.



Figuur 1.1 Projectlocatie en andere belangrijke locaties. NB niet alle inname- en lozingspunten zijn weergegeven.

Toegang tot voldoende koelcapaciteit is cruciaal voor de goede en veilige werking van de nieuwe kerncentrale.

Het is daarom belangrijk om de beschikbaarheid van en toegang tot voldoende koelwater te onderzoeken, zowel vanuit operationeel oogpunt als vanuit het oogpunt van milieueffecten, voor de verschillende locaties die voor de nieuwe centrale worden overwogen. Om te helpen bij deze overwegingen en als input voor de milieuoverwegingen, heeft Deltares een numeriek modelonderzoek uitgevoerd om eerste inzichten te verstrekken omtrent de beschikbaarheid van koelwater(capaciteit) en mogelijkheden voor het koelwaterinlaat en -lozingspunt voor de nieuwe centrale.

1.2 Doelstellingen

Het doel van dit eerste koelwateronderzoek voor de Borssele 2 kerncentrale is om de beschikbaarheid/capaciteit van koelwater in het Sloegebied (Borssele) te verkennen. Meer specifiek:

- Het modelleren van de gecombineerde pluimverspreiding van een nieuw koelwaterlozingspunt van Borssele 2 en andere lozingspunten in het gebied in relatie tot de toepasselijke milieucriteria omtrent temperatuur voor verschillende inlaat- en lozingsopties van Borssele 2.
- Het modelleren van het gecombineerde recirculatiepotentieel van verschillende inlaat- en lozingsopties voor Borssele 2 en andere koelwaterlozingen (d.w.z. de gecombineerde temperatuurstijging bij de inlaat van Borssele 2) in het Sloegebied, evenals de temperatuurstijging bij de bestaande inlaatpunten.

Deze studie heeft tot doel de ontwikkelaars een eerste indicatie te leveren van de haalbaarheid van onderzochte koelwaterconfiguraties op basis van temperatuurscriteria. De uitgevoerde studies zijn niet bedoeld om volledig te zijn en zijn daarmee ook geen garantie dat als de ontwikkelaars de verschaft informatie volgt dit recht geeft op een vergunning en acceptatie van de ontwikkeling. Er wordt verder opgemerkt dat bevoegd gezag heeft aangegeven dat waterkwaliteit en ecologie ook belangrijke aspecten zijn in relatie tot de haalbaarheid van de ontwikkeling van de kerncentrales en dat deze aspecten nog niet in deze eerste, verkennende studie is meegenomen.

1.3 Reikwijdte van de werkzaamheden

Het onderwerp van dit onderzoek is onderzocht met behulp van een numeriek hydrodynamisch model dat de verspreiding van de koelwaterlozing van Borssele 2 simuleert. Dit (detail)model is opgezet rond het Borssele projectgebied en genest in de beschikbare Westerschelde modellen. Om de lozingspluim adequaat te modelleren is dit detailmodel in driedimensionale modus en met een voldoende hoge roosterresolutie uitgevoerd.

Het model simuleerde verschillende capaciteiten, lozingskarakteristieken en inlaat- en lozingsconfiguraties en -constructies van de centrale onder verschillende relevante omgevingsomstandigheden. De inlaat- en lozingsconfiguraties zijn overeengekomen met het Ministerie van Economische Zaken en de omgevingsconditiescenario's zijn gebaseerd op de toepasselijke milieucriteria en omgevingscondities die de pluimverspreiding beïnvloeden. De modelresultaten zijn vervolgens geanalyseerd en weergegeven in relatie tot de milieucriteria omtrent temperatuur.

1.4 Reader

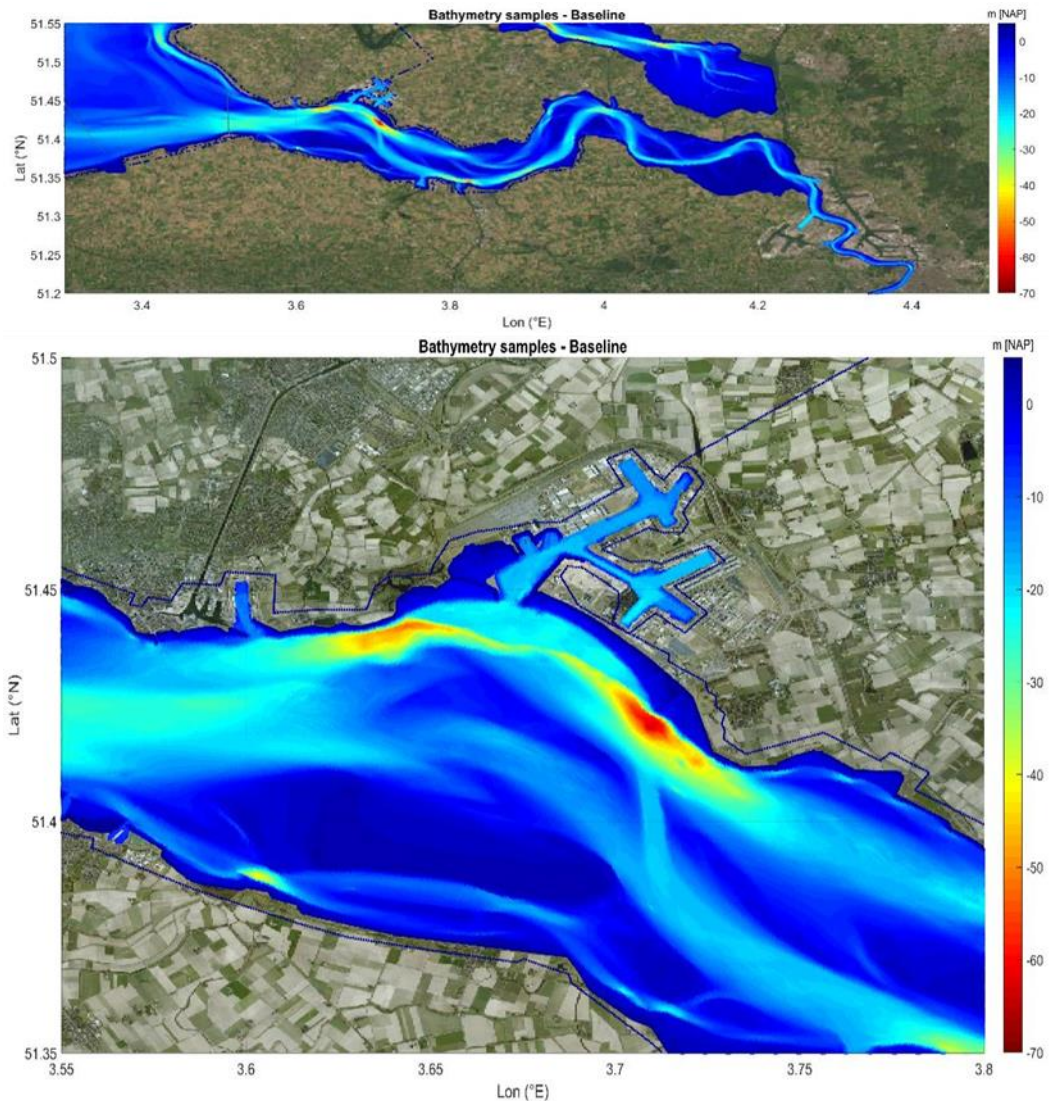
Het rapport zet eerst de projectinformatie die beschikbaar was vóór dit onderzoek uiteen in hoofdstuk 2. Gegevens over de bathymetrie, inlaat- en lozingsontwerpopties en milieucriteria e.d. zijn hier geïnventariseerd. Hoofdstuk 3 beschrijft de opzet van het Delft3D hydrodynamisch model. De resultaten van de modellen voor pluimverspreiding en recirculatie worden beschreven in hoofdstuk 4; in hoofdstuk 5 worden de uitkomsten van dit onderzoek weergegeven.

2 Projectinformatie

In dit hoofdstuk is de beschikbare informatie die relevant is voor de pluimverspreiding en -recirculatie van de Borssele 2 kerncentrale geïnventariseerd en weergegeven. Deze inventarisatie bevat beschrijvingen en analyses van de bathymetrie, de milieucriteria, de omgevingsomstandigheden op de projectlocatie, de kenmerken van het inlaat- en lozingspunt van Borssele 2 en de lozingsopties.

2.1 Bathymetrie

De meest recente bathymetriegegevens voor de Westerschelde zijn verkregen uit de RWS Baseline database software. Deze geselecteerde bathymetriegegevens bestrijken een deel van de Noordzee en de volledige Westerschelde en zijn voldoende in omvang om direct gebruikt te worden voor het volledige domein van de numerieke modellen. De gegevens geven de bathymetrische omstandigheden rond 2019 weer met een resolutie van ongeveer 14x14 tot 20x20 m. De gegevens worden geleverd in het Amersfoort/RD nieuw horizontale coördinatensysteem (EPSG-code 28992) en verticaal gerefereerd aan NAP. De gegevens zijn weergegeven in Figuur 2.1. Voor presentatiedoeleinden worden de gegevens weergegeven in het WGS 84 (lengte/breedte) coördinatensysteem.



Figuur 2.1 De bathymetriegegevens voor de Westerschelde (boven) en nabij de projectlocatie (onder).

Deze dataset laat zien dat de Westerschelde uit meerdere wadplaten en geulen met dieptes tot -65 m NAP bestaat. In het havengebied zijn dieptes typisch tot -22 m NAP. In de buurt van het bestaande EPZ lozingspunt loopt de diepte geleidelijk af vanaf de kade tot een diepte van ongeveer 5 m. Voor het havengebied en dicht bij het EPZ lozingspunt, neemt de diepte toe tot een plateau op -20 m NAP. Verder van de kust van dit plateau ligt een getijdegeul met dieptes variërend van -30 m NAP tot -65 m NAP. De totale breedte aan dit deel van de Westerschelde is ongeveer 5 km tot 7 km.

2.2 Milieucriteria

De configuratie van het inlaat- en lozingspunt van Borssele 2 en de lozing (afvoer) van koelwater moeten voldoen aan de geldende milieucriteria omtrent temperatuur. Een volledig overzicht van de milieucriteria voor de inlaat- en lozingsconfiguratie van Borssele 2 wordt weergegeven in het “Voorstel regelgevend kader warmtelozingen centrales Borssele en Maasvlakte”, Deltares (2023). In deze studie ligt de nadruk op de kwantitatieve temperatuurcriteria die door middel van numerieke modellering geëvalueerd kunnen worden. Deze milieucriteria omvatten de CIW 2004 (Rijkswaterstaat 2004) criteria voor warmtelozingen. Samengevat schrijven deze criteria het volgende voor:

- Mengzone: Voor de Westerschelde is de mengzone gedefinieerd als zijnde de 25°C temperatuurcontour. De doorsnede van de mengzone moet minder dan 25% van de totale doorsnede bedragen. Aan dit criterium moet 98% van de tijd worden voldaan. Voor getijhavens is de mengzone gedefinieerd als zijnde de 30°C temperatuurcontour. Hier is eenzelfde criterium van toepassing: de doorsnede van de mengzone moet minder dan 25% van de totale doorsnede bedragen.
- Gemiddelde temperatuurstijging: De gemiddelde temperatuur van het waterlichaam mag met niet meer dan 2 °C stijgen en/of boven 25 °C stijgen.

Voor de vergunning van het uiteindelijke Borssele 2 koelwatersysteem is een volledige milieueffectbeoordeling nodig, die ook een beoordeling van de invloed op de waterkwaliteit en ecologie omvat. Overeenstemming met de CIW 2004 criteria door het koelwatersysteem vormt slechts een deel van deze milieueffectbeoordeling. Een volledige milieueffectbeoordeling, of beoordeling aan de hand van criteria anders dan temperatuurcriteria, maakt geen deel uit van het huidige werkzaamheden voor dit voorlopige koelwateronderzoek.

Recirculatiecriteria

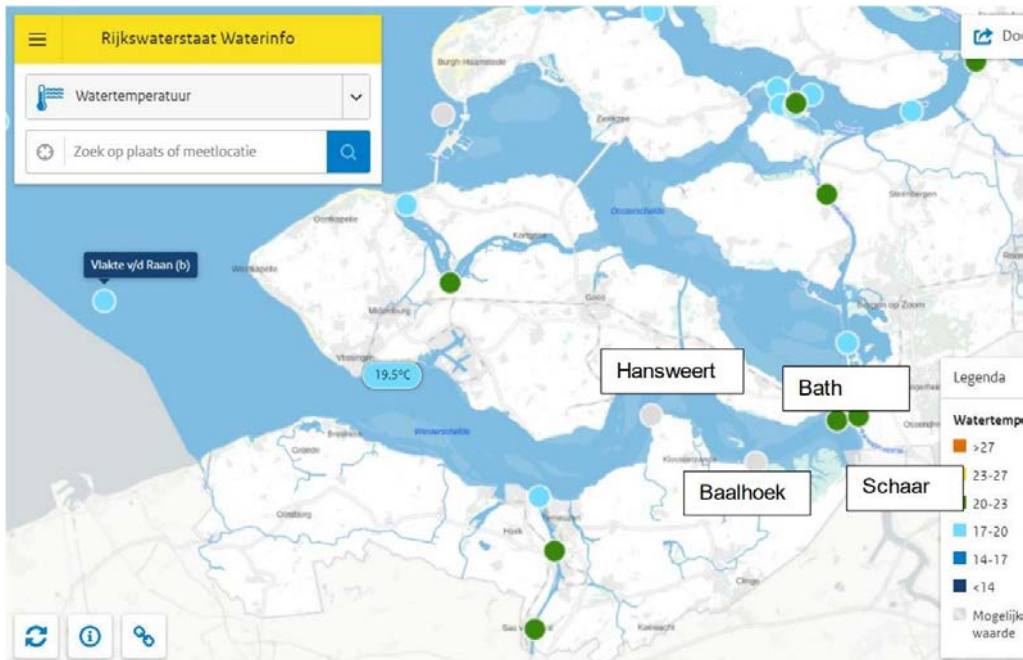
Er zijn geen recirculatiecriteria beschikbaar voor de huidige studie. Het gesimuleerde recirculatiepotentieel bij elke inlaat wordt zodanig weergegeven dat het deze informatie verder onafhankelijk gebruikt kan worden door de ontwikkelaars voor de bepaling van de operationele efficiëntie van de centrale.

2.3 Omgevingswatertemperatuur

Toepassing van de milieucriteria vereist kwantificering van de omgevingstemperatuur (achtergrondtemperatuur) van het water in de buurt van de projectlocatie. De achtergrondtemperatuur wordt in de CIW 2004 criteria gedefinieerd als de temperatuur aan de rand van het waterlichaam. Watertemperatuurgegevens zijn gedownload van het waterinformatiedata-portaal (www.waterinfo.rws.nl) en geanalyseerd om de 98e-percentiel watertemperatuur af te leiden (overeenkomstig de CIW-criteria, (Rijkswaterstaat, 2004)). De resultaten zijn samengevat in Tabel 2.1. Figuur 2.2 toont de locaties van de omgevingswatertemperatuurmetingen over een periode van 20 jaar (2002-2022).

Tabel 2.1 98e-percentiel temperaturen van het omgevingswater op verschillende locaties.

Locatie	98e-percentiel temperatuur (°C)
Bath	22.5
Baalhoek	22.3
Hansweert boei OHMG	21.8
Vlakte van de Raan	20.7

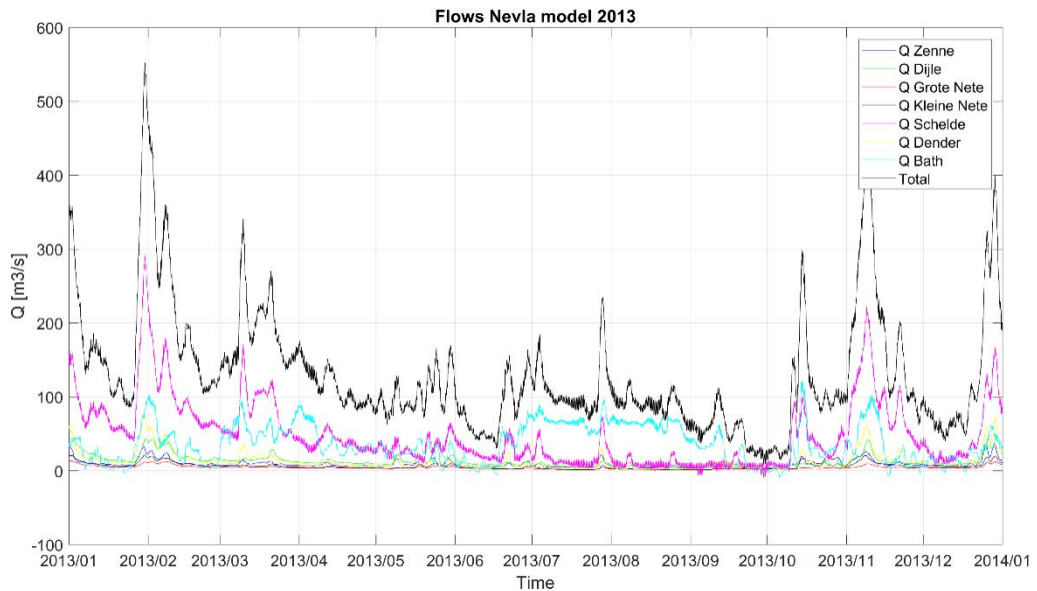


Figuur 2.2 Locaties van de omgevingswatertemperatuurmetingen (www.waterinfo.rws.nl).

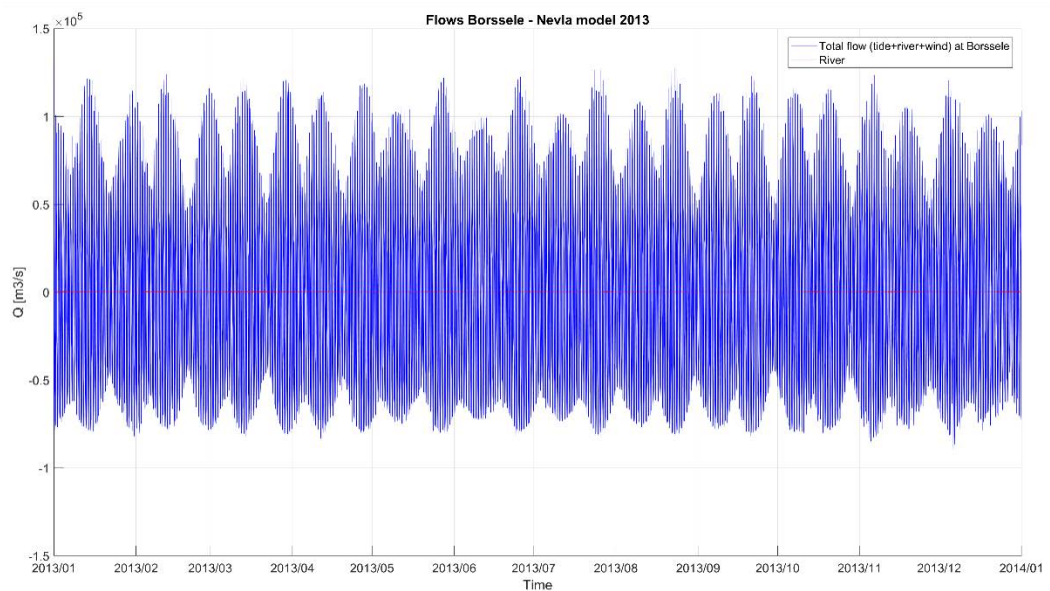
De rand van het waterlichaam wordt door de CIW-criteria gedefinieerd als de rand van de Westerschelde op de grens tussen Nederland en België bij Bath en Schaar. Na beoordeling van de gegevens van de twee stations werden de gegevens van Schaar weggelaten vanwege de lage temporele resolutie, discontinue metingen en vertekening door waarnemingen overdag. De 98e-percentiel omgevingstemperatuur in Bath is 22,5 °C. Voor een meer gedetailleerde berekening van deze watertemperaturen wordt verwezen naar Deltares (2023). De 98e-percentiel omgevingstemperatuur op de projectlocatie zelf ligt tussen ongeveer 20,7 °C (Vlakte van de Raan) en 21,8 °C (Hansweert boei). Er worden geen grote temperatuurverschillen over de waterdiepte verwacht vanwege de hoge getijstroomsnelheden in de Westerschelde.

2.4 Hydrodynamische omgevingscondities

De milieucriteria verplichten tot beoordeling van de pluimverspreiding voor condities met lage stroming voorbij de centrale. Om de stromingscondities op de locatie Borssele te bepalen, zijn de modelresultaten van Vroom et al. (2015) geanalyseerd. Figuur 2.3 toont de rivierstromingen (debieten) van de zijrivieren van de Westerschelde in 2013. De zwarte lijn geeft de som van alle rivierdebieten aan. Lage rivierdebieten traden op rond eind september/begin oktober met debieten rond 20 tot 40 m³/s, terwijl de piekdebieten in 2013 rond 550 m³/s lagen. Daarnaast toont Figuur 2.4 het totale debiet langs de projectlocatie Borssele (blauwe lijn). Het totale debiet is inclusief de lokale getijstroomingen. Ter referentie geeft de rode lijn in Figuur 2.4 het totale rivierdebiet van Figuur 2.3 weer. Deze cijfers laten zien dat de getijstroom bij het project gewoonlijk 100-1000 keer groter is dan het rivierdebiet. Dit betekent dat de bijdrage van het rivierdebiet aan de totale stroming (debiet) in de omgeving van de centrale verwaarloosbaar is.



Figuur 2.3 Rivierdebiet in de Westerschelde in 2013.



Figuur 2.4 Gesimuleerd totaal debiet langs de Borssele projectlocatie voor 2013. De rode lijn toont het rivierdebiet ten opzichte van het totale debiet.

2.5 Huidige lozingen in het Borssele-gebied

In de milieucriteria staat dat voor deze studie de pluimverspreiding van alle warmtelozingen in het Borssele 2-gebied mee moet worden genomen om rekening te houden met mogelijke cumulatieve effecten. Tabel 2.2 geeft een overzicht van de bestaande lozingslocaties en kenmerken. Figuur 1.1 toont de inlaat- en lozingslocaties.

Tabel 2.2 Bestaande lozings in het Borssele 2 projectgebied.

Bedrijfsnaam	Coördinaten		Once-trough cooling (OTC)	
	Inlaat van koelwater	Lozing van koelwater	Max. debiet	Max. warmtebelasting
N.V. Elektriciteits Productiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ)	X 38947 ^{*1} Y 383298 ^{*1}	X 38530 ^{*2} Y 383820 ^{*2}	23,2 m ³ /s	980 MW _{th}
Sloe Centrale BV	X 37756 ^{*1} Y 386179 ^{*1}	X 36247 ^{*2} Y 385974 ^{*2}	19 m ³ /s	480 MW _{th}
Zalco B.V	X 37704 ^{*1} Y 386518 ^{*1}	X 37766 ^{*1} Y 386502 ^{*1}	0,08 m ³ /s (300 m ³ /uur)	12,5 MW _{th}
Dow Benelux B.V.	X 42287 ^{*1} Y 374083 ^{*1} en X 42287 ^{*1} Y 374083 ^{*1}	X 43013 ^{*1} Y 374702 ^{*1}	14,9 m ³ /s (53600 m ³ /uur)	698 MW _{th}

2.6 Borssele 2 koelwaterlozing

Het doel van dit koelwateronderzoek is om de haalbaarheid van verschillende opties voor inlaat en lozing van Borssele 2 en lozingskenmerken te verkennen in relatie tot de geldende milieucriteria. Voor deze studie waren er nog geen gedetailleerde ontwerpen of lozingskarakteristieken beschikbaar. Daarom werden samen met het Ministerie van Economische Zaken verschillende koelwaterlozingskarakteristieken en inlaat- en lozingsopties voor de Borssele 2 installatie geselecteerd voor de modellering in dit onderzoek.

2.6.1 Warmtelozingscapaciteit, debiet en lozingstemperatuur

De maximale elektrische capaciteit van de Borssele 2 kerncentrale wordt momenteel geschat op 2x1600 MWe met een geschatte efficiëntie van 35%. De voorgestelde centrale (2x1600 MW elektrisch vermogen) heeft een totale thermische capaciteit van 2x4600 MW_{th}. Dit resulteert in $(4600-1600)*2 = 6000$ MW_{th} warmtelozing voor een *once-through cooling* (OTC, doorstroom) koelsysteem.

Aangezien het op dit punt niet bekend is bij welke temperatuurstijging het koelwater geloosd zal worden, zijn er drie verschillende combinaties van lozingsdebiet en temperatuurstijging tussen de inlaat en de lozing onderzocht:

- Lozingsoptie 1: Een lozing van 205 m³/s en een temperatuurstijging van +7°C.
- Lozingsoptie 2: Een lozing van 159,5 m³/s en een temperatuurstijging van +9°C.
- Lozingsoptie 3: Een lozing van 119,5 m³/s en een temperatuurstijging van +12°C.

Naast de evaluatie van een warmtelozing van 6000 MW_{th} is ook een warmtelozing van 4000 MW_{th} bekeken. Dit is de ondergrens van het verwachte bereik en wordt gerelateerd aan een mogelijk ander reactortype.

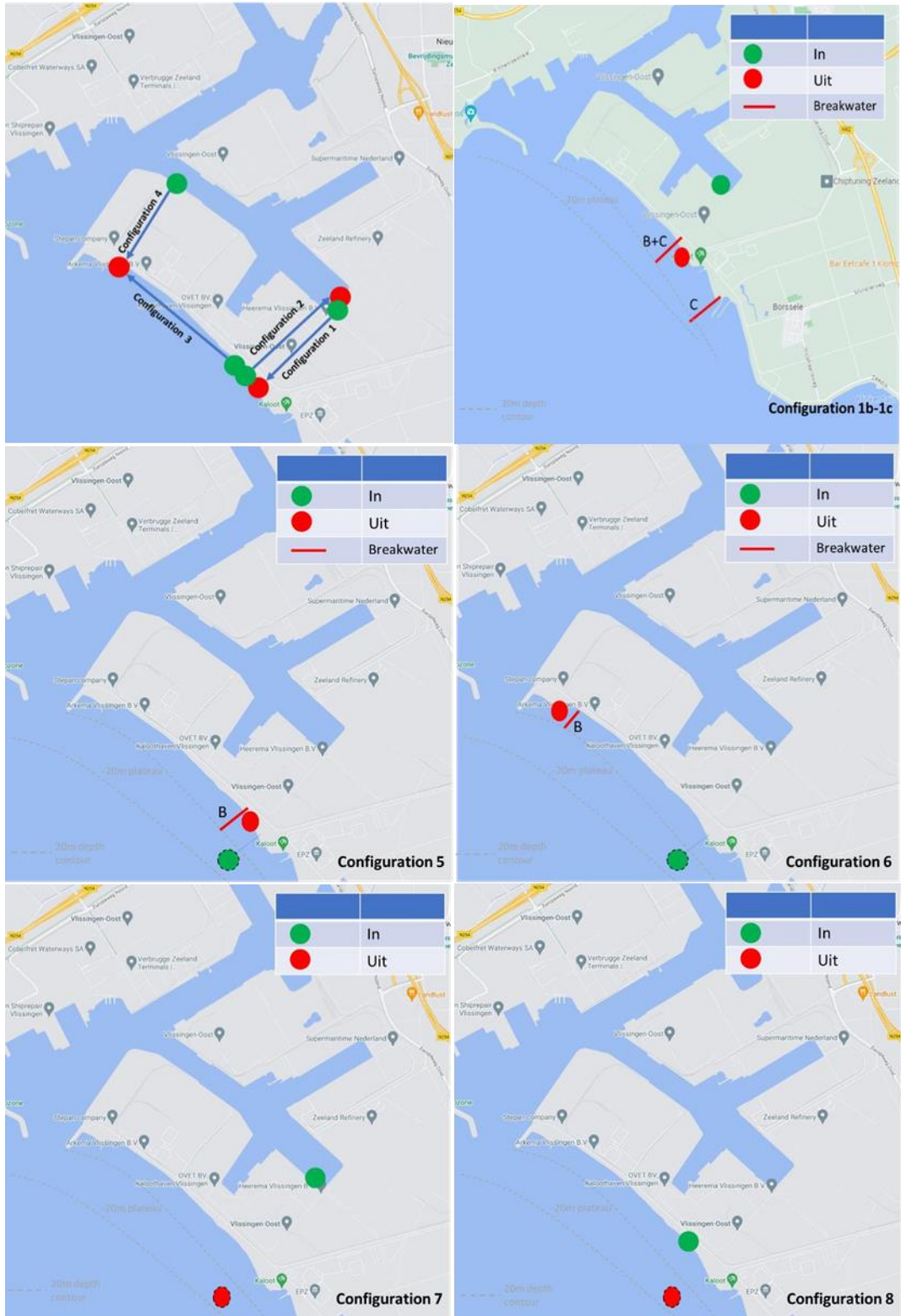
2.6.2 Inlaat en lozingsmogelijkheden

Voor het nieuwe Borssele 2 koelwatersysteem zijn 12 inlaat- en lozingsconfiguraties doorgerekend (zoals overeengekomen met het Ministerie van Economische Zaken), zie Figuur 2.5. Configuraties verschillen qua locatie van de inlaat en lozing, het type inlaat-/lozingspunt (onder water of open) en het gebruik van constructies (bijv. golfbrekers). De 12 inlaat- en lozingsconfiguraties worden hieronder samengevat:

- **Configuratie 1:** Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
- **Configuratie 1b:** Hetzelfde als Configuratie 1, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
- **Configuratie 1c:** Hetzelfde als Configuratie 1b, maar met een extra golfbreker bij de EPZ-inlaat om potentiële recirculatie naar de EPZ-inlaat te verminderen.
- **Configuratie 2:** Open lozing in de Cittershaven, inlaat in de Westerschelde, als gevoeligheidstest.
- **Configuratie 3:** Inlaat en open lozing in de Westerschelde. Inlaat en lozing zijn horizontaal gescheiden om recirculatie van koelwater te beperken.
- **Configuratie 4:** Inlaat in de Cittershaven, meer naar het noordwesten en open lozing in de Westerschelde.
- **Configuratie 5:** Inlaat onder water in de Westerschelde op 20 m NAP diepte, open lozing in de Westerschelde.
- **Configuratie 5b:** Hetzelfde als Configuratie 5, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
- **Configuratie 6:** Inlaat onder water in de Westerschelde op 20 m NAP diepte, open lozing in de Westerschelde dicht bij de haveningang.
- **Configuratie 6b:** Hetzelfde als Configuratie 6, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
- **Configuratie 7:** Lozing onder water in de Westerschelde op 20 m NAP diepte, inlaat in de Cittershaven.
- **Configuratie 8:** Lozing onder water in de Westerschelde op 20 m NAP diepte, inlaat in de Westerschelde.

Bij het samenstellen van deze indicatieve configuraties zijn niet alle factoren meegenomen die invloed zouden kunnen hebben op de uiteindelijke haalbaarheid van deze configuraties. In deze eerste fase van het project zijn de voor de hand liggende aspecten beschouwd, maar zal er door de ontwikkelaars, in samenspraak met bevoegd gezag, in meer detail moeten worden gekeken naar de haalbaarheid van de door de ontwikkelaar beschouwde configuraties. Dat geldt voor het warmteaspect, maar ook andere aspecten zoals operationele, ecologische en veiligheidsaspecten.

Verder zijn er geen gedetailleerde ontwerpen gemaakt voor de inlaat- en lozingsconstructies vanwege de voorlopige aard van deze studie. Er bestaan echter specifieke criteria voor de inlaat- en lozingsconstructies. Dit omvat onder andere criteria om de inname van vissen door de inlaatconstructie te voorkomen, waaraan de inlaatconstructie moet voldoen.



Figur 2.5 Verschillende Borsselle 2 inlaat- en lozingsconfiguraties gemodelleerd in deze studie.

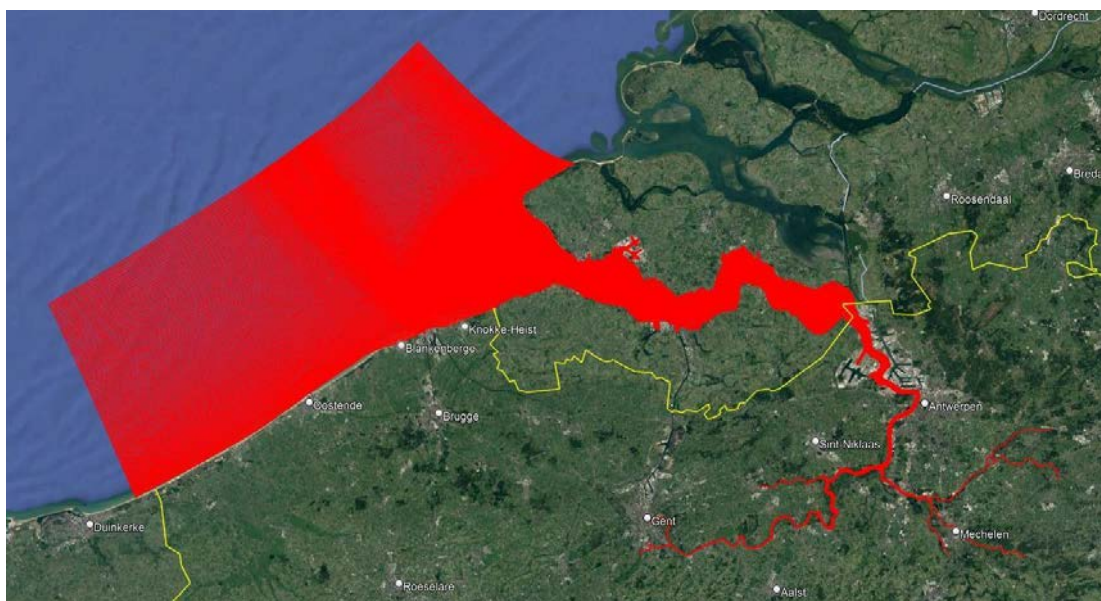
3 Opzet van het Delft3D-detailmodel

Om de pluimverspreiding en recirculatie van geloosd koelwater in het Borssele-gebied te berekenen is een gedetailleerd *far-field* model nodig. Dit *far-field* model moet in staat zijn om de hydrodynamische processen van belang voor de pluimverspreiding met voldoende horizontale en verticale resolutie te simuleren, evenals de warmte-uitwisseling met de atmosfeer. Voor deze studie werd een speciaal driedimensionaal model opgezet in Delft3D. Hydrodynamische randvoorwaarden voor dit detailmodel zijn afgeleid van beschikbare gevalideerde modellen van de Westerschelde. Simulaties zijn uitgevoerd met versie 6.04.00.140726 van de Delft3D software. In dit hoofdstuk wordt de opzet van het Delft3D-model weergegeven.

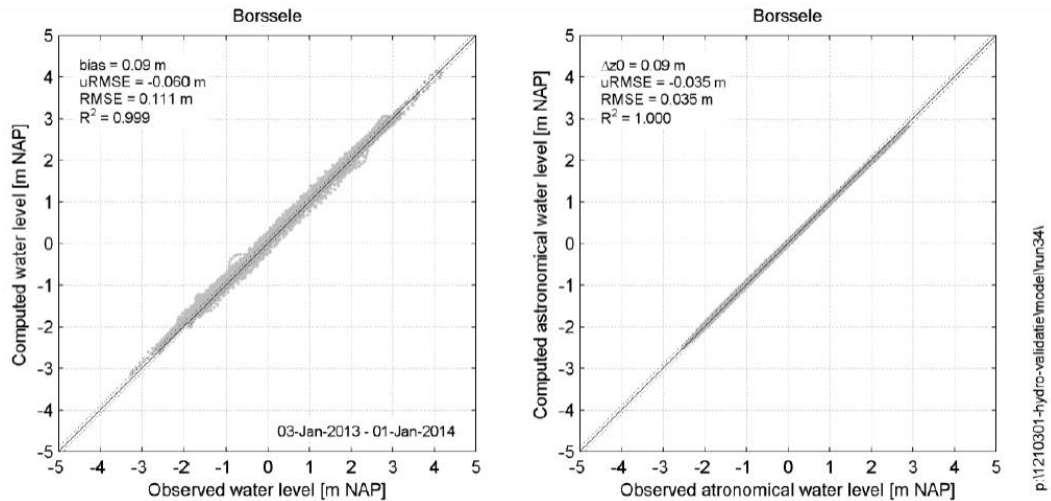
3.1 Grootschalig model

Het bestaande en intern gevalideerde Delft3D-NeVla model (Vroom et al. (2015)) is gebruikt als een grootschalig model om hydrodynamische randvoorwaarden voor het detailmodel af te leiden. Dit model beslaat een deel van de Noordzee, de Westerschelde en stroomopwaarts gelegen riviergedeelten tot Gent en Mechelen (zie Figuur 3.1.). Dit tweedimensionale dieptegemiddelde model is opgezet voor het jaar 2013 en in detail gekalibreerd voor waterstandvariatie en stromingen, zie Figuur 3.2 en Figuur 3.3. Hydrodynamische condities worden naar het uitvoerbestand geëxporteerd met een interval van 10 minuten voor specifieke locaties (d.w.z. randen van het detailmodel).

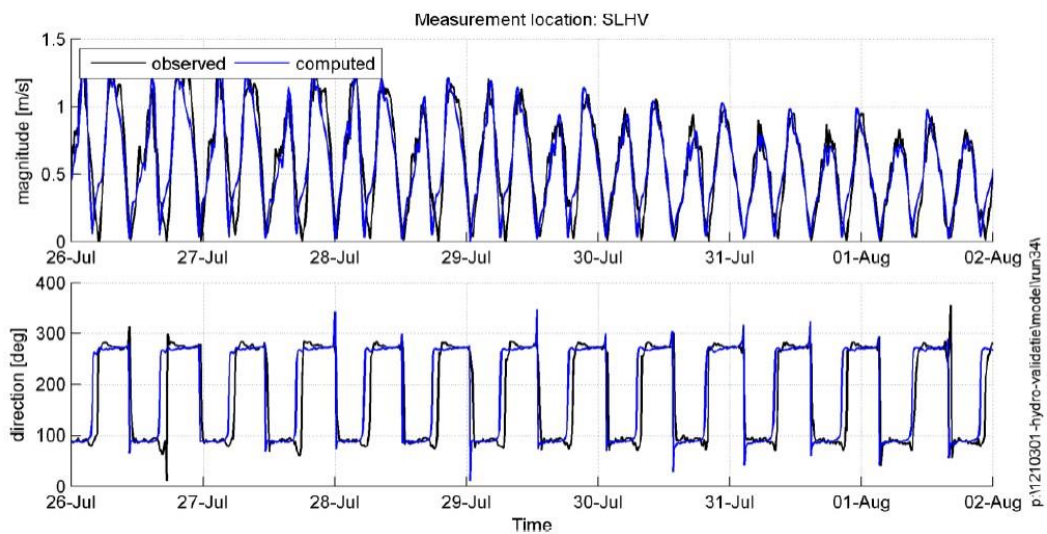
Voor huidige studie is de bathymetrie van het Delft3D-NeVla-model bijgewerkt met de nieuwe bathymetriegegevens, zie paragraaf 2.1.



Figuur 3.1 Modeldomein voor het grootschalige Delft3D-NeVla model.



Figuur 3.2 Waterstandvariatie van het Delft3D-NeVla model voor de Borssele projectlocatie.



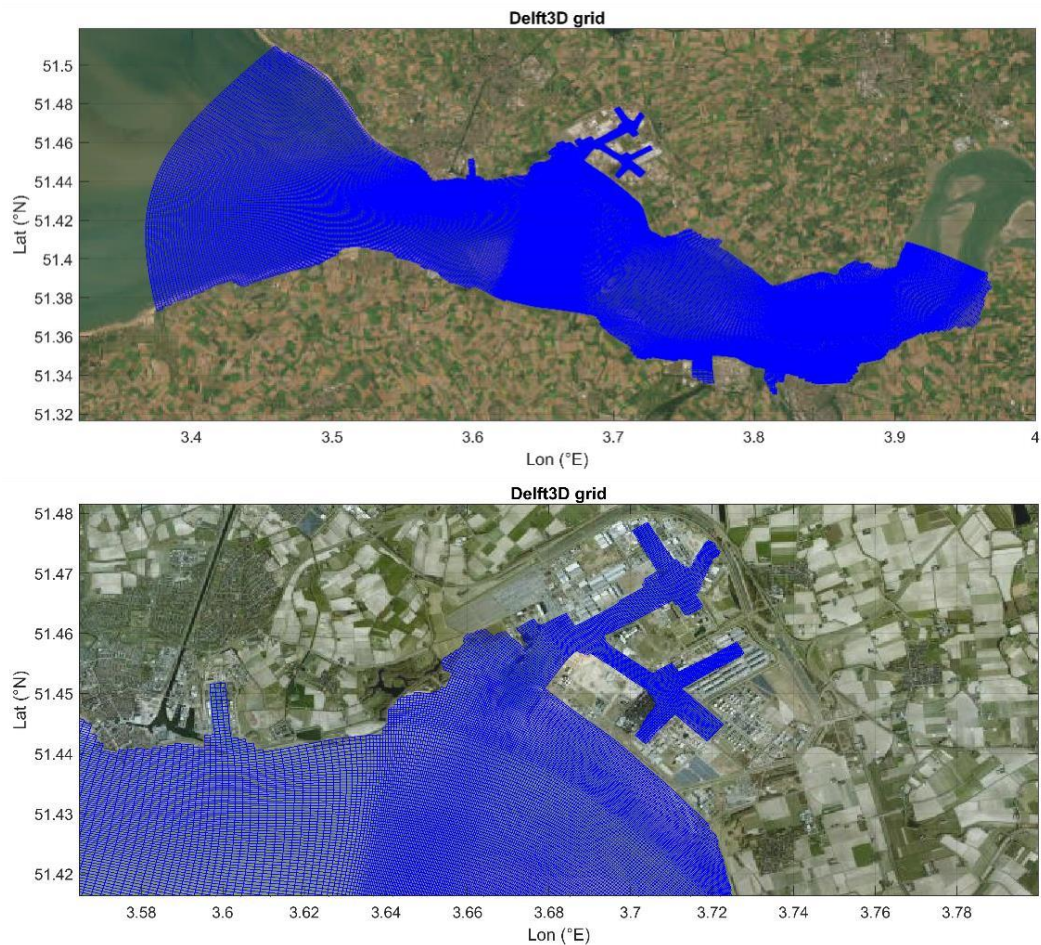
Figuur 3.3 Huidige validatie van het grootschalige Delft3D-NeVla model voor de Borssele projectlocatie.

3.2 Rekenrooster detailmodel

Er is een nieuw gedetailleerd rekenrooster opgezet voor het Borssele-gebied. Het rooster bestrijkt een gebied van ongeveer 40 km langs de kade, met de nadruk op het Sloegebied (zie Figuur 3.4). De modelomvang is gebaseerd op de maximale verwachte afstand die het geloosde koelwater binnen een getijcyclus zou kunnen bereiken. Het rekenrooster maakt gebruik van de kromlijnige roostermethode met een hoge resolutie in de buurt van de projectlocatie en een lagere roosterresolutie aan de modelgrenzen. In de buurt van de haven heeft het modelrooster een resolutie van ongeveer 20 m bij 20 m tot 40 m bij 40 m. Naar de modelgrenzen toe neemt de roosterresolutie toe tot meer dan 100 m bij 100 m. In totaal bestaat het rooster uit 291 x 455 roostercellen.

Het horizontale coördinatenstelsel van het rooster is Amersfoort/RD nieuw. Voor de verticale lagen is de sigma-methode gebruikt voor de verticale verdeling van roosterlagen. Dit betekent dat de roosterlagen verdeeld worden volgens een vast percentage van de plaatselijke waterdiepte. Het huidige model bevat 20 verticale lagen die niet-uniform verdeeld zijn. Aan het oppervlak is de laagdikte gelijk aan 2,5% van de waterdiepte, terwijl dicht bij de bodem de laagdikte toeneemt tot ongeveer 10%.

Dit zorgt ervoor dat de hoge resolutie van het verticale rooster wordt geconcentreerd in de buurt van (de rand van) de warmtepluim om de dispersie van koelwater nauwkeurig te simuleren binnen haalbare simulatietijden.

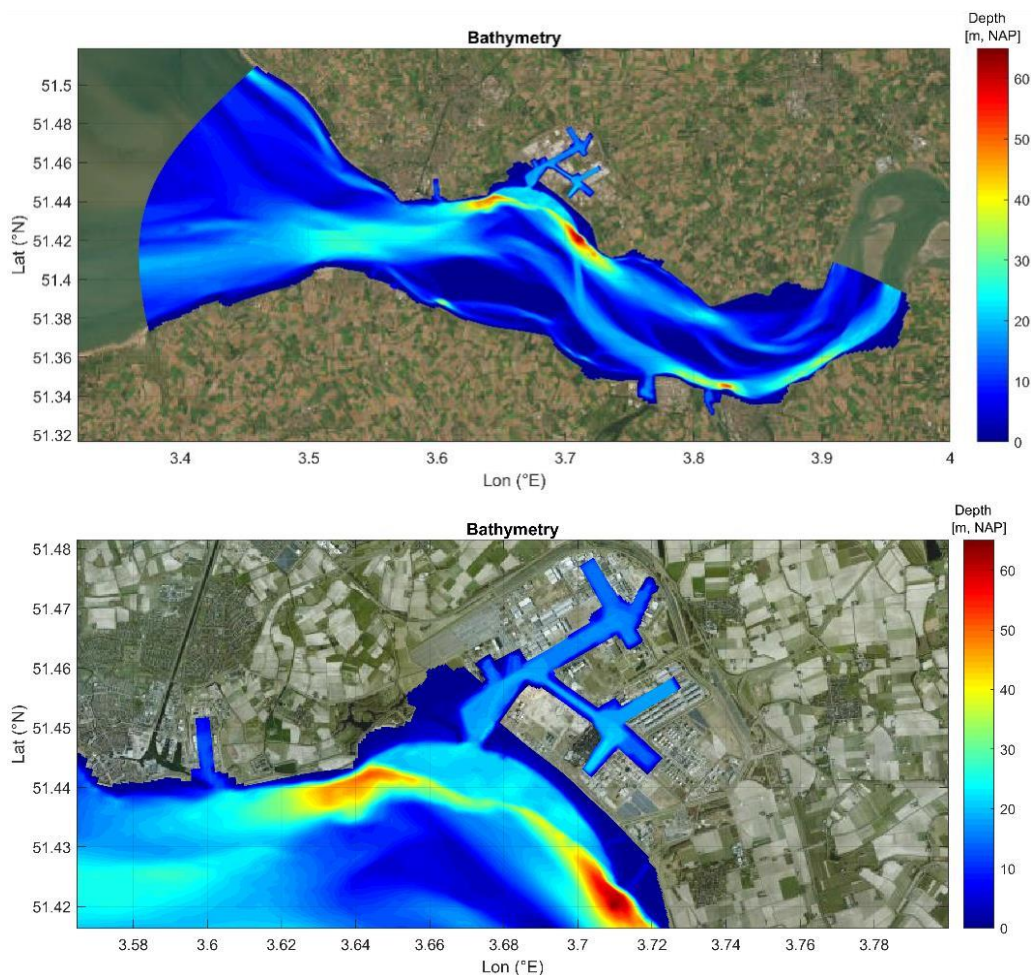


Figuur 3.4 Rekenrooster van het detail Delft3Dmodel.

3.3 Modelbathymetrie

De bathymetrie van het model is gebaseerd op de basisgegevens van RWS, zie paragraaf 2.1. Aangezien deze gegevens een hogere resolutie hebben dan het modelrooster, zijn de gegevens rechtstreeks geïnterpoleerd naar elk roosterpunt van het detailmodel. Aangezien de onderzoeksgegevens al werden geleverd voorzien van verwijzing naar NAP, hoefden er geen wijzigingen te worden aangebracht in de verticale referentie van de gegevens, behalve dat de modeldiepte positief naar beneden is gedefinieerd. De resulterende modelbathymetrie is weergegeven in Figuur 3.5. Afhankelijk van de simulatie voor de nieuwe inlaat- en lozingsopties van Borssele 2 zijn kleine wijzigingen in de bathymetrie rond de inlaat- en lozingsgeul aangebracht om voldoende diepte op deze locaties te garanderen.

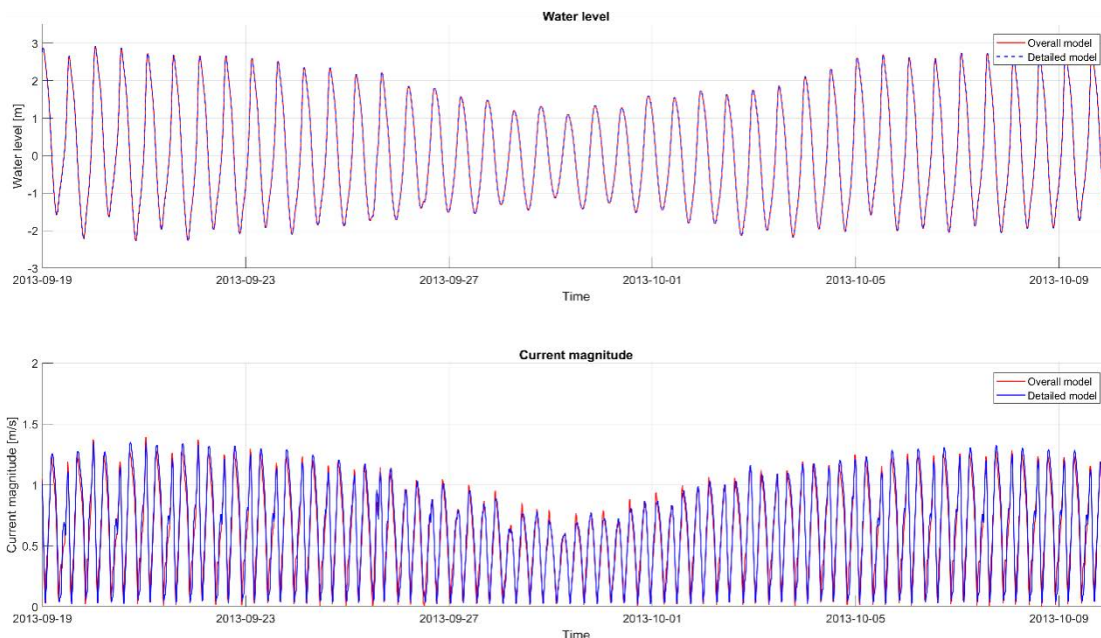
Bovendien zijn de recente satellietbeelden geanalyseerd om de meest recente status van golfbrekers, aanlegsteigers en/of andere morfologische kenmerken te verkrijgen die de hydrodynamica en pluimverspreiding in het gebied zouden kunnen beïnvloeden.



Figuur 3.5 Bathymetrie van het Delft3D--detailmodel.

3.4 Randvoorwaarden

Het gedetailleerde Delft3D model heeft 2 open grenzen: aan de *offshore* grens in de Noordzee wordt de waterhoogtevariatie voorgeschreven en aan de oostelijke grens worden stroomsnelheden voorgeschreven. Waterstand- en stroomtijdsreeksen zijn voor het hele jaar 2013 afgeleid uit het algemene hydrodynamische model, zie paragraaf 3.1. Aangezien het grootschalige model aangedreven werd met zowel getij- als niet-getij omstandigheden (bijv. wind en rivier), zijn grootschalige stromingsomstandigheden goed opgenomen in het detailmodel. Het Delft3D-detailmodel is geverifieerd aan de hand van de resultaten van het gevalideerde Westerschelde-model om er zeker van te zijn dat het model nauwkeurige resultaten geeft. Figuur 3.6 toont de gesimuleerde waterniveaus en stroomgroottes voor het algemene model en het detailmodel voor een locatie uit de kust nabij Sloehaven. Deze figuur laat zien dat de gesimuleerde hydrodynamische omstandigheden van het gevalideerde algemene model nauwkeurig worden overgebracht naar het detailmodel.



Figuur 3.6 Verificatie van de opzet van het detailmodel.

Aan de grenzen is een constante achtergrondtemperatuur toegepast. Voor het zoutgehalte (saliniteit) is een constante achtergrondsaliniteit van 29 PPT gebruikt als randvoorwaarde. Er zijn gevoeligheidstests uitgevoerd met in tijd en ruimte variërende saliniteitscondities, maar dit leverde geen significante verschillen met betrekking tot de pluimverspreiding. Ruimtelijk uniforme windtijdreeksen zijn toegepast op basis van waarnemingen op KNMI-station Vlissingen. Deze gegevens zijn gecorrigeerd om rekening te houden met windomstandigheden boven water, zie Vroom et al. (2015). Bovendien werd de Thatcher-Harleman time lag (tijdsverschil) ingesteld op 720 minuten om rekening te houden met de verspreiding van de pluim en de getijstrooming over de modelranden.

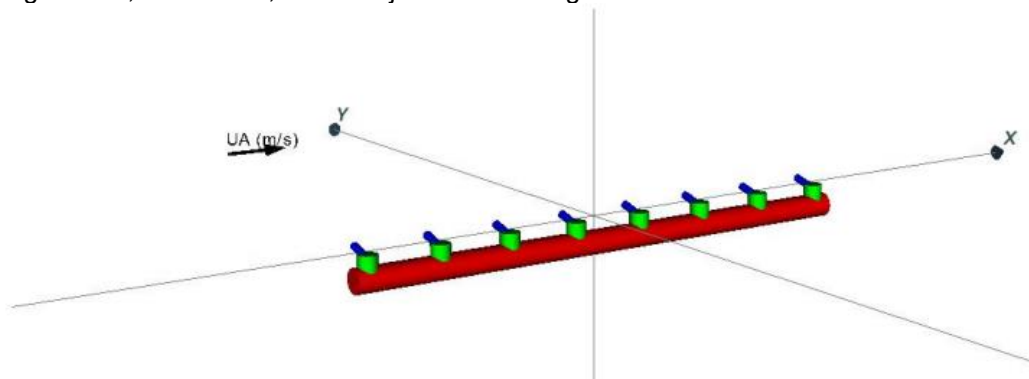
Voor de temperatuurmodellering is gekozen voor het temperatuurstijgings-warmtefluxmodel (*excess temperature heat flux model*) van Delft3D (Sweers, 1976). Dit warmtefluxmodel berekent de netto warmteflux op basis van het temperatuurverschil tussen de lucht en het wateroppervlak en de windomstandigheden. Door de achtergrondtemperatuur gelijk te stellen aan de luchttemperatuur en beide constant over tijd, kan de invloed van de uitlaat rechtstreeks uit de modellering worden afgeleid. Aangezien een deel van de CIW-criteria gebaseerd is op maximumtemperaturen hoger dan de achtergrondomstandigheden, wordt deze aanpak het meest geschikt geacht voor de huidige studie. In alle simulaties werd een uniforme achtergrondwater- en luchttemperatuur van 23°C gebruikt. Deze achtergrondtemperaturen zijn echter niet van belang voor de resultaten, omdat bij de analyse van de simulaties de achtergrondtemperatuur vervolgens van de modellering werd afgetrokken om de temperatuurstijging te verkrijgen die alleen toe te schrijven is aan de koelwaterlozing. De omgevingtemperaturen zoals afgeleid in paragraaf 2.3. zijn in gebruik voor de interpretatie van de resultaten en om in te schatten of aan de milieucriteria wordt voldaan. Gevoeligheidstests met verschillende achtergrondtemperaturen uit het model bevestigden dat kleine veranderingen in de achtergrondtemperaturen geen noemenswaardige invloed hebben op de berekende temperatuurstijging als gevolg van warmtelozingen. Zie de modelresultaten in de bijlage.

3.5 *Near-field* schematisatie van lozingsen onder water

In deze studie zijn verschillende soorten lozingspunten in bekeken. Open lozingspunten zijn meestal constructies aan de kust met een beperkte initiële menging en worden rechtstreeks in Delft3D gesimuleerd. Lozingspunten onder water zijn bedoeld om het koelwater sneller te mengen met omgevingswater in de eerste tientallen meters. De menging in de buurt van het lozingspunt onder water hangt af van de impuls van de lozing, turbulentie en andere niet-hydrostatische processen. Verder weg van het lozingspunt hangt de verspreiding en menging van geloosd koelwater af van de (hydrodynamische) omgevingsomstandigheden, zoals de bathymetrie, stromingen, meteorologische omstandigheden, enz. Deze verschillende stadia van de lozingspluim worden gewoonlijk geclassificeerd als *near-field* en *far-field*. Aangezien een enkel model deze twee fasen niet gelijktijdig in kaart kan brengen, moeten evaluaties in zowel het *near-field* als het *far-field* worden uitgevoerd om de verspreiding en menging van een lozingspluim nauwkeurig te berekenen.

In deze studie is het gedrag in het *near-field* van de warmtepluim van het lozingspunt onder water berekend met behulp van het CORMIX-expertsysteem (www.mixzon.com). CORMIX berekent het hydrodynamische gedrag van de lozingspluim nabij het lozingspunt, inclusief het traject van de pluim en de (initiële) verdunning. De resultaten van de *near-field* evaluatie zijn vervolgens gekoppeld aan het *far-field* model met behulp van het C-SUMO-systeem (Coupled Subgrid Model) van Deltares. Dit zorgt ervoor dat de eigenschappen van de pluim in het *near-field* op een fysisch correcte manier worden meegenomen in de *far-field* modellering.

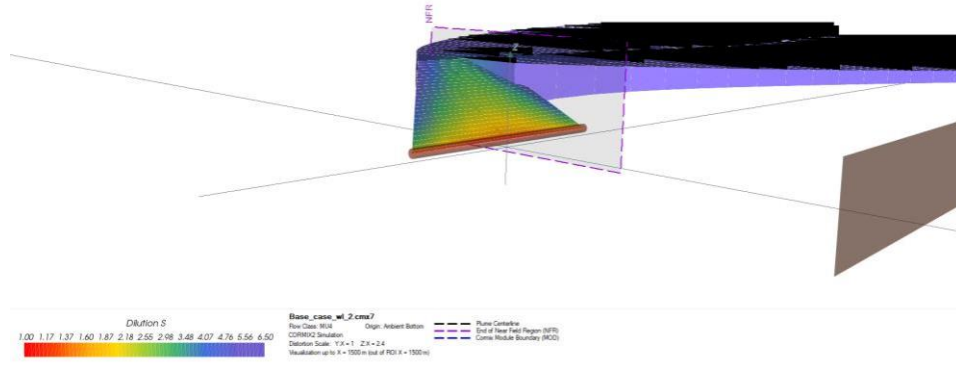
Aangezien er in deze eerste verkenning geen gedetailleerd ontwerp van het lozingspunt is gespecificeerd, is er een aantal gevoeligheidstests met verschillende configuraties van lozingspunten onder water (bijv. diffusorconfiguraties) uitgevoerd met CORMIX om het typische en realistische gedrag in het *near-field* en verdunning in het *near-field* in kaart te brengen. Ter referentie: het schematische ontwerp dat uiteindelijk in deze studie werd overwogen, bestond uit 8 lozingspoorten, allemaal gericht van de kust af en op een gemiddelde plaatselijke diepte van 20 m, zie Figuur 3.7. Poortdiameters varieerden tussen ongeveer 2,5 m en 3 m, afhankelijk van het lozingsdebiet.



Figuur 3.7 Schematische weergave van de lozingsconfiguratie onder water.

Het verwachte pluimgedrag van dit schematische ontwerp voor het lozingspunt onder water is berekend op basis van verschillende omgevingscondities en CORMIX-schematisaties. CORMIX simulaties zijn uitgevoerd met waterniveauevariaties van -2 m tot 2 m in stappen van 1 m en stroomsnelheden van 0,25 tot 1,75 m/s in stappen van 0,25 m/s. Voor dit ontwerp van het lozingspunt en de beschouwde omgevingsomstandigheden varieert de verdunning tussen ongeveer factor 5 voor lage waterstanden en lage stromingsomstandigheden, en factor 37 bij hoge waterstanden en stromingen aan het einde van het *near-field*. Een voorbeeld van de output van het CORMIX-model is weergegeven in Figuur 3.8.

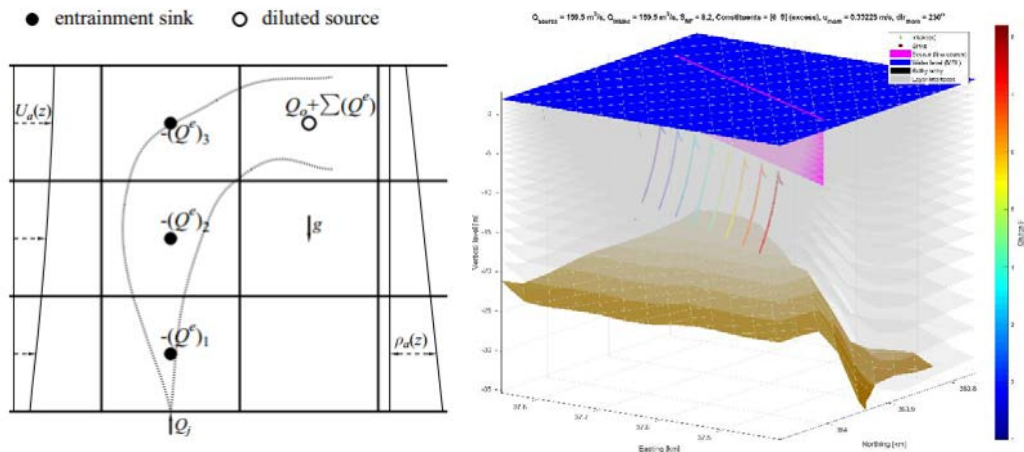
Hierbij is het einde van het *near-field* gedefinieerd als het punt waar de breedte van een individuele pluim (d.w.z. van 1 poort) de roosterresolutie van het model (~40 m) overschrijdt. Let wel dat CORMIX geen rekening houdt met opbouw van effluent in de buurt van het lozingspunt, en dat de effectieve verdunningen in de praktijk lager en temperatuurstijgingen hoger kunnen zijn in vergelijking met de *near-field* berekeningen. De opbouw van effluent wordt echter goed gesimuleerd in het Delft3D *far-field* model door middel van de C-SUMO koppelmethode.



Figuur 3.8 Voorbeeld van een CORMIX-gesimuleerd pluimtraject en verdunning.

De resultaten voor het *near-field* zijn opgeslagen in een database die door middel van Deltares C-SUMO aan Delft3D is gekoppeld. C-SUMO vergemakkelijkt de koppeling van verschillende *near* en *far-field*-modellen, evenals databanken met resultaten van specifieke *near-field* resultaten. Tijdens een *far-field* simulatie selecteert C-SUMO het best representatieve geval uit de set *near-field* resultaten op basis van de omgevingscondities op dat moment. Voor deze berekening worden de afmetingen van de pluim en de verdunning die het beste passen bij het waterniveau en de huidige omstandigheden geselecteerd en geprojecteerd op het *far-field* rooster. Het tijdsinterval waarvoor de *near-field* resultaten in het *far-field* model worden bijgewerkt bedraagt 60 minuten. De informatie die opgeslagen is in de database bevat informatie over de x-y-z coördinaten van de middellijn van de pluim, de breedte van de pluim, de dikte van de pluim en de verdunning langs het traject. De locatie waar de pluimbreedte de roosterresolutie van Delft3D overschrijdt en zich zal verspreiden onder invloed van omgevingscondities (stroming) is beschouwd als het einde van het *near-field* en zal worden gesimuleerd met een *far-field* model. Het pluimtraject en de verdunning tot dit punt worden gebruikt in het *far-field* model.

De Distributed Entrainment Sinks Approach (DESA) van Choi en Lee (2007) is toegepast voor een nauwkeurige weergave van het pluimtraject en de menging in het *near-field* in Delft3D. In het *near-field* mengt de pluim met omgevingswater. De DESA-methode gebruikt reeksen bronnen en putten in het Delft3D-model om de menging van de pluim met omgevingswater weer te geven, dit is weergegeven in Figuur 3.9.



Figuur 3.9 Schematische weergave van de DESA-methode (links) ter illustratie van de menging van de near-field pluim in het far-field model op basis van reeksen bronnen en putten (via: Choi en Lee, 2007) en de DESA-methode voor een 8 poorts diffusor in huidige studie.

Deze dynamische koppeling met de DESA-methode zorgt ervoor dat de pluimkarakteristieken goed worden weergegeven in het *far-field* modeldomein, waardoor een nauwkeurigere berekening van de pluimverspreiding van het lozingspunt mogelijk is in vergelijking met traditionele modelleermethoden.

3.6 Overige modelparameters

Verschillende andere parameters van het Delft3D-model zijn ingesteld op basis van ervaring en/of validatie van de pluimverspreiding in andere projecten:

- Een ruimtelijk variërende bodemruwheid is gebruikt met een Manningcoëfficiënt tussen 0,021 en 0,027, overeenkomstig het gevalideerde grootschalige model.
- De horizontale viscositeit en diffusie van de achtergrond zijn ingesteld op 1 m²/s.
- De 3D turbulentie is berekend met het k-Epsilon model.
- Een uniforme verticale achtergrondviscositeit van 1*10⁻⁵ m²/s is gebruikt.
- De simulatieperiode loopt van 17 september 2013 tot 10 oktober 2013, d.w.z. de periode met het laagste rivierdebiet in 2013. Let wel dat alleen de periode van de laatste 14 dagen (d.w.z. een springtij-doodtij getijcyclus) is gebruikt voor de nabewerking.
- De tijdstap van het model is ingesteld op 0,125 min.
- De modeluitvoer is gegeneerd met een interval van 10 minuten voor puntlocaties en 30 minuten voor kaartuitvoer.
- De zwaartekracht is ingesteld op 9,813 m/s².
- De luchtdichtheid is ingesteld op 1,205 kg/m³.

4 Modelresultaten voor pluimverspreiding

Met het gekoppelde Delft3D model en de *near-field* database zijn verschillende simulaties uitgevoerd voor representatieve scenario's (d.w.z. verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties, verschillende warmtelozingscapaciteiten, lozingskarakteristieken en constructies, etc.) voor de projectlocatie. Het doel van huidige studie is het berekenen van de verwachte pluimverspreiding in relatie tot de temperatuurcriteria en de recirculatie naar alle inlaatpunten. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gesimuleerde scenario's en hun resultaten met betrekking tot deze operationele- en milieucriteria.

4.1 Overzicht van de simulaties

Op basis van de verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties, lozingskarakteristieken, warmtelozingscapaciteiten en optionele constructies, werden 20 simulaties geformuleerd om de pluimverspreiding van de gecombineerde nieuwe Borssele 2-lozingen en huidige lozingen te modelleren. Deze simulaties omvatten variaties in de achtergrondtemperatuur als onderdeel van gevoeligheidstests om de modelbenadering te valideren, zie paragraaf 3.4. Er werd een simulatie zonder de lozing van Borssele 2 uitgevoerd om de huidige situatie te in kaart te brengen. Alle simulaties werden uitgevoerd voor de periode van 17 september 2013 tot 10 oktober 2013. Een overzicht van de uitgevoerde simulaties is weergegeven in Figuur 4.1.

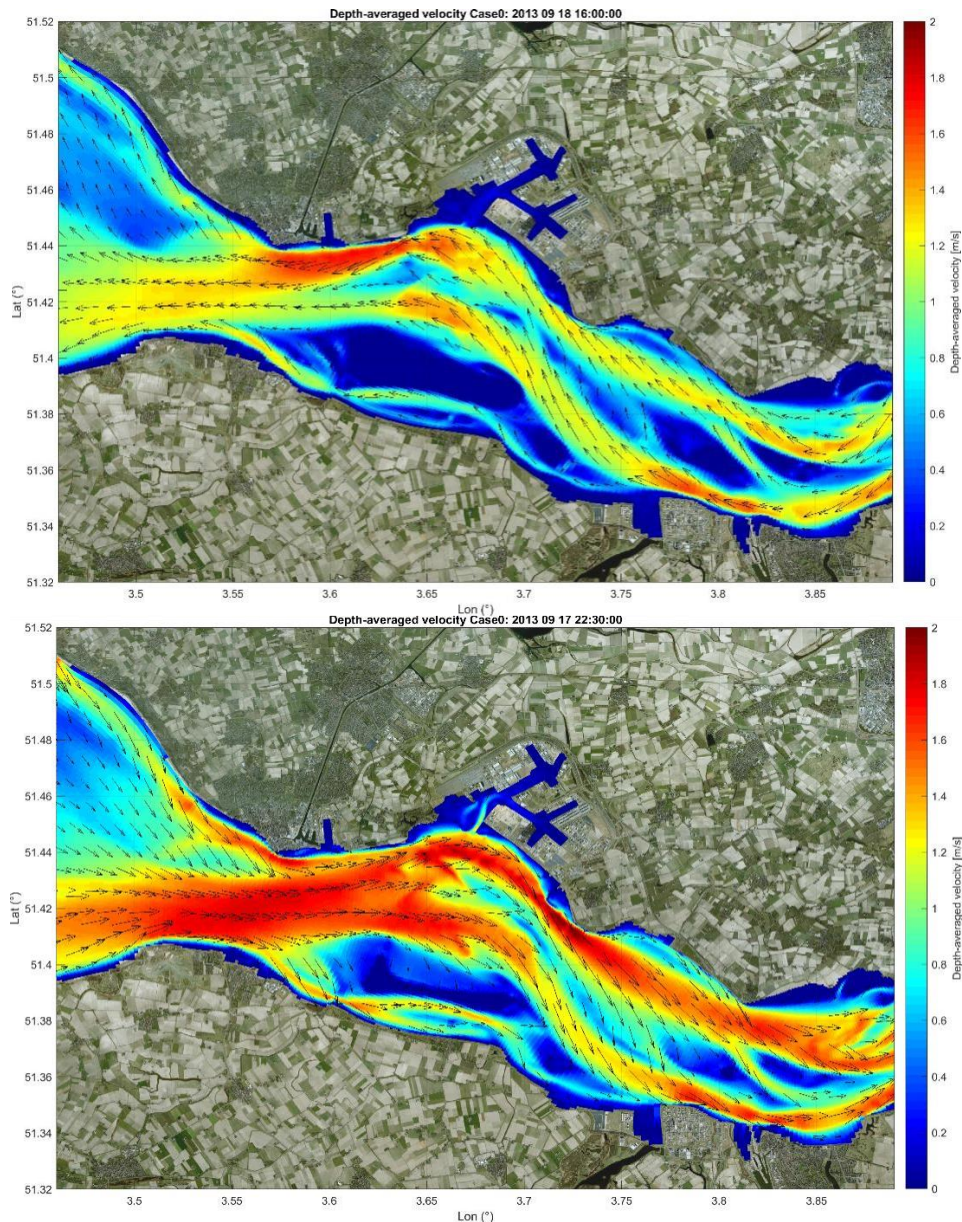
Tabel 4.1 Overzicht van de gesimuleerde scenario's.

S c e n a r i o	W a r m t e l o z i n g	L o z i n g	Achtergrond-temperatuur	Configuratie inlaat/lozingslocatie	U i t v o e r c	Extra constructies
0	-	-	Typische zomer	-	S	-
1	6	2	Typische zomer	1	S	-
2	4	2	Typische zomer	1	S	-
3	6	1	Typische zomer	1	S	-
4	6	3	Typische zomer	1	S	-
5	6	2	Typische winter	1	S	-
6	6	2	98e-percentiel temperatuur	1	S	-
7	6	2	Typische zomer	2	S	-
8	6	2	Typische zomer	3	S	-
9	6	2	Typische zomer	4	S	-
1	6	2	Typische zomer	1	S	Ja
1	6	2	Typische zomer	1	S	Ja (2x)
1	6	2	Typische zomer	5	S	-
1	6	2	Typische zomer	5	S	Ja
1	6	2	Typische zomer	6	S	-

S c e n a r i o	W a r m t e f	L o z i n g	Achtergrond-temperatuur	Configuratie inlaat/lozingslocatie	U i t v o e r c	Extra constructies
1	6	2	Typische zomer	6	S	Ja
1	6	2	Typische zomer	7	S	-
1	6	3	Typische zomer	7	S	-
1	6	2	Typische zomer	8	S	-
1	6	3	Typische zomer	8	S	-

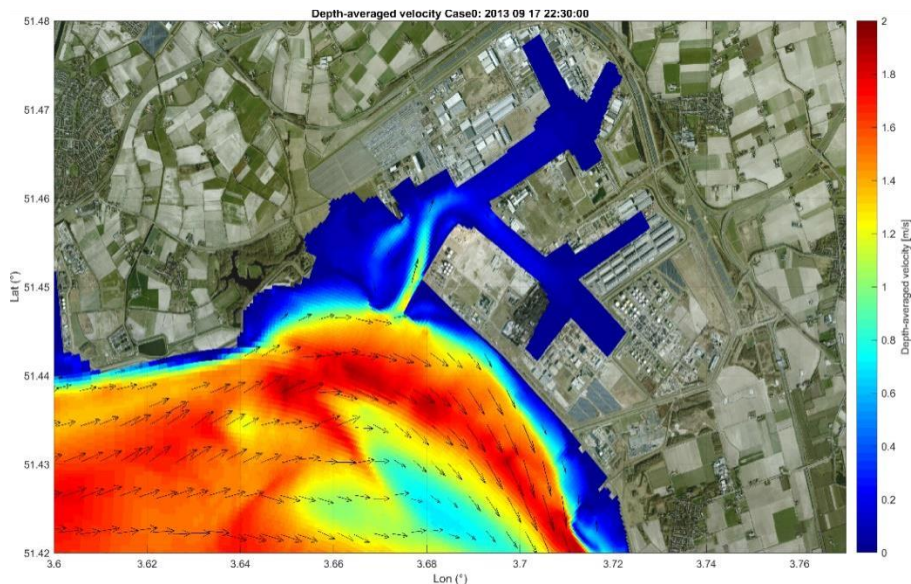
4.2 Typisch stromings- en lozingspluimgedrag

De Westerschelde is een getij-estuarium dat in verbinding staat met de Noordzee. Het verticale getij op de Noordzee en het legen en vullen van de Westerschelde zorgt voor sterke stromingen in de Westerschelde. Figuur 4.1 toont de typische diepte-gemiddelde stromingsomstandigheden onder eb- (boven) en vloedomstandigheden (onder). In de buurt van de projectlocatie zijn de maximale stroomsnelheden hoger dan 1,75 m/s.



Figuur 4.1 Typische diepte-gemiddelde stromingsomstandigheden onder eb (boven) en vloedomstandigheden (onder).

Ook in het havengebied zorgen het verticale getij en het legen en vullen van dit havengebied voor stromingen met maxima tussen 0,5 m/s en 1 m/s (hoogste snelheden bij de ingang in de Sloehaven, zie Figuur 4.2). Verder de haven in neemt de snelheid geleidelijk af tot nul. Figuur 4.2 toont een typisch diepte-gemiddeld stromingspatroon voor overstromingsomstandigheden in het havengebied.

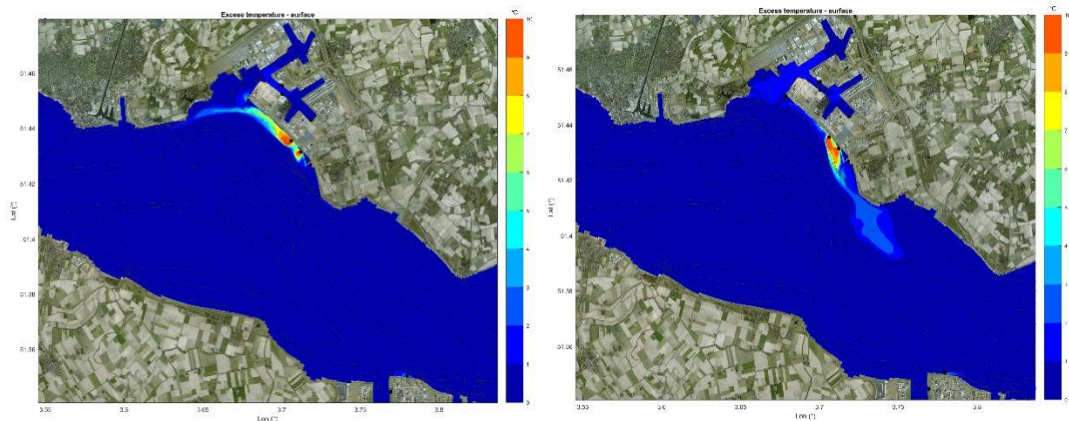


Figuur 4.2 Typisch diepte-gemiddeld stromingspatroon voor overstromingsomstandigheden in het havengebied.

De verspreiding en menging van de warmtelozing van Borssele 2 hangen onder andere af van deze lokale hydrodynamische omstandigheden rond het lozingspunt en het dichtheidsverschil van de lozingspluim met het omgevingswater. Verwacht wordt dat de warmtelozingspluim zich zal verspreiden nabij het wateroppervlak (vanwege het drijfvermogen) voordat grootschaligere hydrodynamische condities ervoor zorgen dat de pluim zich mengt of warmte-uitwisseling met de atmosfeer ervoor zorgt dat de lozingspluim afkoelt.

Als het Borssele 2-lozingspunt in de Westerschelde wordt geplaatst, bepalen voornamelijk de getijstromingscondities en de lozingsconfiguratie de verspreiding en menging van de pluim. Figuur 4.3 toont de typische temperatuurstijging aan de oppervlakte onder eb- en vloedomstandigheden voor Scenario 1 (open lozing). Door de hoge stroomsnelheden (meer dan 1,75 m/s) worden de pluimen in NW-ZO richting verspreid, waarbij in hoofdlijnen de geometrie van de Westerschelde wordt gevolgd. Deze hoge stroomsnelheden en snelheidsverschillen zorgen ervoor dat de warmtepluim zich snel mengt met het omgevingswater. Hogere temperatuurstijgingen worden meestal verwacht in de ondiepe gebieden rond het lozingspunt waar weinig omgevingswater en wat lagere stroomsnelheden beschikbaar zijn.

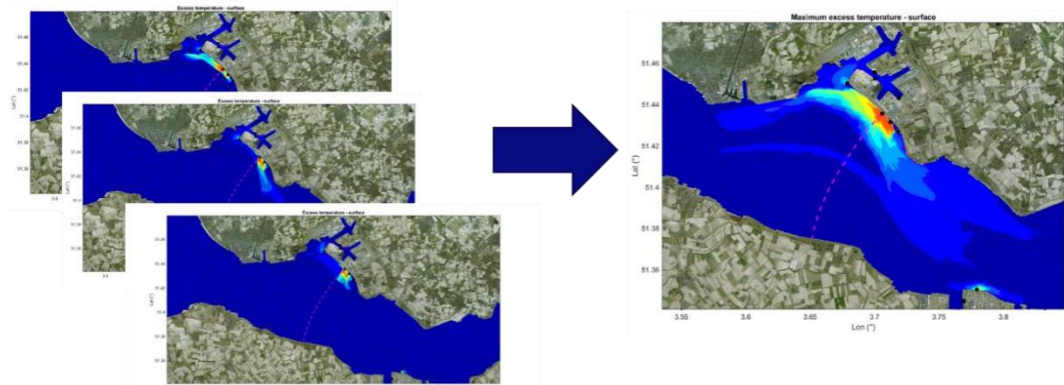
De verspreiding en menging van de lozingspluim van Borssele hangt ook af van het type inlaat- en lozingsstructuren. Meer informatie over de pluimverspreiding van elke beschouwde inlaat- en lozingsconfiguratie wordt geboden in paragraaf 4.4.



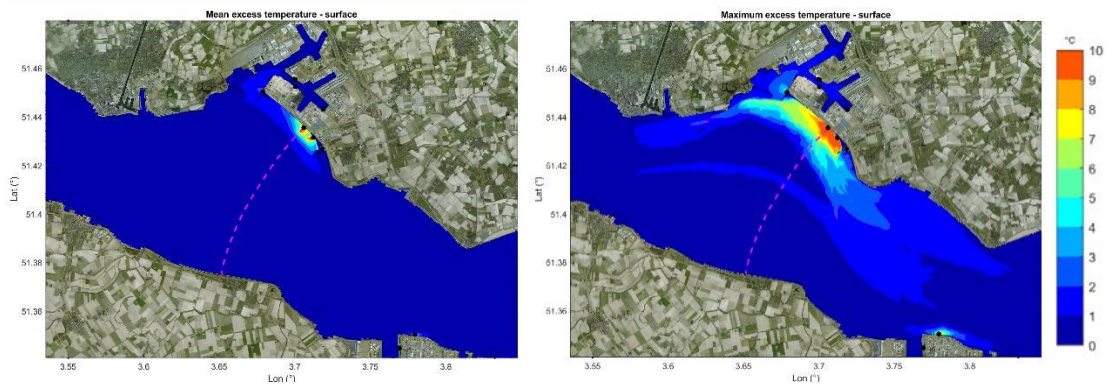
Figuur 4.3 Gesimuleerde temperatuurstijging resulterende uit de gecombineerde warmtelozingen (inclusief Borssele 2 in de Westerschelde, Scenario 1) voor eb en vloedgetijcondities.

4.3 Weergave van de modelresultaten

De modelresultaten zijn weergegeven in relatie tot de thermische milieucriteria. De gemiddelde en maximale reikwijdte (voetafdrukken) van de temperatuurstijging zijn voor elke simulatie gegenereerd om de gecombineerde pluimverspreiding voor de bestaande lozingen (basisscenario) en de koelwaterlozing van Borssele 2 te visualiseren. Deze voetafdrukken tonen de temperatuurstijging boven de achtergrondtemperatuur als gevolg alle lozingen in het gebied. Deze voetafdrukken zijn geen momentane modelresultaten van de pluimverspreiding, maar een combinatie van 672 (halfuurlijks interval gedurende 14 dagen) afzonderlijke modelresultaten, zie Figuur 4.4. Figuur 4.5 toont het verschil tussen een gemiddelde en een maximale temperatuurvoetafdruk.

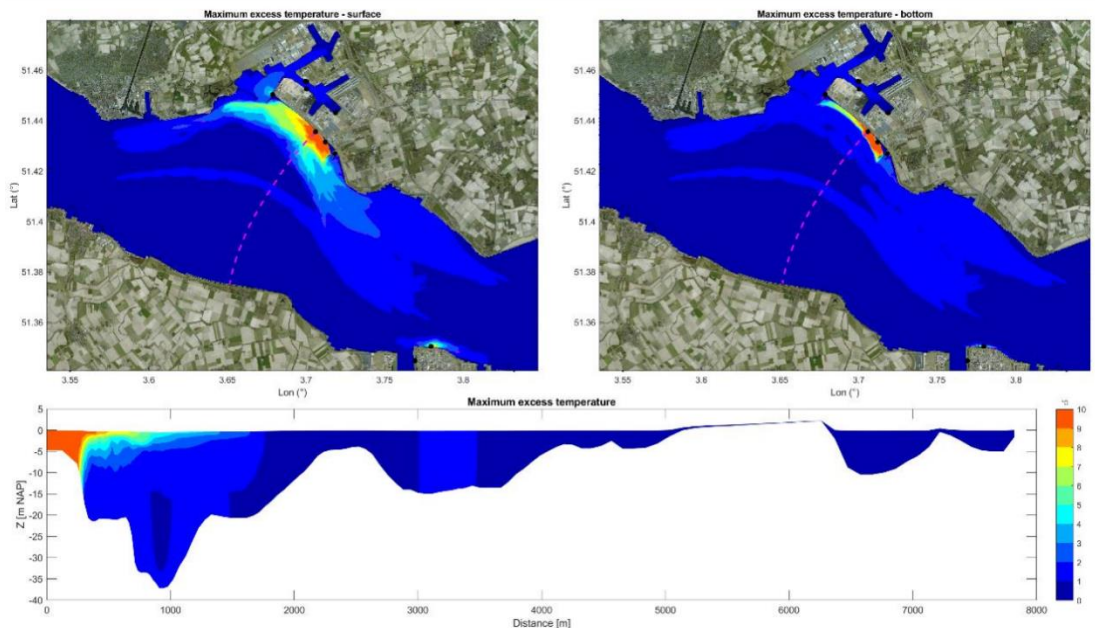


Figuur 4.4 Visualisatie van de maximale voetafdruk gegenereerd uit momentane modelresultaten.



Figuur 4.5 Gemiddelde (links) en maximale (rechts) voetafdruk van de oppervlaktetemperatuurstijging gegenereerd uit momentane modelresultaten.

De voetafdrukken zijn gegenereerd voor dichtbij het wateroppervlak en dichtbij de bodem voor een duidelijk beeld van de driedimensionale pluimverspreiding. Bovendien is een dwarsdoorsnede van de Westerschelde gemaakt waarvoor de gemiddelde en maximale temperatuurstijging is afgeleid uit de modelresultaten om de driedimensionale verspreiding van de pluim verder weer te geven, zie Figuur 4.6. De gestippelde lijn in de kaarten toont de locatie van de dwarsdoorsnede. De zwarte stippen geven de inlaat- en lozingslocaties weer.



Figuur 4.6 Gesimuleerde maximale temperatuurstijging door de gecombineerde warmtelozingen (Scenario 1).

CIW mengzone-criterium

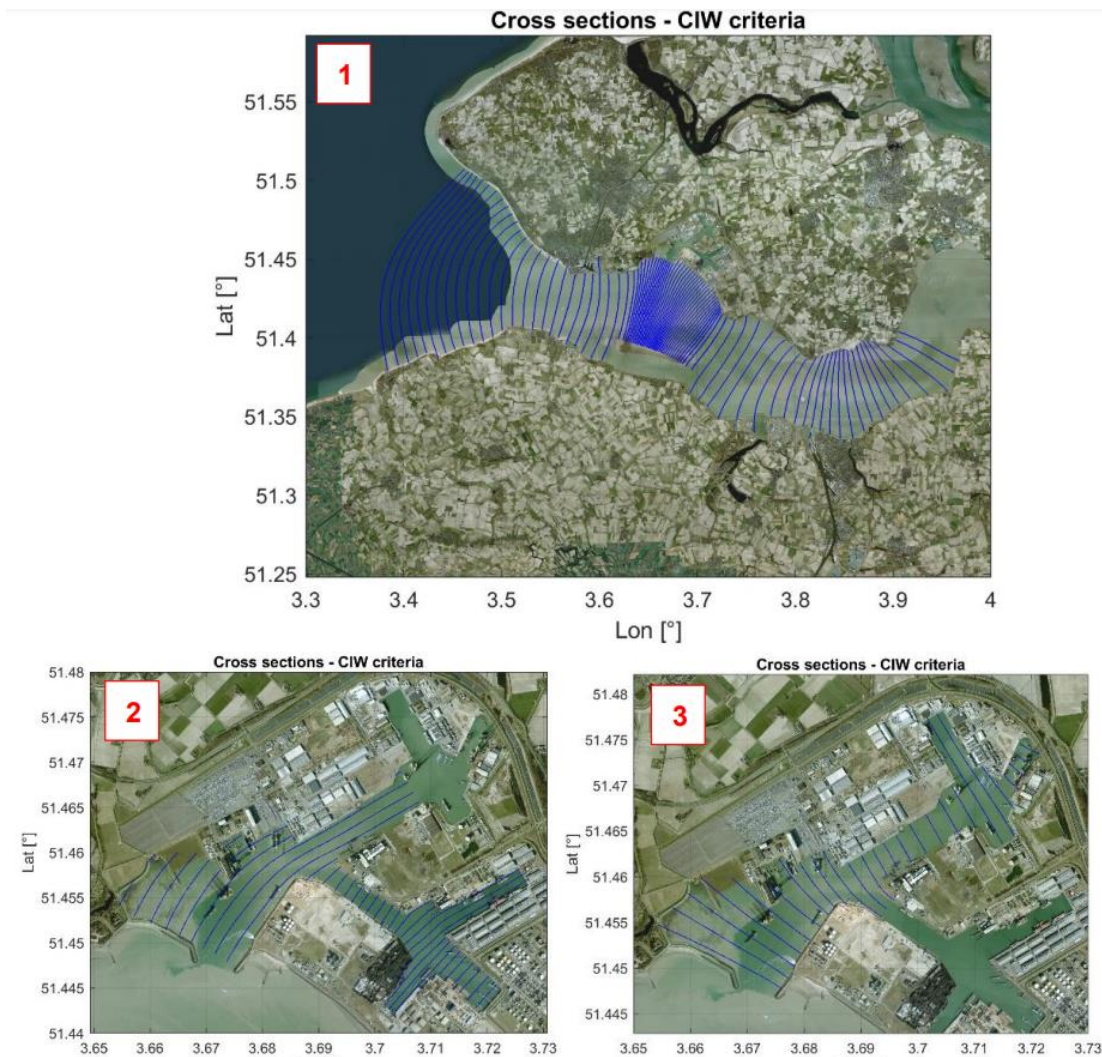
Om te voldoen aan de criteria van de CIW 2004 omtrent de mengzone, moet het percentage dat de mengzone bedraagt ten opzichte van de dwarsdoorsnede (Westerschelde $T > 25^{\circ}\text{C}$, getijhaven $T > 30^{\circ}\text{C}$) worden bepaald. Het CIW-criterium specificceert niet expliciet welke dwarsdoorsnede moet worden gebruikt. Voor de huidige analyse worden daarom alle roosterlijnen van het Delft3D-model als dwarsdoorsneden gebruikt. Dit staat ruwweg loodrecht op de as van de lozing. De dwarsdoorsneden zijn weergegeven in Figuur 4.7. Drie verschillende delen van het modelrooster worden gebruikt: 1) Dwarsdoorsnede 1 met dwarsdoorsneden voornamelijk in NZ-richting in de Westerschelde, 2)

Dwarsdoorsnede 2 met NO-ZW dwarsdoorsneden in het havengebied en 3) Dwarsdoorsnede 3 met NW-ZO dwarsdoorsneden in het havengebied. Elke figuur toont de 10e rasterlijn van het modelraster, echter worden in de analyse alle modelrasterlijnen gebruikt. Delen van dwarsdoorsneden die door eilanden of droge gebieden worden gescheiden, zijn uit de totale dwarsdoorsnede weggelaten.

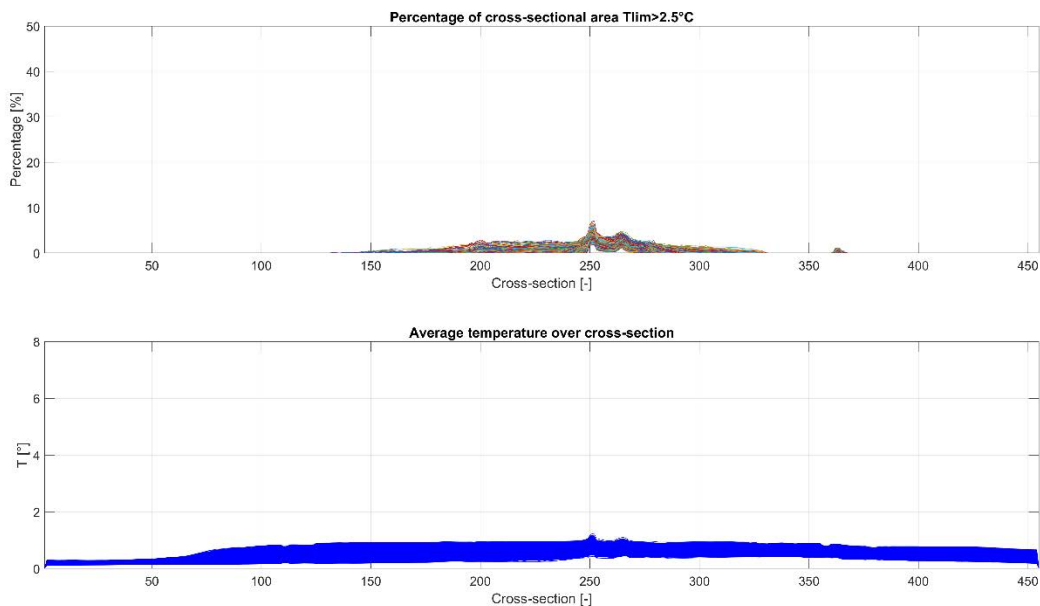
Voor elke simulatie, elke resultaat-tijdstap en elke doorsnede is het percentage van de doorsnede dat de mengzone beslaat, berekend. Deze resultaten zijn als lijnen weergegeven in Figuur 4.8 (boven). Om de mengzone af te leiden uit de modelresultaten is de achtergrondtemperatuur afgeleid in paragraaf 2.3 ($22,5\text{ °C}$) afgetrokken van de kritische drempelwaarde voor de mengzone (Westerschelde $25\text{ °C} - 22,5\text{ °C} = 2,5\text{ °C}$, getijhaven $30\text{ °C} - 22,5\text{ °C} = 7,5\text{ °C}$). De berekende temperatuurstijging is vervolgens vergeleken met deze waarden voor temperatuurstijging om te bepalen welke percentages van de doorsnede deze waarde overschrijden.

CIW algemeen temperatuurstijgingscriterium

De criteria van CIW 2004 stellen ook dat de gemiddelde temperatuur van het waterlichaam niet meer dan 2 °C mag stijgen en/of boven 25 °C mag stijgen. De gemiddelde temperatuurstijging van de dwarsdoorsnede is hier als representatief voor de gemiddelde temperatuurstijging beschouwd. De resultaten zijn weergegeven aan de hand van de mengzonecriteria met de gemiddelde temperatuurstijging per doorsnede, zie Figuur 4.8 (onder).



Figuur 4.7 Overzicht van de doorsneden (blauwe lijnen) toegepast voor de CIW 2004 lozingscriteria.



Figuur 4.8 Voorbeeldweergave van modelresultaten in verhouding tot de milieucriteria.

4.4 Modelresultaten

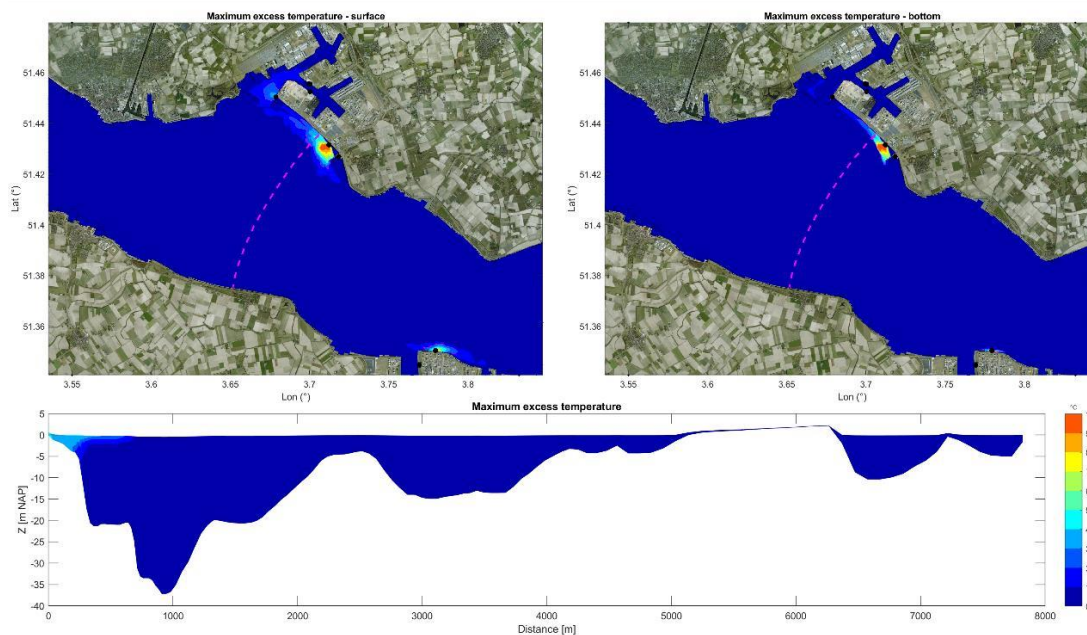
De modelresultaten zijn weergegeven voor verschillende Borssele 2 inlaat- en lozingsconfiguraties, warmtelozingscapaciteiten, lozingskarakteristieken en het gebruik van extra constructies. In Bijlage A wordt een volledig overzicht gegeven van het recirculatiepotentieel voor alle simulaties en inlaten. In Bijlage B en C worden de gemiddelde en maximale temperatuurvoetafdrukken van elke simulatie weergegeven. In Bijlage D worden de modelresultaten weergegeven in relatie tot de CIW-criteria voor de mengzone en de gemiddelde temperatuurstijging.

4.4.1 Inlaat- en lozingsconfiguratie Borssele 2

In deze paragraaf worden de modelresultaten voor de verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties vergeleken. Voor een gelijke vergelijking is voor alle configuraties in deze paragraaf een totale warmtelozingscapaciteit van 6000 MW, een lozingsdebiet van 159,5 m³/s en een temperatuurstijging van +9°C tussen het inlaat- en lozingspunt gebruikt. Om het aantal figuren in het rapport te beperken, worden de meest relevante gegevens weergegeven (d.w.z. de voetafdrukken van de maximale temperatuurstijging, het percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat en de gemiddelde temperatuurstijging voor de relevante dwarsdoorsneden). Een volledig overzicht van de modelresultaten wordt in de bijlage weergegeven.

4.4.1.1 Configuratie 0 (Scenario 0)

Er is een simulatie uitgevoerd met alleen de huidige lozings in het Sloegebied, dus zonder de nieuwe lozing in Borssele 2. Deze simulatie is uitgevoerd om onderscheid te kunnen maken tussen de bijdrage van de bestaande lozings en het nieuwe Borssele 2 lozing, aan de gecombineerde pluimverspreiding en recirculatie. Figuur 4.9 toont de gesimuleerde maximale temperatuurstijging in de voetafdruk als gevolg van de bestaande lozings.

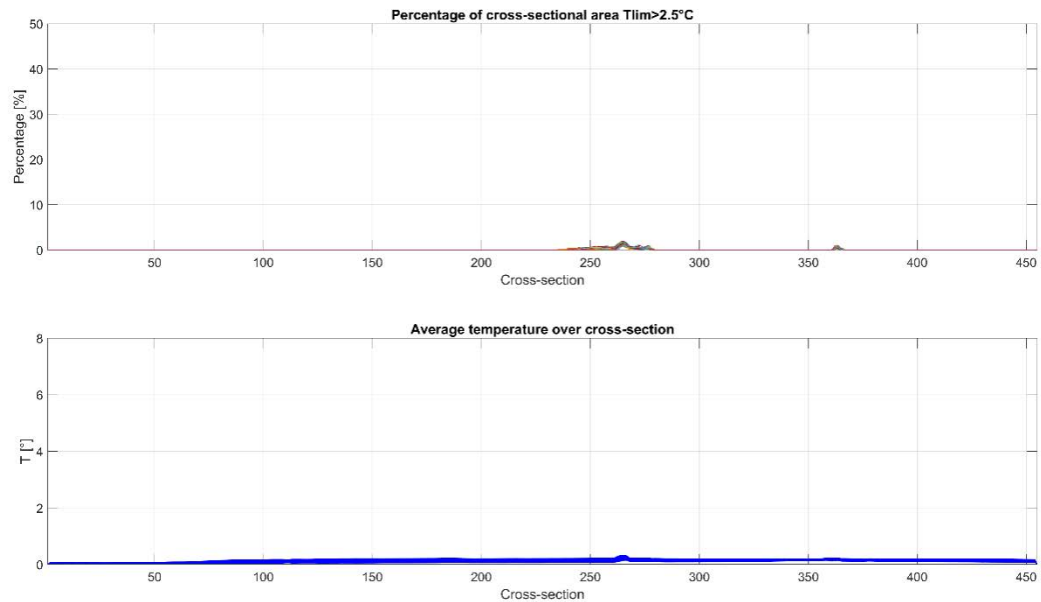


Figuur 4.9 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozings (Scenario 0).

Figuur 4.9 laat zien dat de maximale temperatuurstijging door de bestaande warmtelozings het grootst is rond het EPZ-lozingspunt.

Het EPZ lozingspunt heeft de hoogste warmtelozingscapaciteit van de 4 bestaande lozingspunten en loost in een relatief ondiep gebied waar beperkte menging optreedt. Door de sterke getijstromingen verspreidt de EPZ-pluim zich voornamelijk langs de kade. Minder uitgesproken, maar nog steeds zichtbaar in de maximale voetafdruk is de warmtelozing van de Sloecentrale. Deze lozing bedraagt ongeveer de helft van de thermische capaciteit van de EPZ lozing. Dit lozingspunt van de Sloecentrale bevindt zich bij de ingang van de Sloehaven waar hogere stroomsnelheden voorkomen, die de menging van de pluim verhogen. Lozingen van Zalco BV (te klein) en Dow Benelux B.V. (te ver weg) verhogen de temperaturen in het Sloegebied niet substantieel.

Figuur 4.10 toont het percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat voor dwarsdoorsnede 1 (Westerschelde). Het maximale percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat, is minder dan 5% en ligt ruim onder de drempelwaarde van 25%. De gemiddelde temperatuurstijging over het dwarsdoorsnedegebied is ongeveer 0,5 °C.



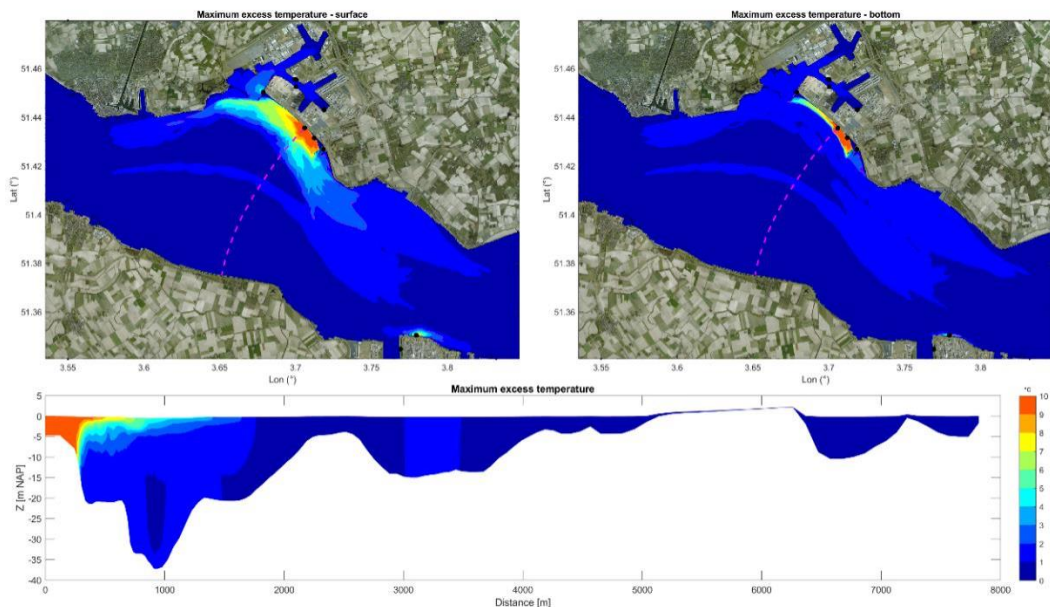
Figuur 4.10 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder).

Voor de bestaande situatie varieert de gemiddelde temperatuurstijging bij de bestaande inlaten tussen 0,2 °C en 0,4 °C. De maximale temperatuurstijging bij de bestaande inlaten (Zalco en Sloe Centrale) ligt in de orde van 0,6 °C.

4.4.1.2 Configuratie 1 (Scenario 1)

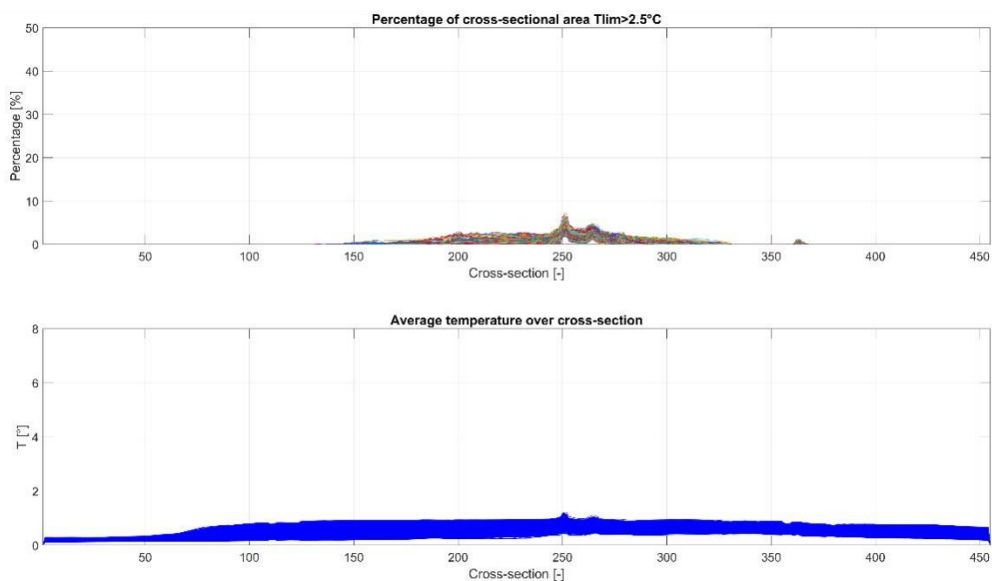
In Configuratie 1 voor de Borssele 2-centrale bevindt zich een open inlaatpunt in de Cittershaven en een open lozingspunt in de Westerschelde. Zowel het inlaatpunt als het lozingspunt liggen dicht bij de Borssele 2-projectlocatie, waarbij de geometrie van de haven directe recirculatie van het lozingspunt naar de inlaat verhindert. Wanneer het lozingspunt direct in de Westerschelde ligt, wordt een snelle vermenging van de lozingspluim verwacht vanwege de hoge stroomsnelheden. Het plaatsen van het inlaat of het lozing in de Cittershaven zal echter de stroomsnelheid in de haven verhogen, zie paragraaf 4.5. Figuur 4.11 toont de voetafdruk voor de maximale temperatuurstijging voor de gecombineerde pluimverspreiding van de bestaande lozingen en het nieuwe Borssele 2 Configuratie 1 lozing.

Voor Configuratie 1 zorgen de hoge stroomsnelheden rond de open lozing ervoor dat de pluim van de Borssele 2 lozing voornamelijk in NW- en ZO-richting wordt verspreid. Net als de EPZ lozing bevindt de open lozing zich in ondiep water, wat resulteert in beperkte initiële menging in de eerste tientallen meters en een hoge temperatuurstijging in dit gebied, tot 10 °C bovenop de achtergrondtemperatuur. Verder weg en in dieper water stratificeert en mengt de lozingspluim zich snel. Een maximale (oppervlakte)temperatuurstijging van 4 °C is berekend op afstanden tot 4 km langs de kade. De contour van een maximale (oppervlakte)temperatuurstijging van 1 °C is berekend op afstanden van 10 km langs de kade. Op de bodem wordt alleen in de ondiepe gebieden langs de kade rond het open lozingspunt een temperatuurstijging van meer dan 2 °C berekend voor de Borssele 2 lozing. De gemiddelde temperatuurstijging rond het lozingspunt voor Configuratie 1 is doorgaans lager vanwege het dynamische gedrag van de pluim, zie Bijlage A.



Figuur 4.11 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 1).

Figuur 4.12 toont het percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat en de gemiddelde temperatuur over de dwarsdoorsneden in de Westerschelde. Bij dwarsdoorsnede 250, gelegen bij het Borssele 2 open lozingspunt in Configuratie 1, is het maximale percentage dat de mengzone beslaat ongeveer 7% - 8%. Voor het havengebied wordt geen significante mengzone (temperatuurstijging > 7,5 °C) berekend en het door de mengzone bestreken gebied zal naar verwachting kleiner zijn dan 1%, zie Bijlage B. De gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsneden in de Westerschelde ligt doorgaans rond 1 °C.



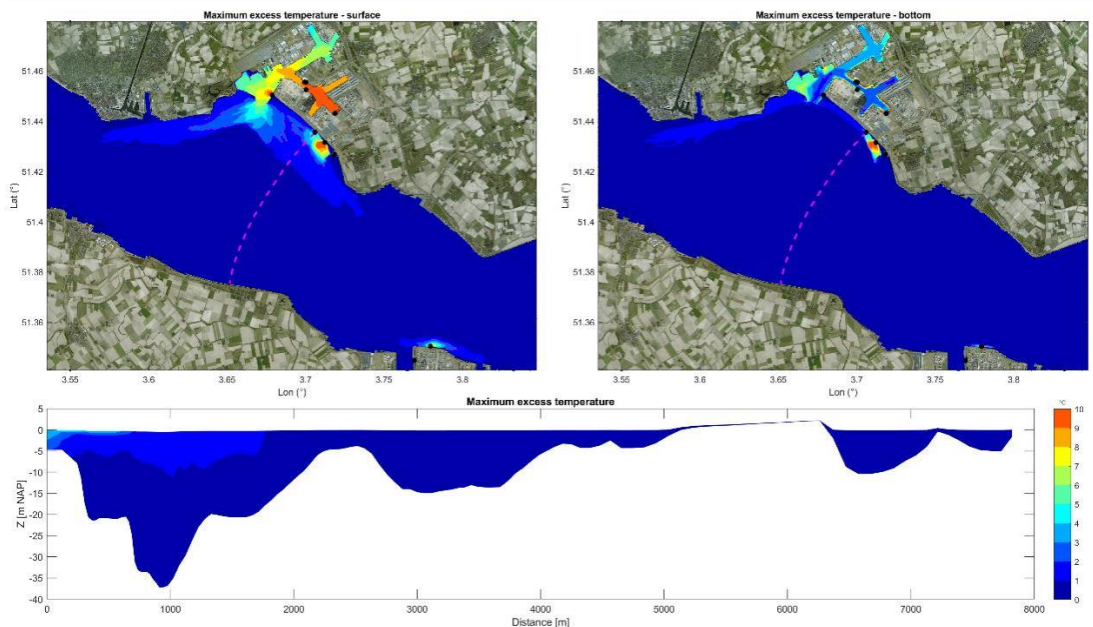
Figuur 4.12 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 1.

De gecombineerde recirculatie (d.w.z. temperatuurstijging op de inlaatlocatie door alle lozingen samen) naar de open inlaat van Borssele 2 in de Cittershaven wordt berekend op ongeveer 0,9 °C (gemiddeld) en 1 °C (maximaal). De open Borssele 2 lozing in de Westerschelde verhoogt de temperatuur bij de bestaande inlaten verder met ongeveer 0,3 °C tot 0,7 °C, met uitzondering van de EPZ-inlaat. Aangezien het open lozingspunt van Borssele 2 relatief dicht bij de EPZ ligt, zal de maximale temperatuurstijging boven de achtergrond naar verwachting toenemen van 0,4° (Scenario 0) tot 2,0 °C. De gemiddelde temperatuurstijging bij de EPZ-inlaat zal naar verwachting toenemen van 0,2 °C tot 0,7 °C.

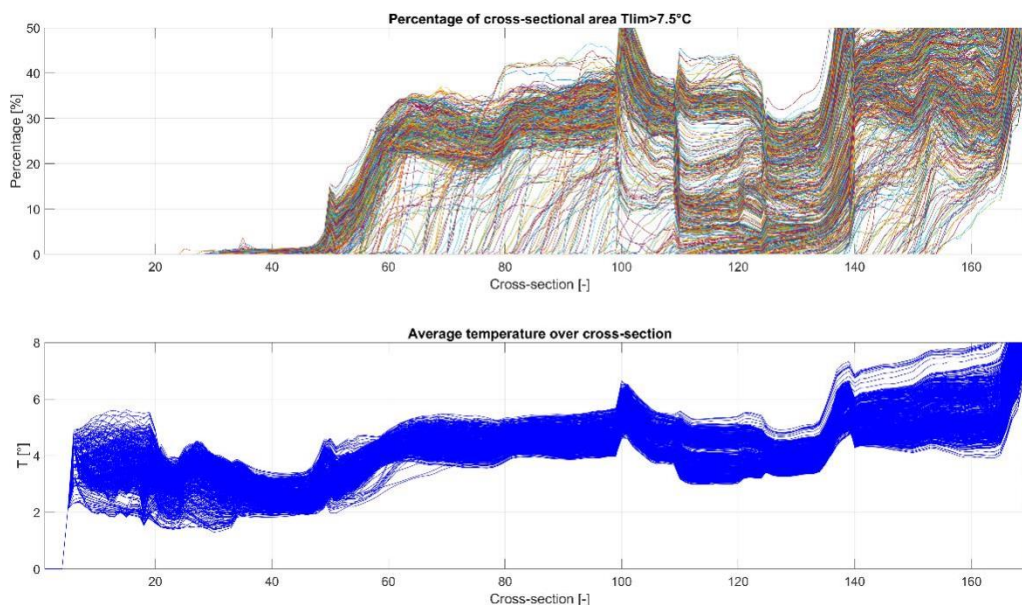
4.4.1.3 Configuratie 2 (Scenario 7)

In Configuratie 2 zijn de inlaat- en lozingslocaties verwisseld ten opzichte van Configuratie 1. Voor Configuratie 2 ligt het open inlaatpunt van Borssele 2 in de Westerschelde en het open lozingspunt in de Cittershaven. Dit scenario is voornamelijk beschouwd als een haalbaarheids- en gevoeligheidsonderzoek en het belangrijkste idee achter een lozing in de Cittershaven is om de mengzone te beperken tot het havengebied en geen significante temperatuurveranderingen te creëren door de lozing van Borssele 2 in de Westerschelde. Figuur 4.13 geeft de gesimuleerde maximale temperatuurvoetafdruk voor Configuratie 2 (Scenario 7).

Figuur 4.13 laat inderdaad zien dat de maximale temperatuurstijging als gevolg van de Borssele 2 lozing in de Cittershaven beperkt blijft tot het havengebied. De lage stroomcondities in de haven resulteren in weinig menging van de warmtelozing rond het lozingspunt en resulteren in een gelaagde warmtepluim. De maximale temperatuurstijging (aan het oppervlak) rond het lozingspunt bedraagt doorgaans tot 10 °C (d.w.z. de initiële lozingstemperatuur inclusief recirculatie). Indien de warmtepluim zich buiten de haveningang verspreidt, vindt er een snelle vermenging plaats vanwege de hoge getijstrooming. In ondiepe gebieden in het havengebied stijgt de temperatuur nabij de bodem met meer dan 3 °C.



Figuur 4.13 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 2).



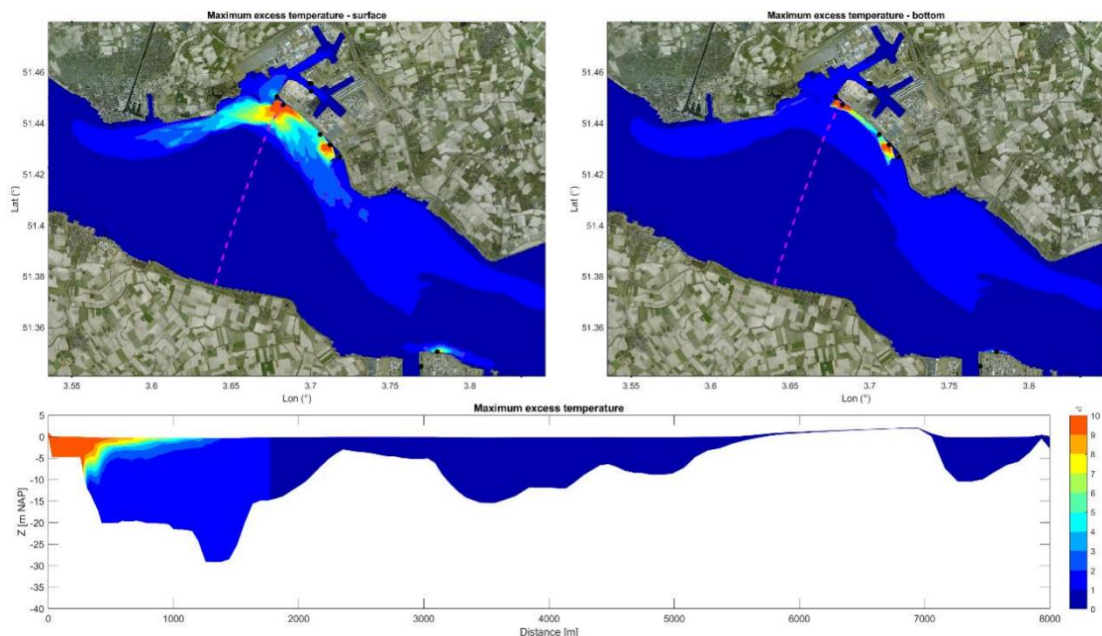
Figuur 4.14 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Haven) Configuratie 2.

Figuur 4.14 toont het percentage van de totale dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat (temperatuurstijging > 7,5°C) voor het havengebied. Dit percentage ligt ruim boven de drempelwaarde van 25% van de CIW 2004-criteria voor de omvang van de mengzone als doorsnede. Bovendien overschrijdt de gemiddelde temperatuur van de dwarsdoorsnede ruimschoots de drempelwaarde van 2°C van de CIW 2004-criteria voor de gemiddelde temperatuurstijging.

De inlaatlocatie van het Borssele 2 in Configuratie 2 ligt in de Westerschelde en ver weg van grote invloeden van het Borssele 2 lozingspunt. Aangezien het inlaatpunt in deze configuratie dicht bij het EPZ-lozingspunt ligt, is de gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijging boven de achtergrondtemperatuur bij de inlaat op ongeveer 0,8 °C en de maximale temperatuurstijging boven de achtergrondtemperatuur is in de orde van 2,6 °C. Een belangrijk aspect van deze configuratie is ook de invloed van het Borssele 2-lozingspunt op de temperaturen bij andere bestaande inlaatpunten. Er wordt verwacht dat een Borssele 2 lozingspunt in de Cittershaven de temperatuur bij het inlaatpunt van Zalco BV en de SloeCentrale BV zal verhogen met ongeveer 5 °C tot 6 °C tot een maximale verhoging van ongeveer 8 °C boven de achtergrondtemperatuur.

4.4.1.4 Configuratie 3 (Scenario 8)

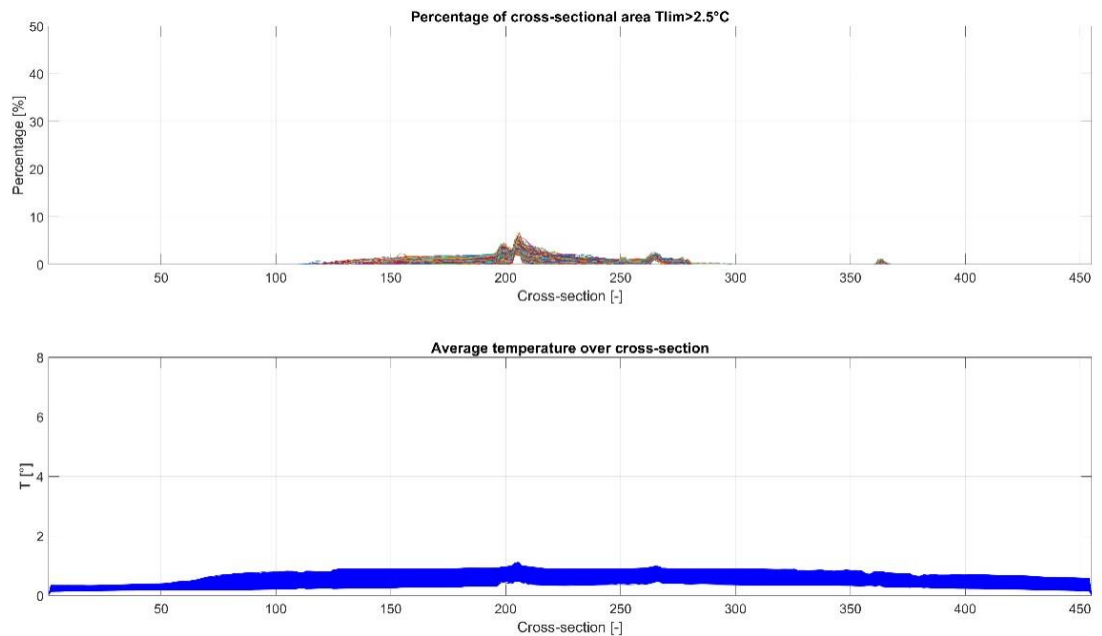
In Configuratie 3 liggen de inlaat en de lozingspunten van Borssele 2 in de Westerschelde, maar zijn deze horizontaal gescheiden door het lozingspunt dicht bij de ingang van de Sloehaven en op 2,5 km afstand van het inlaatpunt te plaatsen. Bij deze lozingsoptie moet het koelwater meer dan 2,5 km via een kanaal of pijp worden getransporteerd voordat het wordt geloosd. In deze configuratie bevindt zich geen inlaat- of lozingspunt in het havengebied. Figuur 4.15 toont de gesimuleerde maximale temperatuurstijgingsvoetafdruk voor Configuratie 3.



Figuur 4.15 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 3).

De gesimuleerde verspreiding en vermenging van koelwater in Configuratie 3 lijkt erg op die in Configuratie 1. De initiële menging nabij het lozingspunt is laag vanwege het relatief ondiepe lozingsgebied. De lozingspluim is gelaagd (gestratificeerd) en verspreidt zich voornamelijk aan het oppervlak en langs de kade verder weg van het lozingspunt. Plaatselijk in de buurt van het lozingspunt en in de ondiepe gebieden langs de kade is de maximale temperatuurstijging bij de bodem meer dan 2°C. Verder leidt de lozingspluim niet tot een significante maximale temperatuurstijging in de Sloehaven. Dit komt doordat de lozingspluim zich tijdens eb in NW-richting vanaf het lozingspunt verspreidt, terwijl de eb tegelijkertijd een uitgaande stroming vanuit de Sloehaven creëert. Dit blijkt uit de recirculatie van warmte naar de Zalco- en Sloecentrale-inlaat. De temperatuurstijging op deze locaties is hetzelfde voor Configuratie 1 als Configuratie 3 (verschil $\leq 0,1^{\circ}\text{C}$).

Het gesimuleerde percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat komt ook sterk overeen met Configuratie 1 met een maximaal bedekkingspercentage rond 7 - 8%, zie Figuur 4.16. De gemiddelde temperatuur van de dwarsdoorsnede ligt ook ruim onder de 2 °C.



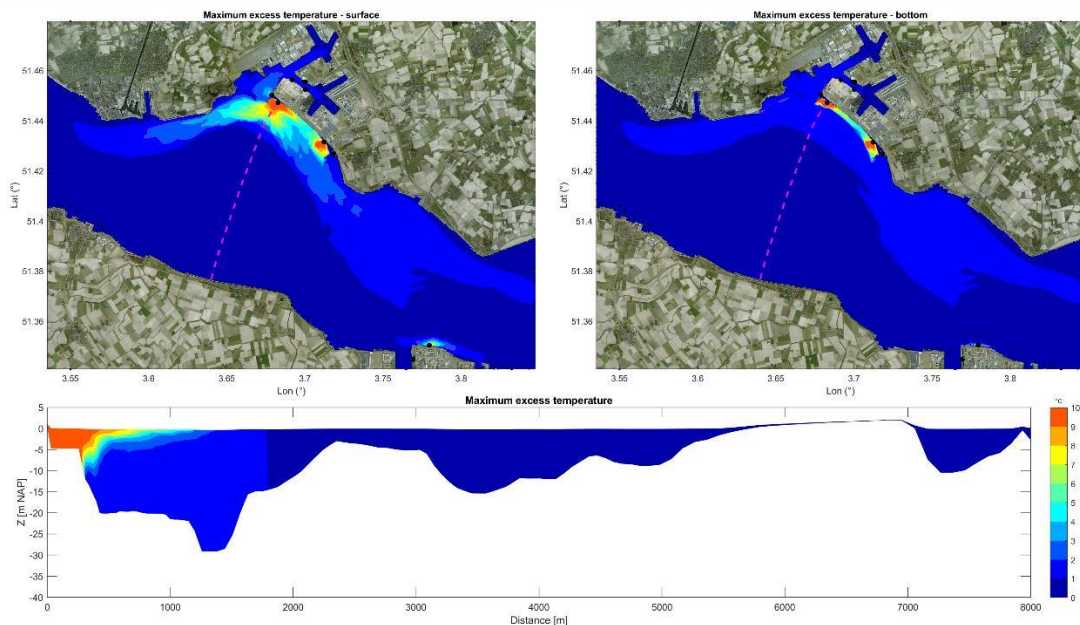
Figuur 4.16 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 3.

In Configuratie 3 bevindt de open inlaat van Borssele 2 zich tussen de lozingspunten van Borssele 2 en EPZ, waardoor deze gevoelig is voor recirculatie en verhoogde temperaturen bij het inlaatpunt. De gesimuleerde temperatuurstijging bij de inlaat van Borssele 2 voor Configuratie 3 ligt normaliter rond 1,1 °C, echter met een maximum van 3,4 °C. Dit is groter dan bijvoorbeeld bij Configuratie 1 met het inlaatpunt in het havengebied. Bij de bestaande inlaten neemt de temperatuur toe met 0,3 °C tot 0,7 °C. Aangezien het lozingspunt van Borssele 2 verder van het EPZ-inlaatpunt ligt, wordt de gesimuleerde maximale overtollige temperatuur bij dit inlaatpunt verlaagd van 2,0 °C (Configuratie 1) naar 1,2 °C.

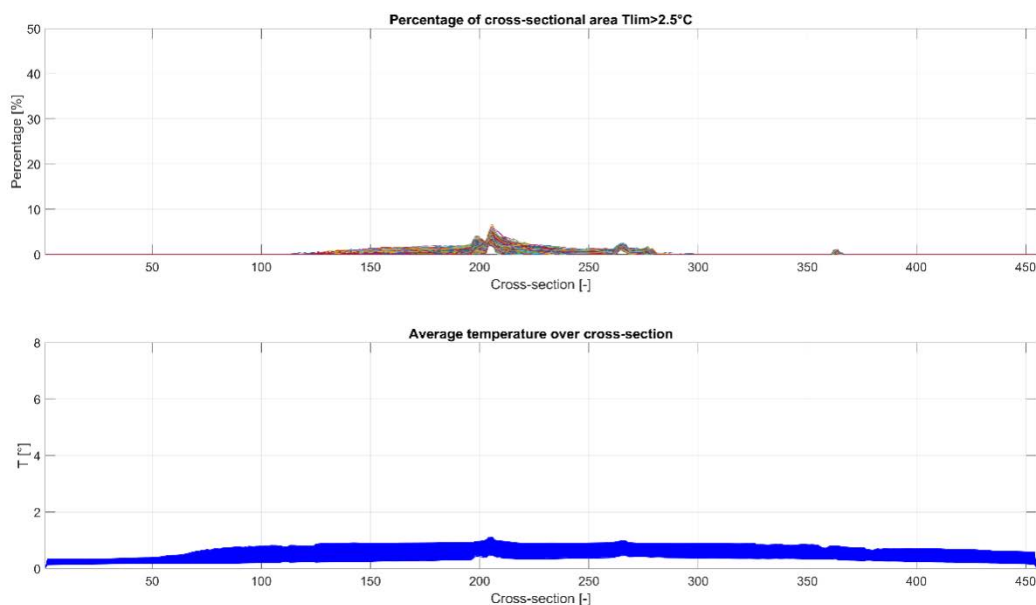
4.4.1.5 Configuratie 4 (Scenario 9)

Configuratie 4 lijkt erg op Configuratie 3 met hetzelfde type en dezelfde locatie van het lozingspunt van Borssele 2. In Configuratie 4 bevindt het open inlaatpunt zich halverwege de Cittershaven. Figuur 4.17 en Figuur 4.18 tonen de gesimuleerde voetafdruk van de maximale temperatuurstijging en de dekking van de dwarsdoorsnede door de mengzone.

Aangezien hetzelfde type lozingspunt en dezelfde locatie worden gebruikt als bij Configuratie 3, zijn de verspreiding van de pluim en de omvang van de mengzone bijna identiek voor Configuratie 4. Configuratie 4 heeft iets lagere maximumtemperaturen rond het lozingspunt in vergelijking met Configuratie 3. De belangrijkste reden hiervoor is de verminderde recirculatie omdat het inlaatpunt verder verwijderd is van het lozingspunt van Borssele 2 en EPZ, de twee grootste lozingspunten in het gebied.



Figuur 4.17 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 4).



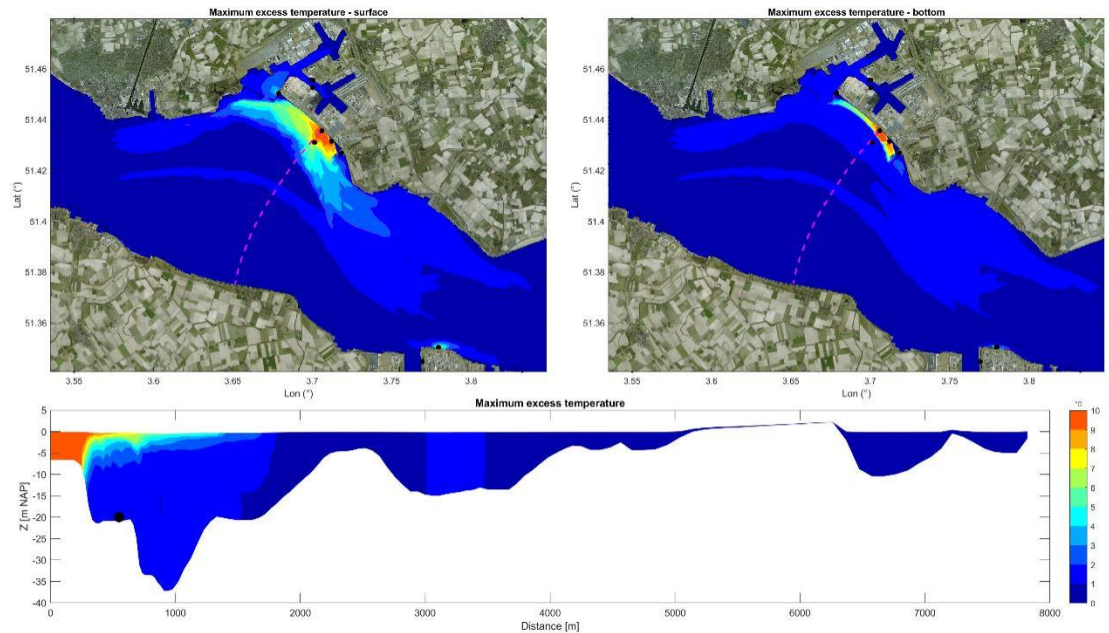
Figuur 4.18 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 4.

Het belangrijkste verschil tussen Configuratie 3 en Configuratie 4 is dat de inlaattemperaturen voor Configuratie 4 ongeveer 0,9 °C (gemiddeld) en 1,2 °C (maximaal) zijn. Deze waarden zijn in dezelfde orde als bij Configuratie 1, met de inlaat verderop in de Cittershaven.

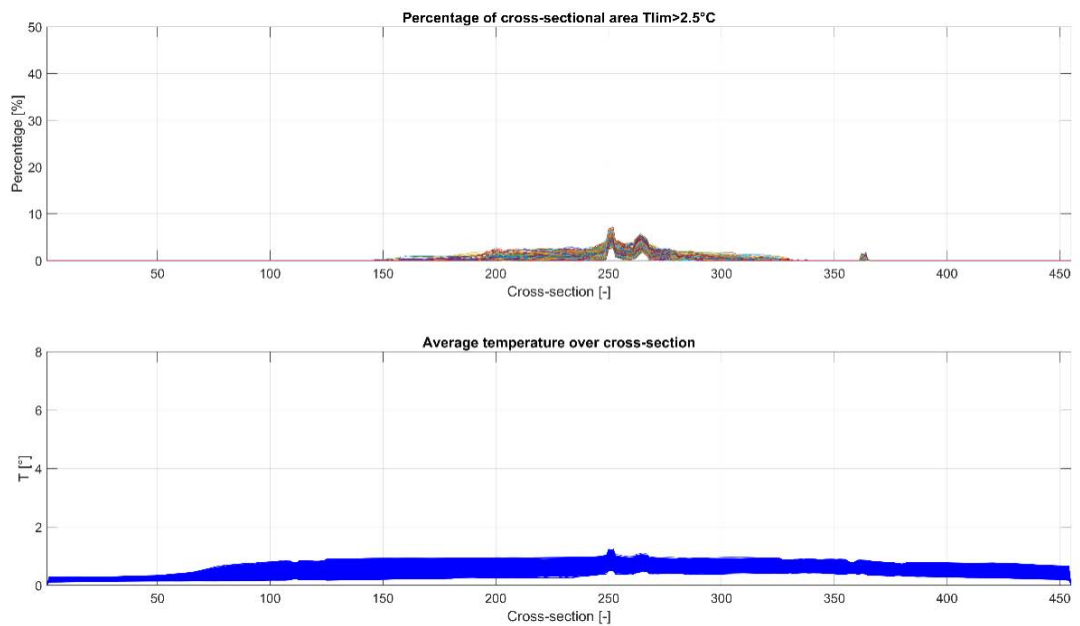
4.4.1.6 Configuratie 5 (Scenario 12)

Een alternatieve aanpak om het inlaat- en lozingspunt in de Westerschelde te plaatsen zonder aanzienlijke recirculatie, is het gebruik van een inlaatpunt onder water.

Uit de kust van projectlocatie Borssele 2 neemt de diepte toe tot -20 m NAP, zie Figuur 2.1 en de dwarsdoorsnede in Figuur 2.5. Configuratie 5 omvat een inlaatpunt onder water op -20 m diepte (inlaathoogte verondersteld rond -18,5 m NAP) en een open lozingspunt aan de kust nabij het inlaatpunt om de afstanden tot de projectlocatie Borssele 2 te minimaliseren, zie Figuur 2.5. Modelresultaten voor deze configuratie zijn weergegeven in Figuur 4.19 en Figuur 4.20.



Figuur 4.19 Gesimuleerde maximale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de Borssele 2 lozing en inlaat onder water (Configuratie 5).



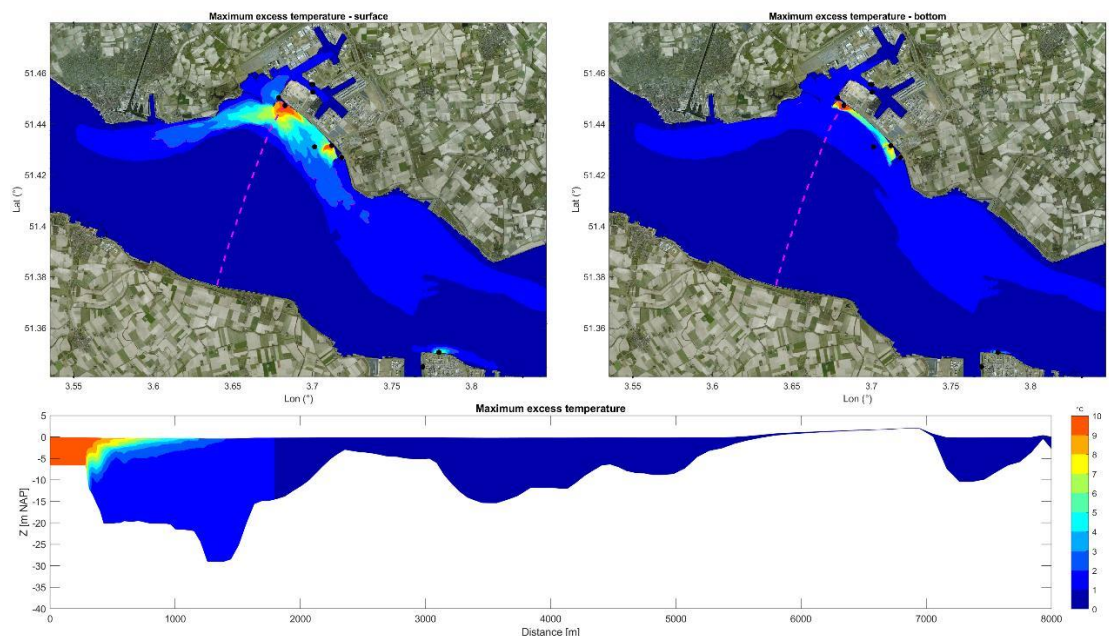
Figuur 4.20 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 5.

Het verschil tussen Configuratie 1 en Configuratie 5 is de locatie van de inlaat en het type inlaat. In Configuratie 5 zijn het inlaatpunt en het lozingspunt verticaal gescheiden. Door het drijfvermogen van de warmtelozing zal de warmtepluim aanvankelijk stratificeren. Wanneer de pluim in dieper water geraakt en de getijstrooming toeneemt, zal de warmtepluim zich snel van het lozingspunt (en de inlaat) verwijderen en zich meer verticaal mengen. Wanneer de getijstrooming van richting verandert, kan eerder geloosd en verticaal gemengd koelwater het inlaatpunt onder water bereiken. Voor Configuratie 5 is de gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijging boven de achtergrondtemperatuur bij de inlaat onder water 0,7 °C en de maximale temperatuurstijging ongeveer 1,0 °C. Deze verminderde recirculatie bij de inlaat van Borssele 2 in vergelijking met andere configuraties is ook van invloed op de maximale temperatuurstijging rond het lozingspunt. Door de verminderde recirculatie neemt ook de gesimuleerde maximale temperatuurstijging rond het lozingspunt af met ongeveer 0 - 0,5 °C. Voor alle beschouwde configuraties werd bij een inlaat onder water in de Westerschelde het laagste recirculatiepotentieel gesimuleerd met een gemiddelde temperatuurstijging van ongeveer 0,7 °C en een maximale stijging van 1,0 °C.

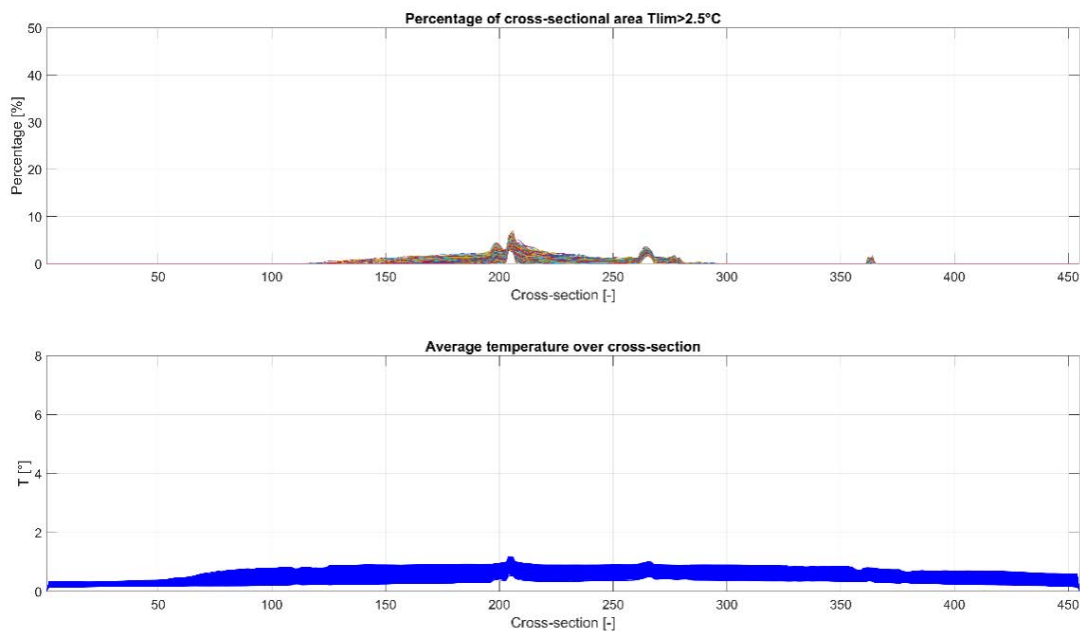
Het maximale gesimuleerde percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat, is ongeveer 7 - 8%. Geen significante verandering ten opzichte van andere configuraties met open lozingspunt in de Westerschelde. Dit percentage ligt ruim onder de kritische CIW 2004-criterium drempelwaarde van 25%. Evenzo worden er geen substantiële veranderingen verwacht in de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede als er een inlaat onder water wordt gebruikt voor het koelwatersysteem van Borssele 2.

4.4.1.7 Configuratie 6 (Scenario 14)

Configuratie 6 heeft dezelfde inlaat onder water als Configuratie 5. Het open lozingspunt van Borssele 2 ligt in de Westerschelde vlakbij de ingang van de Sloehaven, ongeveer 2,5 km ten noordwesten van het inlaatpunt. Dit scheidt het inlaatpunt en het lozingspunt zowel horizontaal als verticaal, wat de recirculatie van geloosd koelwater van het Borssele 2-lozingspunt naar het inlaatpunt mogelijk verder kan verminderen. Configuratie 6 heeft ook hetzelfde lozingspunt als Configuratie 3, maar met een inlaatpunt onder water. Figuur 4.25 en Figuur 4.26 tonen de gesimuleerde resultaten voor Configuratie 6.



Figuur 4.21 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 6).



Figuur 4.22 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 6.

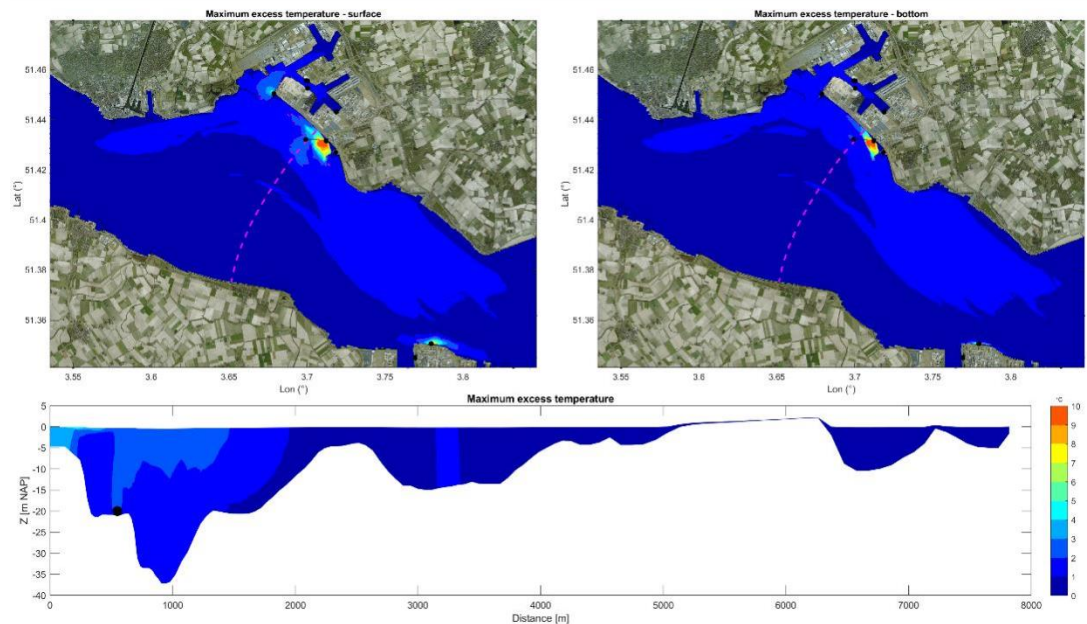
Het inlaatpunt onder water vermindert de recirculatie naar de inlaat van Borssele 2 tot ongeveer 0,7 °C (gemiddeld) en 1,2 °C (maximaal). De maximale temperatuurstijging bij de inlaat voor Configuratie 6 is iets (0,2 °C) hoger dan gesimuleerd voor Configuratie 5, terwijl de gemiddelde temperatuur onveranderd blijft door het open lozingspunt 2,5 km naar het noordwesten te verplaatsen. Dit wordt verklaard door het feit dat de lozingspluim alleen bij laag tij van de kust af stroomt. Tijdens deze omstandigheden blijft de warmtepluim gelaagd (gestratificeerd). Tijdens hoge getijdenstromingen verspreidt de warmtepluim zich langs de kade en mengt zich verticaal. Dit maakt Configuratie 6 gevoeliger voor recirculatie in vergelijking met Configuratie 5. Vergeleken met Configuratie 3 (d.w.z. open inlaatpunt, zelfde lozingslocatie) zijn de gesimuleerde gemiddelde en maximale recirculatie voor de inlaat van Borssele 2 met ongeveer 0,4 °C en 2,2 °C afgenomen. Dit toont aan dat de inlaat onder water een goede optie is om het recirculatiepotentieel indien nodig te verminderen.

De verminderde recirculatie vermindert de temperatuurstijging rond het lozingspunt enigszins, maar Figuur 4.25 en Figuur 4.26 laten marginale verschillen zien ten opzichte van andere configuraties.

4.4.1.8 Configuratie 7 (Scenario 16)

Configuratie 7 bestaat uit een diffusorlozing onder water in de Westerschelde en een open inlaatpunt in de Cittershaven. Het doel van een lozing onder water is om het geloosde koelwater snel te mengen met omgevingswater om de temperatuurstijging rond de lozing efficiënt te verminderen. Het ontwerp van een lozing onder water omvat verschillende parameters die de menging in het *near-field* beïnvloeden. Deze parameters omvatten de diepte van de lozing, de poortdiameter, de afvoersnelheid, het aantal poorten, de poortrichting, enz. Configuratie 7 beschouwt slechts één conceptuele ontwerpoptie voor een lozingspunt onder water. De in deze paragraaf weergegeven resultaten dienen daardoor slechts als een eerste indicatie van de pluimverspreiding en recirculatie van een diffusorlozing onder water.

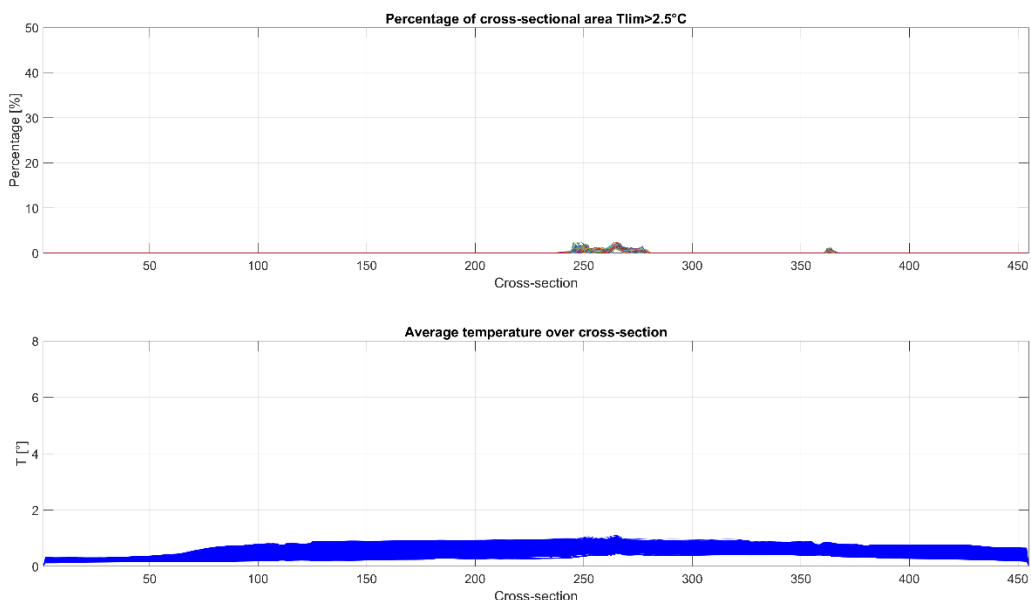
Figuur 4.23 toont de voetafdruk op de bodem en aan het oppervlak voor het Configuratie 7 lozingspunt onder water.



Figuur 4.23 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 7).

Figuur 4.23 laat zien dat bij een lozing onder water het geloosde koelwater snel mengt met omgevingswater. *Near-field* simulaties met CORMIX hebben aangetoond dat met de stroomcondities in de Westerschelde, de diffusor de lozingspluim zal verdunnen met een factor 5 tot 37 aan het einde van het *near-field*. De berekende maximale voetafdruk toont daarom slechts een temperatuurstijging van ongeveer 2 °C tot 3 °C rond het lozingspunt van Borssele 2. Verder weg op afstanden van meer dan 1 km wordt berekend dat de gecombineerde lozingspluim inclusief Borssele 2 de temperatuur niet met meer dan 2 °C verhoogt. Vergelijken met de configuraties met een open lozing in de Westerschelde, heeft de lozing onder water ook een kleinere impact op de temperatuurstijging aan de bodem in ondiepe gebieden. Bij een open lozing was de temperatuurstijging meestal meer dan 4 °C. Dit neemt aanzienlijk af bij een lozing onder water, tot een temperatuurstijging van minder dan 2 °C.

Figuur 4.24 toont het percentage van de totale dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat voor de Westerschelde. Deze figuur laat zien dat de optie met een lozing onder water resulteert in een zeer beperkte mengzone. Het typische percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat, is minder dan 5% en ligt ruim onder de CIW-2004 drempelwaarde van 25%. Deze dekking is ook aanzienlijk lager in vergelijking met de berekende mengzonedoorsnede voor een open lozing in de Westerschelde. De gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede is ongeveer 1 °C en komt sterk overeen met Configuratie 1 met een open lozingspunt, omdat dezelfde hoeveelheid warmte wordt geloosd en het gemiddelde voor de temperatuur vastgesteld over de volledige dwarsdoorsnede.



Figuur 4.24 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 7.

Net als voor de andere configuraties met het inlaatpunt van Borssele 2 in de Cittershaven, is de gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijging boven de achtergrond voor het inlaatpunt van Borssele 2 ongeveer $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. De maximale temperatuurstijging bij het inlaatpunt van Borssele 2 in de Cittershaven is ongeveer $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dit betekent dat het recirculatiepotentieel voor een inlaatpunt in de Cittershaven niet gevoelig is voor het type en de locatie van het Borssele 2-lozingspunt in de Westerschelde. Het effect van de Borssele 2 lozing onder water op andere inlaatpunten is vergelijkbaar met Configuratie 1, behalve voor het EPZ-inlaatpunt. Door de verhoogde menging in het *near-field* zal de maximale recirculatie naar het EPZ-inlaatpunt naar verwachting afnemen van $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Configuratie 1) naar $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Configuratie 7).

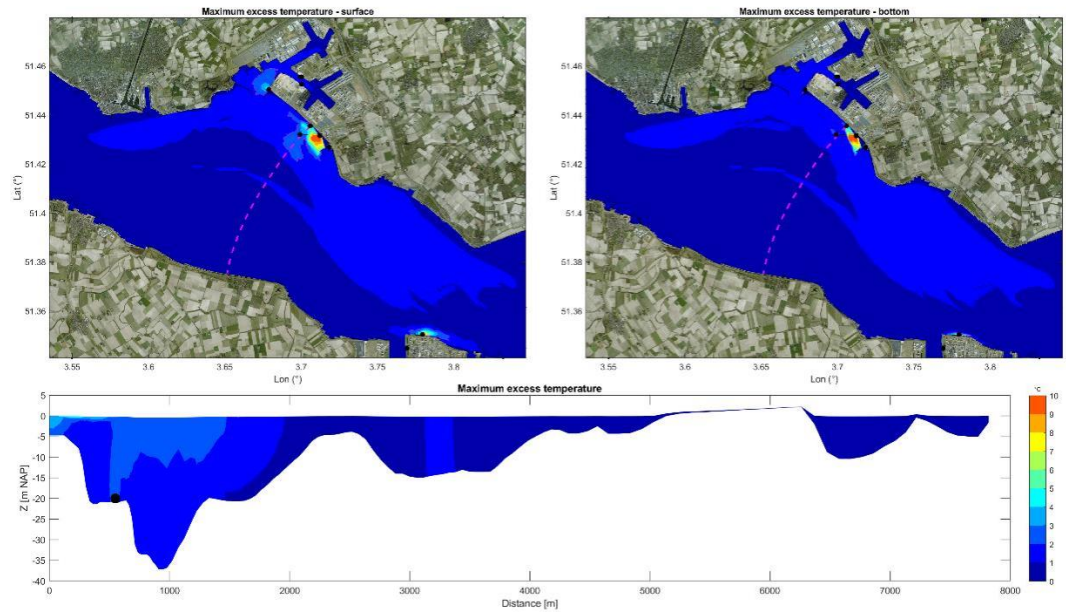
4.4.1.9 Configuratie 8 (Scenario 18)

Configuratie 8 lijkt op Configuratie 7 en heeft hetzelfde type lozingsdiffusor onder water. In Configuratie 8 wordt het inlaatpunt echter verplaatst naar de Westerschelde, zodat er zich geen inlaat- of lozingspunt in het havengebied bevindt.

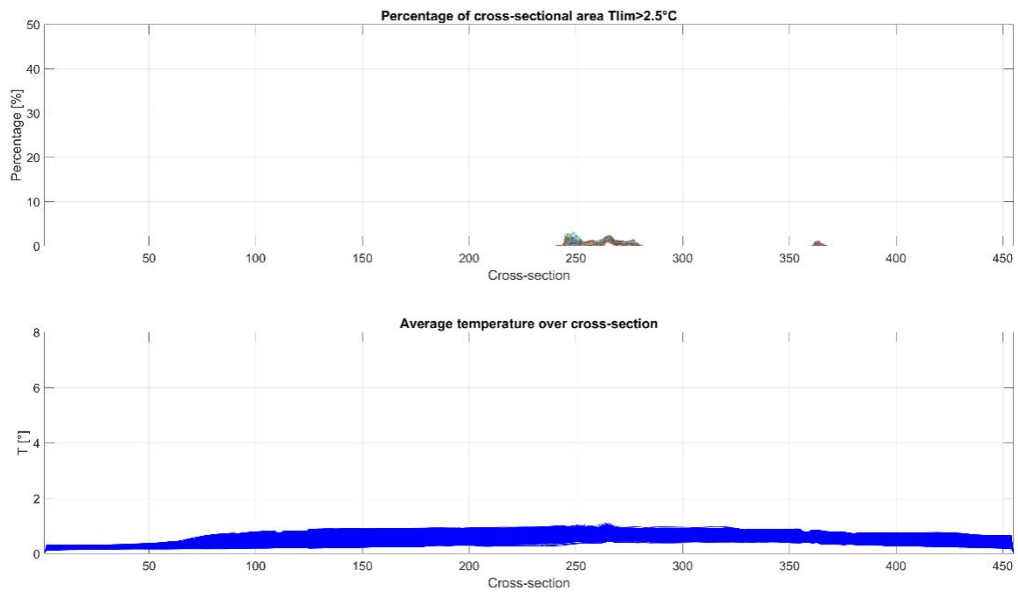
In vergelijking met een open inlaatpunt van de Borssele 2-centrale in de Cittershaven, is berekend dat voor een open inlaatpunt in de Westerschelde de temperatuurstijging bij de inlaat van Borssele 2 gemiddeld $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en maximaal $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ bedraagt. Ten tweede zou de verplaatsing van het inlaatpunt van de Borssele 2-centrale buiten de Cittershaven een positief effect hebben op de recirculatie naar de inlaatpunten van de Sloe Centrale en Zalco. De temperatuurstijgingen bij deze inlaatpunten zullen naar verwachting $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ kleiner zijn wanneer het Borssele 2-inlaatpunt niet in de Cittershaven wordt geplaatst.

Figuur 4.25 en Figuur 4.26 laten verder weinig verschil zien in de maximale voetafdrukken en de omvang van de mengzone vergeleken met Configuratie 7. Dit komt deels doordat eventuele verschillen in recirculatie ook verdund worden door de menging in het *near-field*.

Als de recirculatie bijvoorbeeld resulteert in een temperatuurstijging van 1 °C op het lozingspunt, dan wordt deze stijging aan het einde van het *near-field* ook met een factor 5-37 verdund. Dit resulteert in een extra temperatuurstijging aan het einde van de mengzone van slechts 0,03 °C tot 0,2 °C door recirculatie.



Figuur 4.25 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing (Configuratie 8).



Figuur 4.26 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 8.

4.4.2 **Verschillende lozingskarakteristieken van het Borssele 2 lozingspunt**

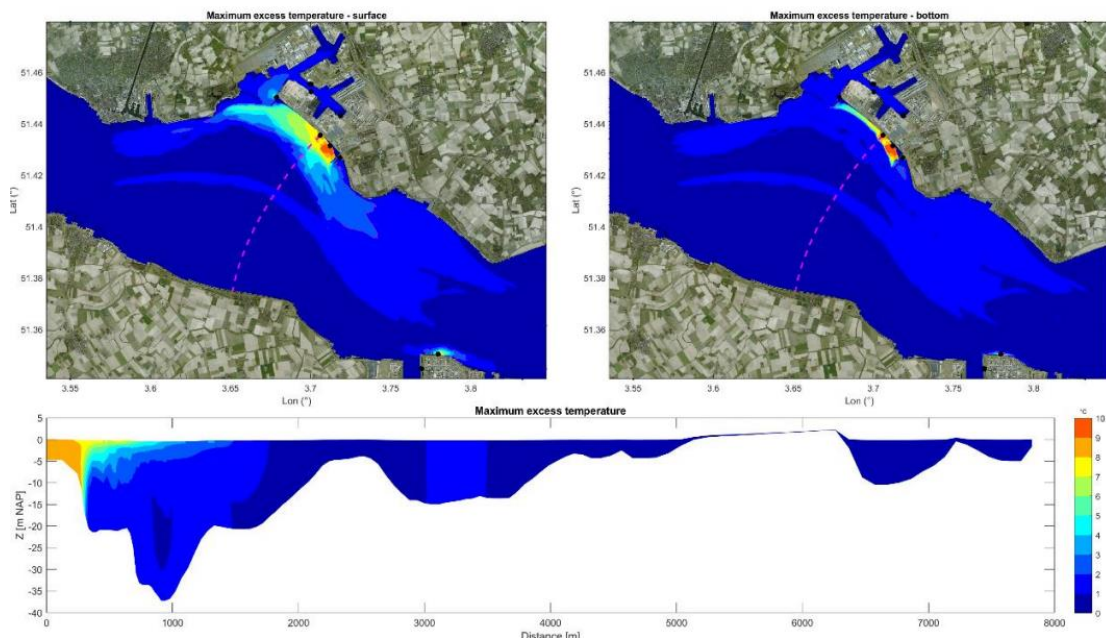
Naast het type en de locatie van de inlaat en uitlaat van Borssele 2, vormen de lozingskarakteristieken (d.w.z. het lozingsdebiet en de temperatuurstijging tussen inlaatpunt en lozingspunt) belangrijke ontwerpparameters voor de operationele omstandigheden van de centrale en de mogelijke effecten op het milieu. Voor een bepaalde thermische belasting resulteert een groter temperatuurverschil over de condensor in een lager lozingsdebiet en vice versa. Een koelwatersysteem met een lager debiet is gunstig met het oog op bijvoorbeeld de benodigde pompcapaciteit, de afmetingen van het inlaat- en lozingspunt, het drukverval in het systeem en inzuiging van ecologie in de inlaat. Een lozing met een hogere temperatuurstijging vereist echter ook een hogere menging om de watertemperatuurstijging rond het lozingspunt te beperken.

Om de invloed van de lozingskarakteristieken te berekenen, zijn simulaties uitgevoerd met verschillende combinaties van lozingsdebiet en temperatuurstijging. Al deze simulaties zijn identiek in thermische belasting (6000 MW). Zowel een open lozing als een lozing onder water zijn gesimuleerd.

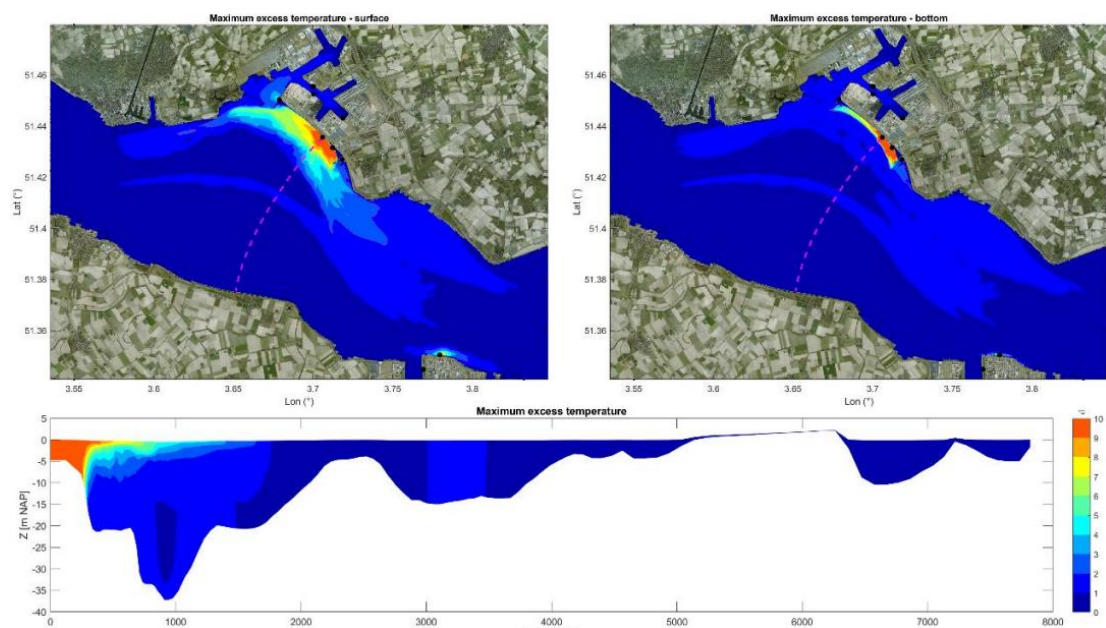
4.4.2.1 **Open lozing (Scenario 3 en 4)**

Simulaties zijn uitgevoerd met verschillende lozingskarakteristieken voor het inlaat- en uitlaatpunt van Configuratie 1 met een temperatuurstijging van +7 °C, +9 °C en +12 °C, met respectievelijk stroomsnelheden van 205 m³/s, 159.5 m³/s en 119,5 m³/s (in Configuratie 1 is het +9 °C Scenario gebruikt). Figuur 4.27 en Figuur 4.29 tonen de maximale gesimuleerde temperatuurstijging voor lozingsoptie 1 (+7°C) en lozingsoptie 3 (+12°C). Figuur 4.11 toonde ook al de maximale temperatuurstijging voor lozingsoptie 2 (+9°C), en is hier nogmaals opgenomen als Figuur 4.28 voor het leesgemak.

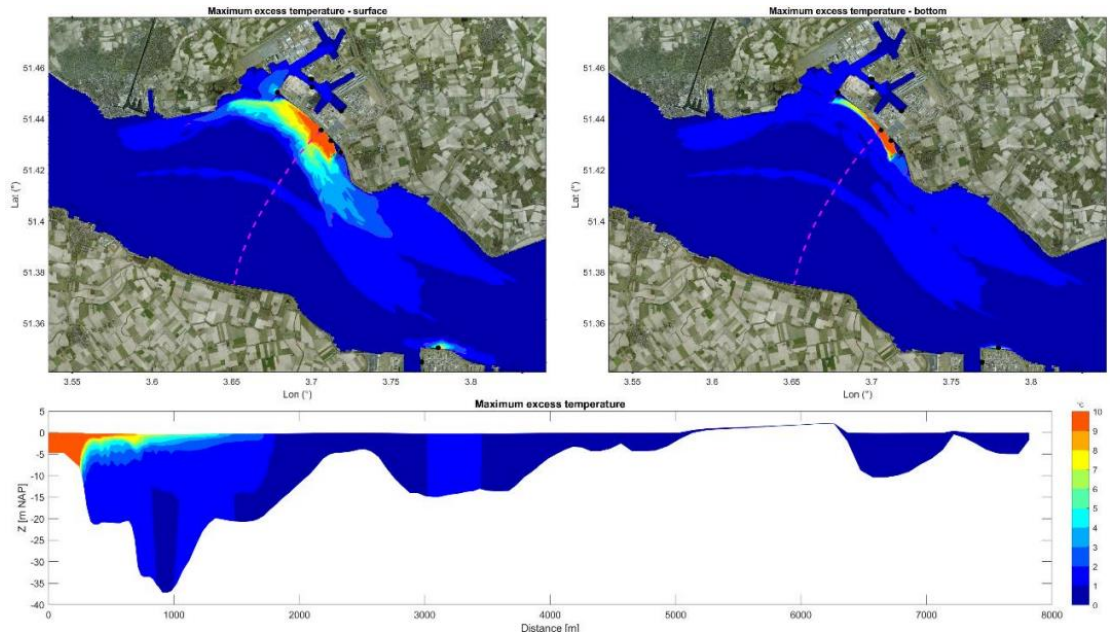
Deze figuren tonen het effect van de lozingskarakteristieken van Borssele 2 op de maximale temperatuurstijging rond het lozingspunt. De open lozing heeft beperkte menging in de ondiepe gebieden. In de eerste honderden meters vanaf de lozingsopening toont de lozingspluim weinig verdunning en is de temperatuurstijging rond de lozingsopening gelijk aan de temperatuur op het lozingspunt. Verder weg van het lozingspunt mengt het geloosde koelwater zich snel, en worden er weinig verschillen berekend in de temperatuurstijging door de Borssele 2-lozing. Daarom is de contour voor de maximale temperatuurstijging van +1 °C voor alle gevallen gelijk.



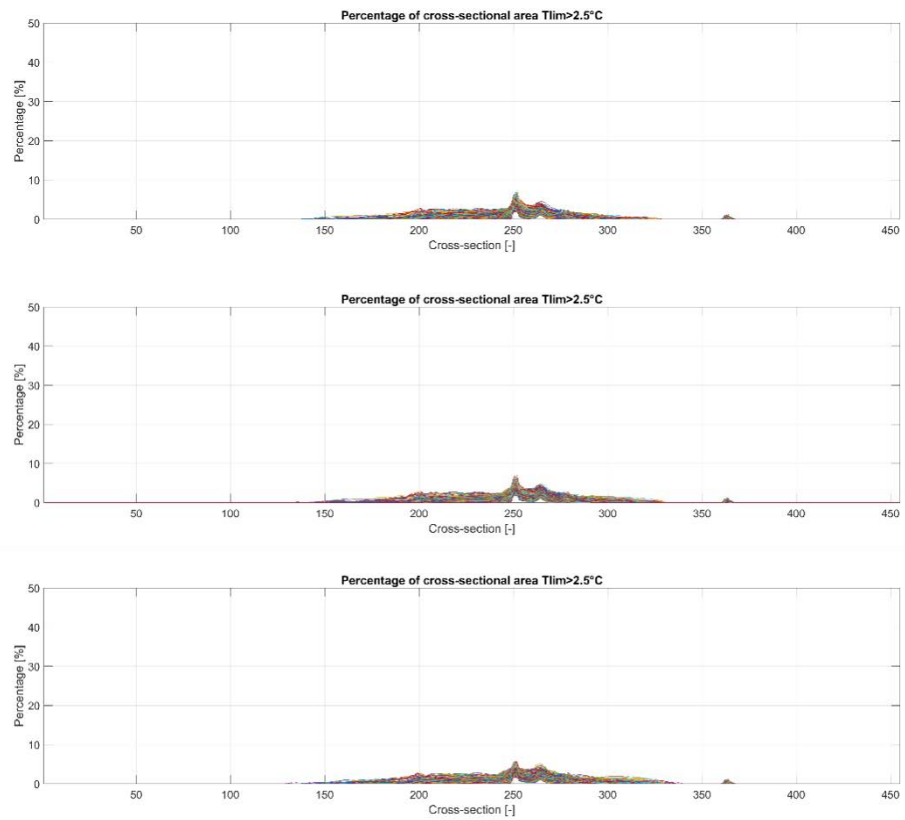
Figuur 4.27 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing. Lozingsoptie 1: lozing van 205 m³/s en een temperatuurstijging van +7°C.



Figuur 4.28 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing. Lozingsoptie 2: lozing van 159,5 m³/s en een temperatuurstijging van +9°C.



Figuur 4.29 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing. Lozingsoptie 3: lozing van 119,5 m³/s en een temperatuurstijging van +12°C.



Figuur 4.30 Gesimuleerd percentage van het doorsnedegebied bedekt door de mengzone voor Lozingsoptie 1 (boven), Lozingsoptie 2 (midden) en Lozingsoptie 3 (onder) voor Doorsnedegebied 1 (Westerschelde).

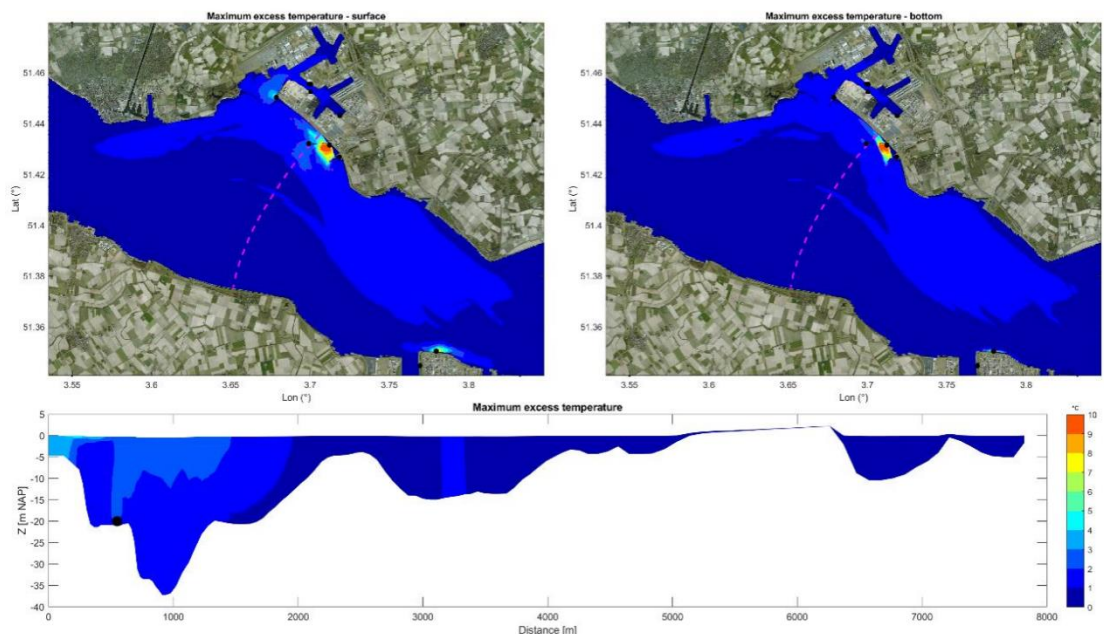
Figuur 4.30 toont het percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat voor Lozingsoptie 1 en Lozingsoptie 3. Aangezien de mengzone gedefinieerd is als de 25 °C-contour (of de +2,5 °C met een achtergrondtemperatuur van 22,5 °C), zou het veranderen van de lozingstemperatuur het percentage van de doorsnede dat door de mengzone wordt bedekt niet lineair veranderen.

Voor deze configuratie (Configuratie 1) wordt geen significante invloed van de lozingskarakteristieken op de recirculatie berekend.

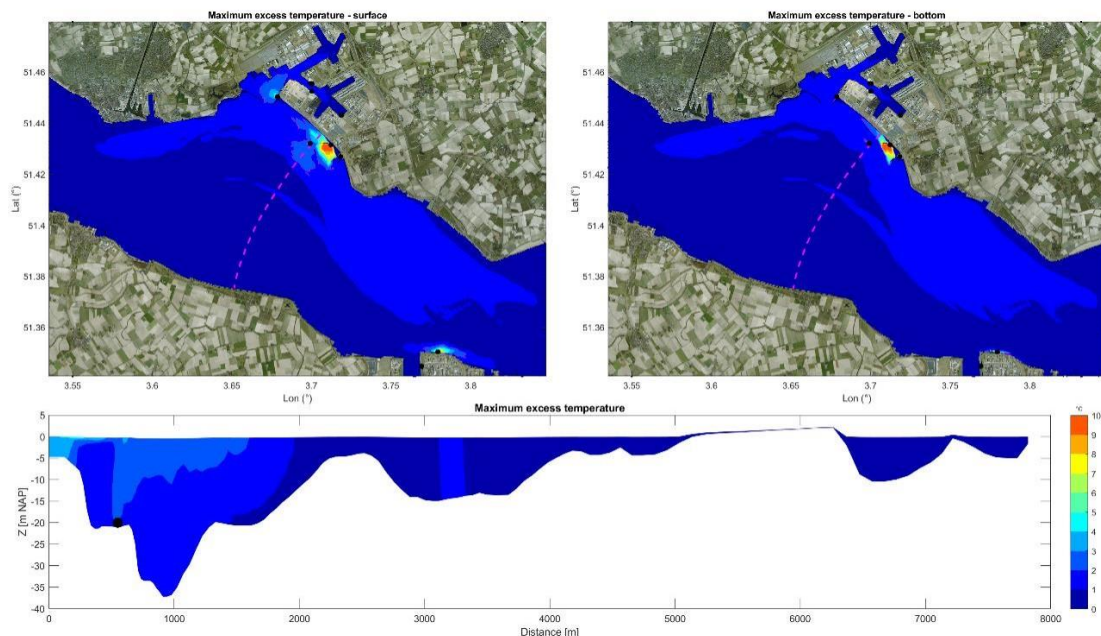
4.4.2.2 Lozing onder water (Scenario 17 en 19)

Vergelijkbare simulaties zijn uitgevoerd met verschillende lozingskarakteristieken voor Configuratie 7 en 8, beide met een lozing onder water voor de lozingen van Borssele 2. Een andere lozingsdebiet zou ofwel resulteren in een lagere uitstroomsnelheid van de diffusor, minder lozingspoorten of kleinere poortdiameters. In deze studie is ervoor gekozen om de poort te verkleinen en een vergelijkbare uitstroomsnelheid bij de diffusorpoort te behouden (en daarmee een vergelijkbare verdunning in het *near-field*). Alleen Lozingsoptie 3 is overwogen, omdat uit de analyse van het *near-field* bleek dat een hoge mate van menging van het geloosde koelwater kan worden bereikt met een diffusorlozing onder water. Diffusors zijn minder efficiënt in het lozen van grote hoeveelheden koelwater met een lagere temperatuurstijging.

Figuur 4.32 toont de maximale temperatuurstijgingsvoetafdruk voor Configuratie 7 en lozingsoptie 3. Vergeleken met Lozingsoptie 2 (Figuur 4.32) is er geen significant verschil in de maximale temperatuurvoetafdruk. De initiële menging van het lozingspunt onder water is zo groot dat het initiële verschil in lozingstemperatuur snel afneemt voordat het *far-field* wordt bereikt. Uit deze simulatie kan worden geconcludeerd dat hogere lozingstemperaturen en lagere debieten voor de Borssele 2-lozing niet resulteren in een aanzienlijk verhoogde temperatuur rond het lozingspunt wanneer een lozing onder water wordt toegepast. De diffusor moet verder worden geoptimaliseerd om te zorgen voor een goede initiële menging en een goed ontwerp onder verschillende bedrijfsomstandigheden.



Figuur 4.31 Gesimuleerde maximale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Lozingsoptie 2 en Configuratie 7).



Figuur 4.32 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Lozingsoptie 3 en Configuratie 7).

Er was geen substantiële verandering in zowel de omvang van de mengzone als het recirculatiepotentieel voor de gesimuleerde lozingsopties met verschillende initiële temperatuurstijgingen. Dit toont aan dat het gedrag van de Borssele 2-lozingspluim niet erg gevoelig is voor de beschouwde verschillende temperaturen in relatie tot de beschouwde temperatuurcriteria en indicatoren.

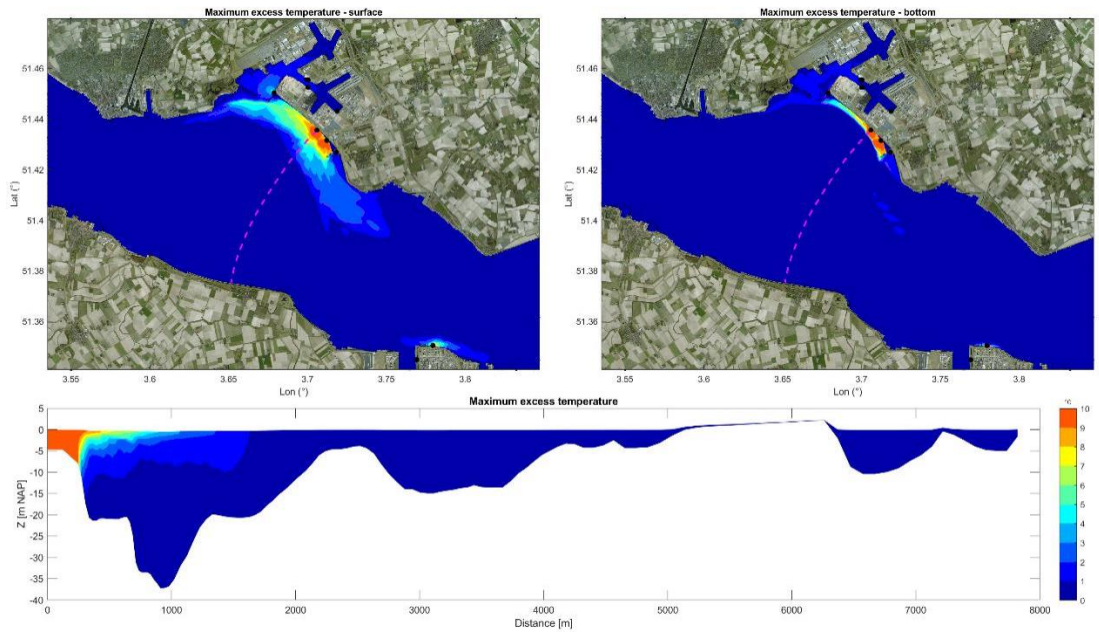
4.4.3 Warmtelozingscapaciteit van de Borssele 2 lozing (Scenario 2)

Daarnaast is een gevoeligheids simulatie voor Configuratie 1 uitgevoerd met een lagere warmtelozingscapaciteit om het effect van een lagere warmtelozing op de pluimverspreiding en -menging te berekenen. Voor deze simulatie werd de warmtelozingscapaciteit teruggebracht van 6000 MW naar 4000 MW. Om deze vermindering te bereiken, werd het lozingsdebiet met 1/3 verminderd van 159,5 m³/s naar 106,3 m³/s met dezelfde temperatuurstijging tussen inlaat- en lozingspunt (+9 °C). Figuur 4.33 en Figuur 4.35 tonen de gesimuleerde resultaten voor deze gevoeligheidstest. Ter vergelijking tonen Figuur 4.11 en Figuur 4.12 de resultaten voor de volledige thermische capaciteit van een warmtelozing van 6000 MW; deze figuren worden hier herhaald voor de leesbaarheid.

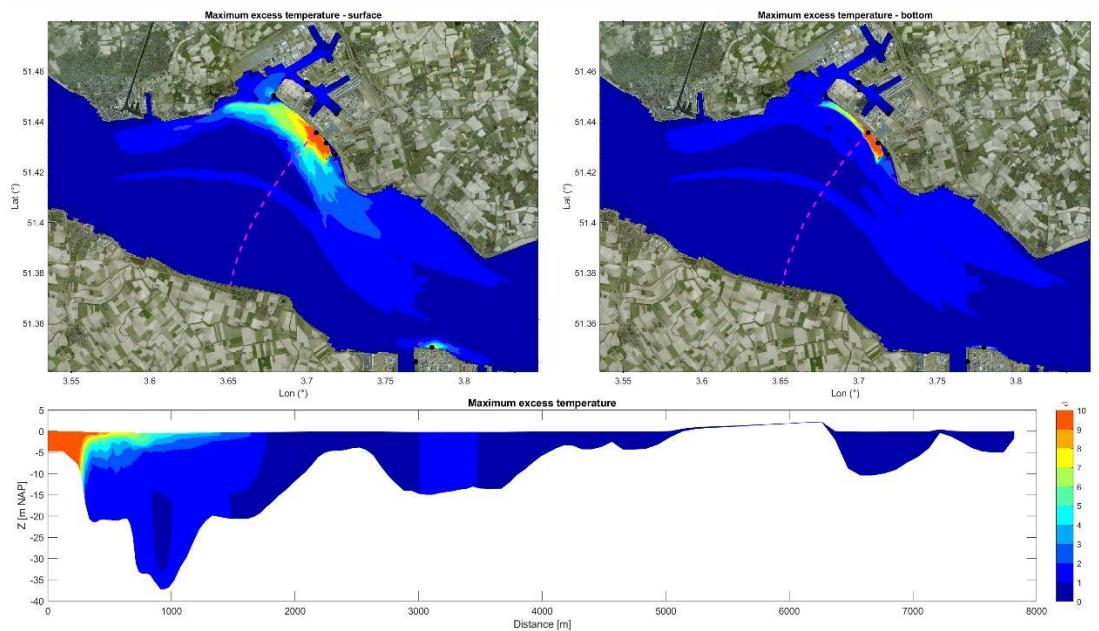
Figuur 4.33 laat zien dat de temperatuurstijging rond het Borssele 2-lozingspunt normaliter afneemt bij lagere warmtelozingen. Voor het geval van 4000 MW is de maximale temperatuurstijgingscontour van +1 °C aan het oppervlak ongeveer 10 km in langs de kust (vergeleken met bijna 20 km voor het geval van 6000 MW). Het effect van een lagere warmtelozingscapaciteit is minder uitgesproken voor de temperatuurstijging in ondiepe gebieden. In de ondiepe gebieden worden geen significante verschillen berekend voor warmtelozingen van 6000 MW en 4000 MW. De temperatuur in ondiepe gebieden rond het open lozingspunt wordt voornamelijk bepaald door de temperatuur van de lozing, aangezien deze gebieden verzadigd zijn door de lozing vanuit het lozingspunt, zie ook paragraaf 4.4.2. Zodra de pluim in dieper water geraakt, stratificeert de lozingspluim en wordt de temperatuur nabij de bodem minder beïnvloed door de warmtelozing van Borssele 2.

Voor de verminderde lozingscapaciteit is het maximale percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat ongeveer 6% en is 1-2% lager dan de gesimuleerde percentages

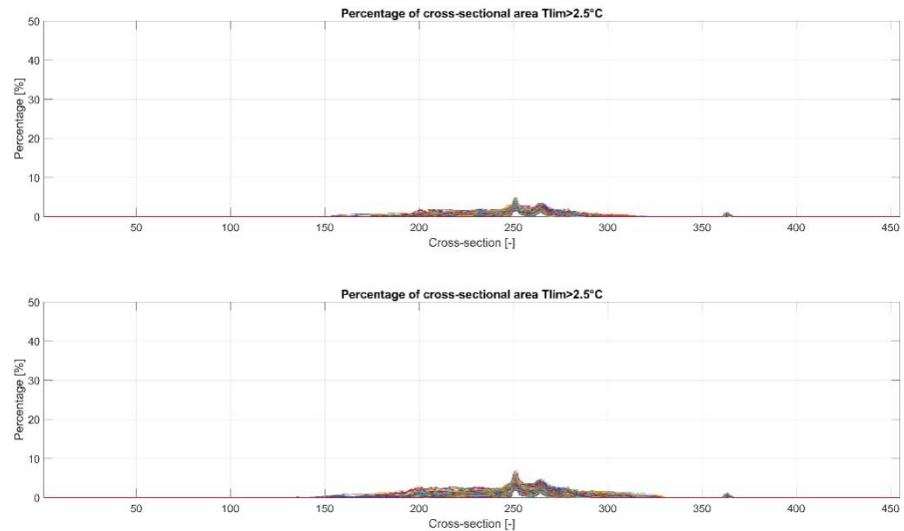
van de volledige warmtelozingscapaciteit. De vermindering in warmtelozingscapaciteit vermindert ook de gemiddelde recirculatie van de gecombineerde lozingspluim met ongeveer 0,1 °C - 0,2 °C van 0,6 °C - 1,0 °C (Scenario 1) tot 0,5 °C - 0,8 °C (Scenario 2).



Figuur 4.33 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2 lozing voor een gereduceerde warmtelozingscapaciteit van 4000 MWh.



Figuur 4.34 Gesimuleerde maximumale temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing voor een warmtelozingscapaciteit van 6000 MWh.

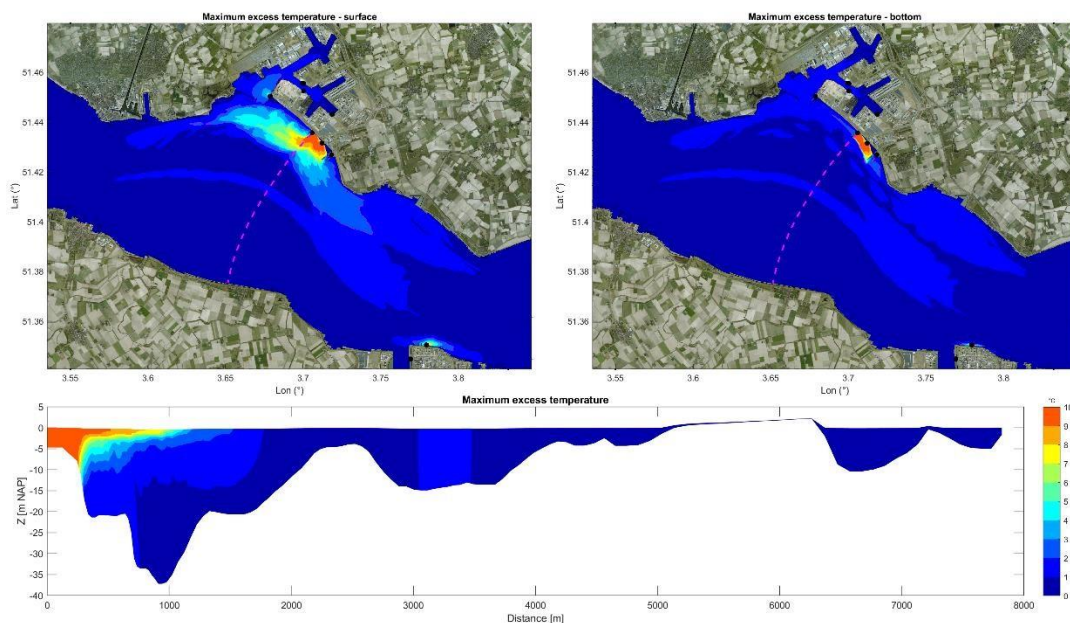


Figuur 4.35 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat voor een gereduceerde warmtelozingscapaciteit van 4000 MWth (boven) en volledige capaciteit van 6000 MWth (onder) voor Dwarsdoornedegebied 1 (Westerschelde).

4.4.4 Aanvullende golfbrekers (Scenario 10, 11, 13 en 15)

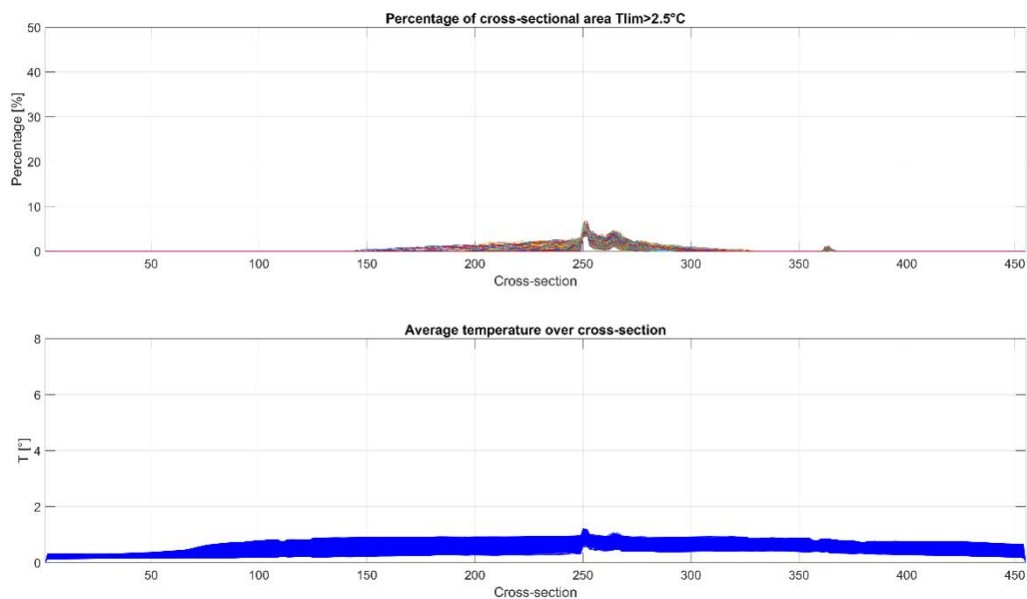
De open lozingsoptie voor Borssele 2 loost in vrij ondiep water, wat leidt tot beperkte menging. De warmtepluim van Borssele 2 zal zich daarom naar verwachting over vrij grote afstanden verspreiden zonder vermenging met omgevingswater. Dit betekent dat er een hogere temperatuurstijging verwacht kan worden in de ondiepe gebieden langs de kade en rond het lozingspunt, zoals berekend in de simulaties hierboven. Om dit te beperken, kunnen constructies zoals golfbrekers gebruikt worden om de lozingspluim eerst naar dieper water af te buigen. In dit diepere water zal de lozingspluim zich naar verwachting snel vermengen vanwege de hoge getijdenstroming.

Om het effect van een golfbreker op de pluimverspreiding en -menging te berekenen, zijn simulaties uitgevoerd voor verschillende configuraties met golfbrekers. Hier wordt Configuratie 1b weergegeven. Configuratie 1b omvat een extra golfbreker ten westen van het open lozingspunt van Borssele 2, zie paragraaf 2.6. De golfbreker reikt tot -5 m NAP. Daarna neemt de diepte snel toe tot -20 m NAP. Deze golfbrekers zijn eerste suggesties voor een mogelijke maatregel en het ontwerp dient zorgvuldig te worden bekeken in relatie tot andere aspecten wat betreft haalbaarheid en stabiliteit met de sterke getijdstromingen. Deze overwegingen zijn niet meegenomen in dit onderzoek. Modelresultaten voor Configuratie 1b zijn weergegeven in Figuur 4.36 en Figuur 4.37. Resultaten van Scenario 11, Scenario 13 en Scenario 15 zijn weergegeven in de bijlage.



Figuur 4.36 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-en de plaatsing van een golfbreker ten westen van het lozingspunt. (Configuratie 1b).

Figuur 4.36 laat zien dat met behulp van een golfbreker de pluim van de kust af kan worden geleid om de stijging van de bodemtemperatuur langs de kust bij het open lozingspunt van Borssele 2 te minimaliseren. In deze configuratie zal naar verwachting alleen het gebied nabij de bodem tussen de golfbrekers van het Borssele 2 open lozingspunt en het EPZ open lozingspunt opwarmen met een maximale temperatuurstijging van meer dan 2 °C, met een maximum van de oorspronkelijke lozingstemperatuur (d.w.z. ongeveer +9 °C). De ondiepe gebieden ten noordwesten van de golfbreker zullen een kleinere temperatuurstijging laten zien in vergelijking met Configuratie 1. In Configuratie 1 lag de maximale temperatuurstijging tussen de 4 en 10 °C, en is nu teruggebracht tot minder dan 2 °C. Figuur 4.37 laat zien dat een extra golfbreker een beperkt effect heeft op het percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat en de gemiddelde temperatuurstijging.



Figuur 4.37 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Westerschelde) Configuratie 1b.

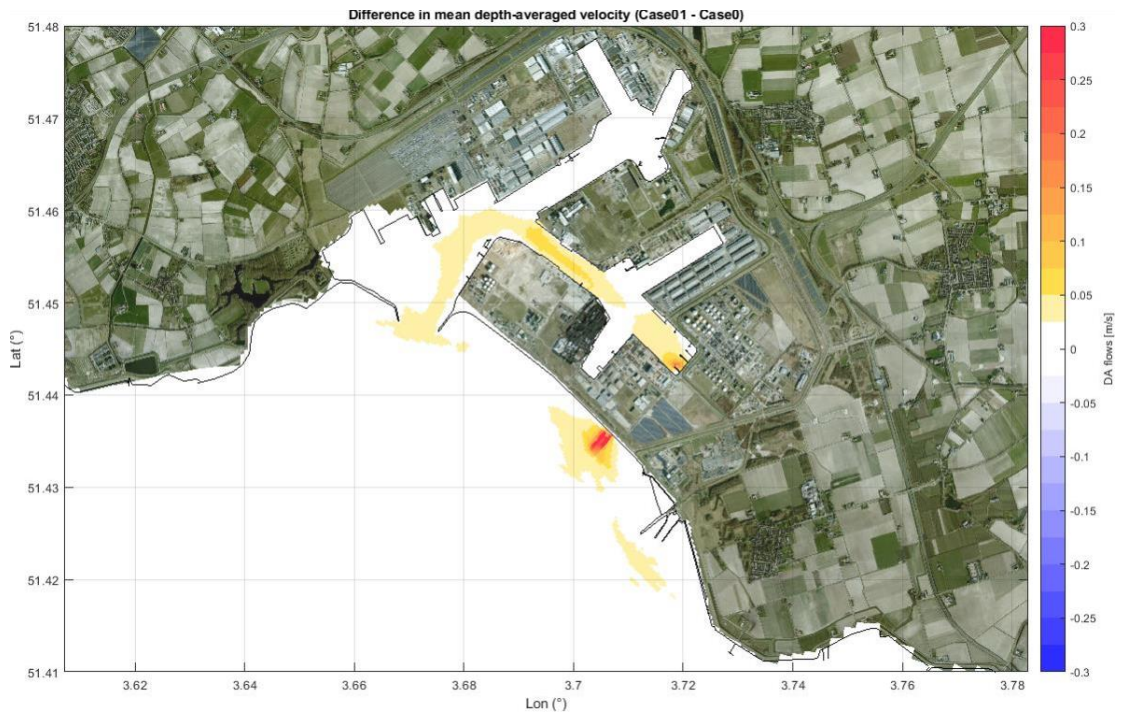
Verder worden er geen significante veranderingen in de recirculatie ($<0,2^{\circ}\text{C}$) verwacht als gevolg van de golfbreker. Er is een extra gevoeligheidssimulatie uitgevoerd waarbij de golfbreker bij het EPZ-inlaatpunt werd verlengd om potentiële recirculatie naar deze bestaande inlaat te verminderen. Uit deze gevoeligheidstest bleek dat de gemiddelde temperatuurstijging naar verwachting hetzelfde zal blijven als zonder de golfbreker. Alleen de maximale temperatuurstijging bij het inlaatpunt van EPZ zal naar verwachting met $0,3^{\circ}\text{C}$ afnemen tot ongeveer $1,6^{\circ}\text{C}$ door verlenging van de bestaande EPZ-golfbreker.

4.5 Verandering in stromingscondities in de Cittershaven door het Borssele 2 koelwatersysteem

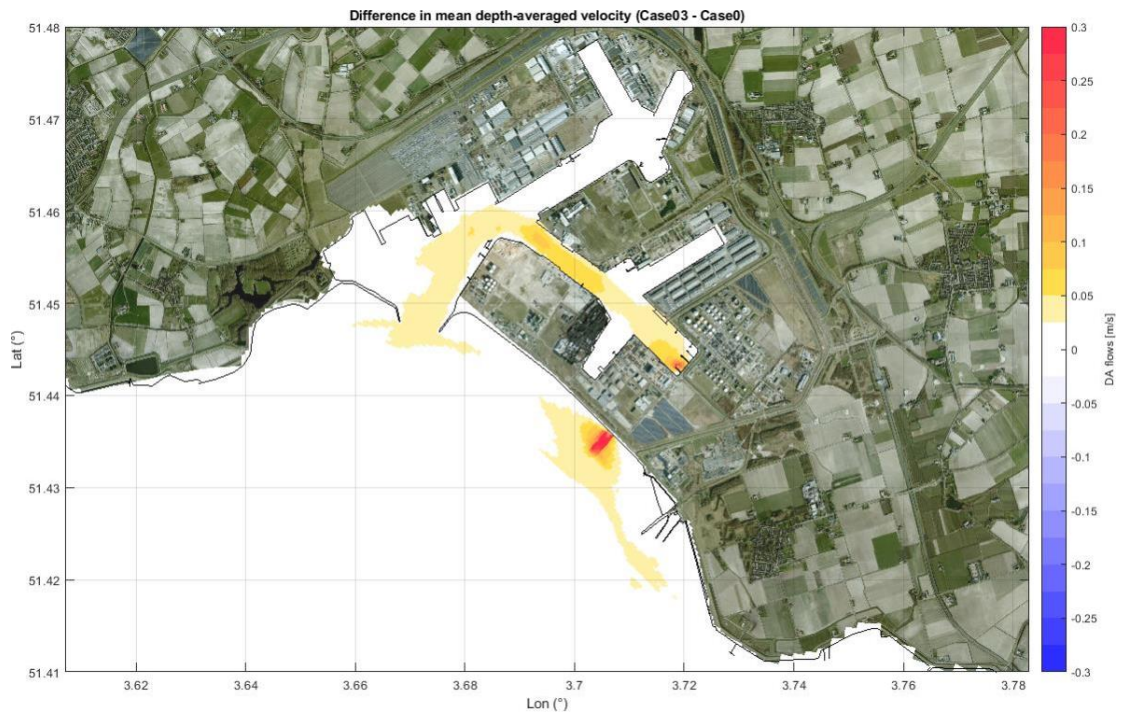
Voor verschillende gesimuleerde inlaat- en uitlaatconfiguraties werd een open inlaatpunt in de Cittershaven voor de inlaat van Borssele 2 overwogen. Voor recirculatie doeleinden is dit een interessante locatie, omdat het recirculatiepotentieel van de lozingspluim van Borssele 2 naar het inlaatpunt lager is dan bij andere alternatieven. Er wordt echter ook verwacht dat een inlaatpunt in de Cittershaven de stromingscondities voor, onder andere, de scheepvaart in de haven zal veranderen. Voor een eerste indruk van de veranderingen in de stromingscondities tonen Figuur 4.38 en Figuur 4.39 de verandering in dieptegemiddelde snelheden op de projectlocatie voor Scenario 1 (inlaat-/lozingsdebiet van $159,5\text{ m}^3/\text{s}$) en Scenario 3 (inlaat-/lozingsdebiet van $205\text{ m}^3/\text{s}$).

Deze figuren laten zien dat de verandering in de dieptegemiddelde stroomsnelheden afhangt van de breedte en diepte van de Cittershaven. Voor Scenario 1 wordt verwacht dat in het smalste deel van de Cittershaven de dieptegemiddelde stroomsnelheid met ongeveer $0,05$ tot $0,075\text{ m/s}$ zal toenemen als gevolg van de werking van de koelwaterinlaat van Borssele 2. Als het debiet van het Borssele 2-koelwatersysteem wordt verhoogd tot $205\text{ m}^3/\text{s}$, neemt dit toe tot een snelheidsverandering van $0,075\text{ m/s}$ tot $0,1\text{ m/s}$ ten opzichte van een situatie zonder de inlaat van Borssele 2 in bedrijf. In Figuur 4.38 en Figuur 4.39 wordt plaatselijk rond het inlaatpunt een hogere stroomsnelheid waargenomen, aangezien de inlaat als een puntonttrekking is geschematiseerd in het model. Let wel dat een gedetailleerd ontwerp van

het inlaatpunt niet in deze studie is opgenomen en dat de toename van de snelheid in de buurt van het inlaatpunt afhankelijk is van het specifieke ontwerp van de inlaat, dat in een latere fase van het project uitgewerkt moet worden.



Figuur 4.38 Toename in gemiddelde dieptegemiddelde snelheid als gevolg van het nieuwe Borssele 2 inlaaten lozingsdebiet van 159.5 m³/s (Scenario 1 – Scenario 0).

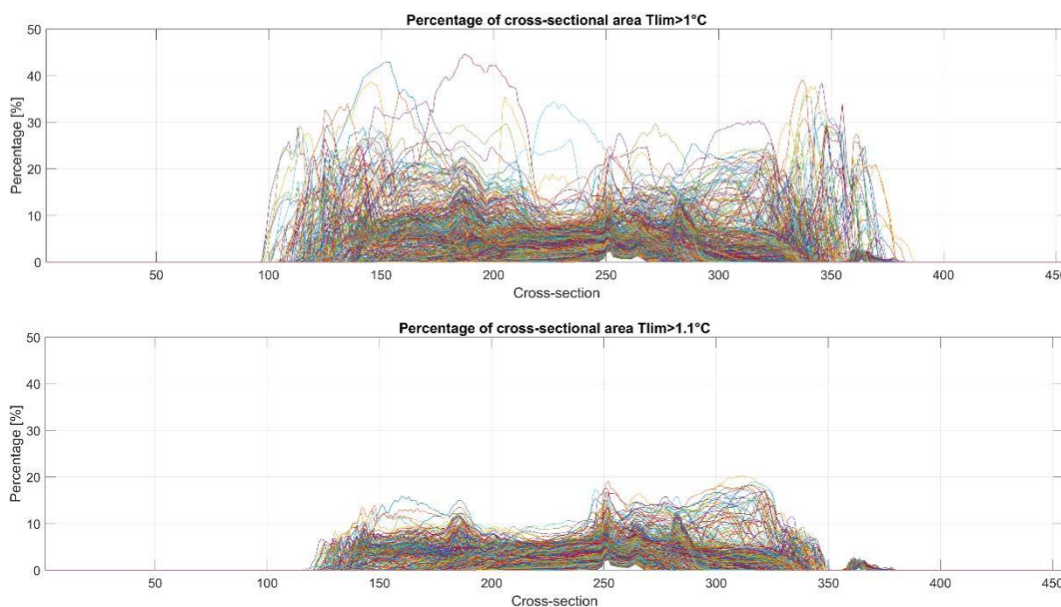


Figuur 4.39 Toename in gemiddelde dieptegemiddelde snelheid als gevolg van het nieuwe Borssele 2 inlaaten lozingsdebiet van 205 m³/s (Scenario 3 – Scenario 0).

4.6 Gevolgen van klimaatverandering en stijging van de achtergrondtemperatuur (Scenario 5 en 6)

Er zijn gevoeligheidstests uitgevoerd in de modellering met kleine verschillen in de achtergrondtemperatuur om het gedrag en de verspreiding van de pluim van Borssele 2 onder verschillende achtergrondtemperaturen in kaart te brengen, zie de modelresultaten in de bijlage. Uit deze simulaties wordt geconcludeerd dat kleine variaties (d.w.z. ongeveer 1 °C) in de achtergrondtemperatuur geen significante invloed hebben op het berekende gedrag van de lozingspluim als gevolg van de werking van het Borssele 2-koelsysteem. Dit betekent dat de gemodelleerde resultaten ook gebruikt kunnen worden voor extrapolatie naar andere achtergrondtemperaturen (bijv. hogere temperaturen door klimaatverandering).

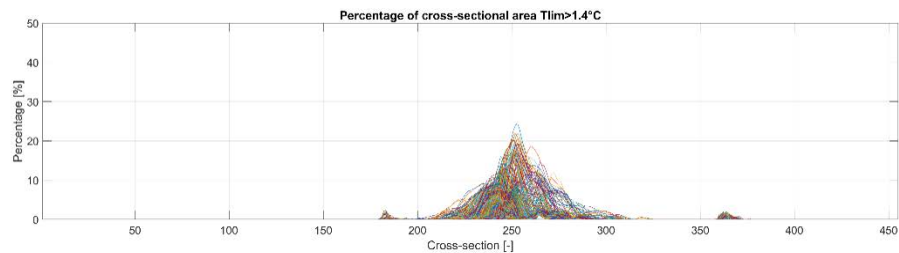
Vervolgens zijn de modelresultaten geanalyseerd om de achtergrondtemperatuur te bepalen waarvoor de doorsnedecriteria kritisch worden. Voor deze analyse werden Scenario 1 (open lozing) en Scenario 16 (lozing onder water) beschouwd. Deze analyse geeft een eerste indicatie bij welke (toekomstige) achtergrondtemperatuur de lozingsconfiguratie van Borssele 2 het doorsnedecriterium (mengzone van 25°C > 25% van de doorsnede) zal overschrijden.



Figuur 4.40 Gesimuleerd percentage van de doorsnede bedekt door de mengzone voor een achtergrondtemperatuur van 24°C (boven) en 23,9°C (onder) Doorsnedegebied 1 (Westerschelde) Configuratie 1.

Figuur 4.40 laat zien dat de eerste schattingen voor een open lozing (Scenario 1) aangeven dat als de achtergrondtemperatuur stijgt tot ongeveer 23,9 °C het mengzonecriterium kritisch wordt voor een open lozing in de Westerschelde.

Paragraaf 4.4.1.8 liet zien dat een lozing onder water het percentage van de dwarsdoorsnede dat de mengzone beslaat afneemt van 7% - 8% voor een open lozing tot ongeveer 2% - 3% voor een achtergrondtemperatuur van 22,5 °C. Net als bij het open lozing werd er een analyse uitgevoerd voor de optie van een lozing onder water (Scenario 16 - Configuratie 7) om de achtergrondtemperatuur te bepalen waarvoor de doorsnedecriteria kritisch worden.



Figuur 4.41 Gesimuleerd percentage van de doorsnede bedekt door de mengzone voor een achtergrondtemperatuur van 23,6°C . Doorsnedegebied 1 (Westerschelde) Configuratie 7.

Figuur 4.41 laat zien dat voor achtergrondtemperaturen van ongeveer 23,6 °C het mengzonecriterium kritisch wordt voor een lozing onder water in de Westerschelde. Dit is lager dan de kritische achtergrond voor het open lozingspunt. Dit is te verklaren door het feit dat door de aard van het criterium een kleinere mengzone met een hogere temperatuur over het algemeen tot gunstiger omstandigheden leidt met betrekking tot de CIW-criteria voor mengzones. Omgekeerd kan een meer verdunde lozingspluim leiden tot een hogere bedekking van de dwarsdoorsnede door de mengzone.

5 Conclusies

Het doel van dit koelwateronderzoek is het verkennen van de gecombineerde pluimverspreiding en recirculatie van verschillende mogelijkheden voor de nieuwe koelwaterlozing van Borssele 2 in relatie tot de toepasselijke milieutemperatuurcriteria voor verschillende inname- en lozingsopties van Borssele 2. Het resultaat van dit onderzoek zal de ontwikkelaars eerste informatie verschaffen over de haalbaarheid van verschillende indicatieve opties voor koelwatersystemen als input voor hun verdere onderzoeken. De uitgevoerde studies zijn niet bedoeld om volledig te zijn en zijn daarmee ook geen garantie dat als de ontwikkelaars de verschaft informatie volgt dit recht geeft op een vergunning en acceptatie van de ontwikkeling. Er wordt verder opgemerkt dat bevoegd gezag heeft aangegeven dat waterkwaliteit en ecologie ook belangrijke aspecten zijn in relatie tot de haalbaarheid van de ontwikkeling van de kerncentrales en dat deze aspecten nog niet in deze eerste, verkennende studie is meegenomen.

Het koelwateronderzoek is uitgevoerd met behulp van een hydrodynamisch Delft3D model dat de verspreiding van de koelwaterlozing van Borssele 2 simuleert. Dit (detail)model werd opgezet rond het Borssele projectgebied en genest in de intern beschikbare modellen van de Westerschelde. Wanneer lozingen onder water werden overwogen, werd het Delft3D-model dynamisch gekoppeld aan een database met *near-field* resultaten van CORMIX. Met dit gekoppelde modelleringssysteem werden verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties, warmtecapaciteiten, lozingskarakteristieken en aanvullende constructies gesimuleerd onder verschillende omgevingsomstandigheden die relevant zijn voor de toepasselijke milieutemperatuurcriteria en processen die de pluimverspreiding beïnvloeden.

De belangrijkste informatie en resultaten zijn hieronder samengevat en op basis hiervan worden de volgende hoofdconclusies getrokken:

Projectinformatie

- Voor deze eerste verkenning van verschillende koelwaterconfiguraties voor Borssele 2 werden alleen de criteria voor de mengzone en de gemiddelde temperatuurstijging van de CIW 2004 (temperatuur) gebruikt. Let wel: de naleving van mogelijke andere criteria (bijv. voor andere waterparameters) in een volgende fase van het project dient in een volledige milieueffectrapportage te worden geëvalueerd. Voor een volledig overzicht van de milieucriteria, zie Deltares (2023).
- De 98e-percentiel achtergrondtemperatuur die relevant is voor de criteria van CIW 2004 aan de rand van het watersysteem (Bath) is 22,5 °C. De 98e-percentiel omgevingstemperatuur op de projectlocatie zelf wordt geschat tussen 20,7 °C (Vlakte van de Raan) en 21,8 °C (Hansweert boei). Er wordt verwezen naar Deltares (2023) voor meer details over het afleiden van de achtergrondtemperatuur.
- De (sterke) stromingen op de projectlocatie worden voornamelijk veroorzaakt door het getij, waarbij het getijdebiet doorgaans een factor 100-1000 groter is dan het rivierdebiet.
- Voor deze studie waren er nog geen gedetailleerde ontwerpen of lozingskarakteristieken beschikbaar. Daarom werden samen met het Ministerie van Economische Zaken verschillende koelwaterlozingskarakteristieken en inlaat- en lozingsopties voor de Borssele 2 centrale geselecteerd.
- Voor het nieuwe Borssele 2 koelwatersysteem zijn 12 verschillende inlaat- en lozingsconfiguraties overwogen. Deze 12 configuraties omvatten variaties in locatie van de inlaat en lozing, het type inlaat- en lozingsconstructie (open of onder water) en aanvullende constructies zoals golfbrekers.

- Er is door het Ministerie van Economische Zaken gekozen voor een maximale thermische afvoercapaciteit van het Borssele 2-koelwatersysteem van 6000 MWth. Voor deze capaciteit zijn 3 verschillende combinaties van debiet en temperatuurstijging tussen het inlaat- en lozingspunt gemodelleerd: een lozing van 205 m³/s en een temperatuurstijging van +7°C, een lozing van 159,5 m³/s en een temperatuurstijging van +9°C en een lozing van 119,5 m³/s en een temperatuurstijging van +12°C.
- De onderstaande tabel geeft een overzicht van de gesimuleerde scenario's.

Tabel 5.1 Overzicht van de gesimuleerde scenario's.

Scenario	Warmte (thermische) Capaciteit	Lozings optie/ Koelwater-	Configuratie inlaat/lozings-	Extra constructies	Omschrijving
0	-	-	-	-	Huidige situatie
1	6000	2/+9°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
2	4000	2/+9°C (2/3Q)	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
3	6000	1/+7°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
4	6000	3/+12°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven.
5	6000	2/+9°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven. Verschillende achtergrondtemperatuur
6	6000	2/+9°C	1	-	Open lozing in de Westerschelde, inlaat in de Cittershaven. Verschillende achtergrondtemperatuur
7	6000	2/+9°C	2	-	Open lozing in de Cittershaven, inlaat in de Westerschelde, als gevoeligheidstest
8	6000	2/+9°C	3	-	Inlaat en open lozing in de Westerschelde. Inlaat en lozing zijn horizontaal gescheiden om recirculatie van koelwater te beperken
9	6000	2/+9°C	4	-	Inlaat in de Cittershaven, meer naar het noordwesten en open lozing in de Westerschelde.
10	6000	2/+9°C	1b	Ja	Hetzelfde als Configuratie 1, maar met een golfbreker om het koelwater van de

11	6000	2/+9°C	1c	Ja (2x)	Hetzelfde als Configuratie 1b, maar met een extra golfbreker bij de EPZ-inlaat om potentiële recirculatie naar de EPZ-inlaat te verminderen.
12	6000	2/+9°C	5	-	Inlaat onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, open lozing in de Westerschelde.
13	6000	2/+9°C	5b	Ja	Hetzelfde als Configuratie 5, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
14	6000	2/+9°C	6	-	Inlaat onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, open lozing in de Westerschelde dicht bij de haveningang.
15	6000	2/+9°C	6b	Ja	Hetzelfde als Configuratie 6, maar met een golfbreker om het koelwater van de kust af te richten.
16	6000	2/+9°C	7	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Cittershaven.
17	6000	3/+12°C	7	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Cittershaven.
18	6000	2/+9°C	8	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Westerschelde.
19	6000	3/+12°C	8	-	Lozing onder water in de Westerschelde op 20m NAP diepte, inlaat in de Westerschelde.

- 4 bestaande warmtelozingen werden in deze studie opgenomen om de cumulatieve pluimverspreiding en recirculatie in het gebied rond Borssele te modelleren. Deze 4 lozingen omvatten de N.V. Elektriciteits Productiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ), Sloe Centrale BV, Zalco B.V en Dow Benelux B.V.

Modelopzet:

- Er is een nieuw specifiek driedimensionaal model opgezet in Delft3D voor het Borssele-gebied. Hydrodynamische randvoorwaarden voor dit detailmodel zijn afgeleid van beschikbare en gevalideerde grootschalige modellen van de Westerschelde.
- Het Delft3D-detailmodel is geverifieerd aan de hand van de resultaten van het gevalideerde Westerschelde-model om er zeker van te zijn dat het model nauwkeurige resultaten geeft.
- Het gedrag in het *near-field* van de warmtepluim van de lozing onder water is berekend met behulp van het CORMIX-expertsysteem. CORMIX berekent het hydrodynamische gedrag van de lozingspluim nabij het lozingspunt, inclusief het traject van de pluim en de

verdunding. De resultaten van de *near-field* evaluatie zijn vervolgens gekoppeld aan het *far-field* model met behulp van het C-SUMO-systeem (Coupled Subgrid Model) van Deltares.

Borssele 2 lozing:

- Onderhavig modelonderzoek heeft aangetoond dat alle beschouwde lozingsopties van Borssele 2 in de Westerschelde ruim onder de kritische drempelwaarden van de CIW-criteria voor de maximale bedekking van de dwarsdoorsnede blijven voor mengzone (25%) en het criterium van de gemiddelde temperatuurstijging. De maximale bedekking van de dwarsdoorsnede door de mengzone was gewoonlijk minder dan 10% voor alle overwogen 6000 MWth Borssele 2-lozingen in de Westerschelde. De gemiddelde temperatuurstijging over een dwarsdoorsnede is ongeveer 1 °C.
- De overwogen open lozingsconfiguraties van Borssele 2 resulteren volgens de berekeningen in een maximale (oppervlakte)temperatuurstijging van 4 °C op 4 km afstand van de lozing. Op 10 km afstand van de open lozing wordt berekend dat de maximale (oppervlakte)temperatuurverhoging niet boven 1 °C stijgt. Plaatselijk, in het langs de kade gelegen ondiepe gebied rond de lozing van 2,5 km, resulteren de berekeningen in een stijging van de maximumtemperatuur van de bodem tot de temperatuur van de oorspronkelijke lozing (d.w.z. +9 °C).
- Verschillende effectieve opties worden overwogen om de stijging van de (bodem)temperaturen rond de lozing te mitigeren: (1) een lozingsdiffusor onder water, (2) verschillende lozingstemperaturen en (3) het gebruik van golfbrekers.
- Een lozingsdiffusor onder water voor Borssele 2 in de Westerschelde zou het geloosde koelwater snel mengen met omgevingswater. Voor de gesimuleerde lozing onder water voor het koelwatersysteem van Borssele 2 resulteerde dit in een maximale temperatuurstijging rond de lozing van minder dan 3°C. Het ontwerp van het lozingspunt onder water zou in de volgende fase van het project verder geoptimaliseerd moeten worden.
- Voor een open lozing voor Borssele 2 in de Westerschelde zal een verlaging van de lozingstemperatuur de temperaturen in de (verzadigde) ondiepe gebieden rond het lozingspunt effectief verlagen. Een vermindering van de warmtelozingscapaciteit door het debiet te verlagen zal niet effectief zijn om de temperaturen in de ondiepe gebieden rond het lozingspunt te verlagen.
- Voor een open lozing voor Borssele 2 in de Westerschelde kunnen aanvullende constructies zoals golfbrekers gebruikt worden om de koelwaterlozing af te buigen naar dieper water. De lozingspluim zal zich dan mengen voordat deze zich weer in ondiep water verspreidt wat resulteert in lagere temperatuurstijgingen nabij de bodem in ondiepere gebieden.
- Alle bestaande inlaten zullen een temperatuurstijging ondervinden door de werking van het Borssele 2 koelwatersysteem. De gemiddelde temperatuurstijging bij de bestaande inlaten is ongeveer 0,3°C tot 0,8°C voor de meeste Borssele 2 lozingsopties.
- Kleine variaties in de achtergrondtemperatuur hebben geen significante invloed op het berekende gedrag van de lozingspluim als gevolg van de werking van het Borssele 2-koelsysteem. Dit betekent dat de gemodelleerde resultaten ook gebruikt kunnen worden voor extrapolatie naar andere achtergrondtemperaturen (bijv. hoger door klimaatverandering). De eerste schattingen geven aan dat als de achtergrondtemperatuur stijgt tot ongeveer 23,9 °C het mengzonecriterium kritisch wordt voor de gesimuleerde open lozing in de Westerschelde. Als de achtergrondtemperatuur stijgt tot ongeveer 23,6 °C, wordt het mengzonecriterium kritisch voor de gesimuleerde lozing onder water in de Westerschelde.

Borssele 2 inlaatpunt:

- Vanuit het oogpunt van recirculatie is de Cittershaven een geschikte locatie om de Borssele 2 inlaat te plaatsen. Recirculatie van de Borssele 2 lozingspluim in combinatie met de bestaande lozingspluim leidt tot een gemiddelde temperatuurstijging van 0,7 tot 0,9 °C. Het model toont aan dat deze temperatuurstijging onafhankelijk is van het type en de locatie van de Borssele 2-lozing in de Westerschelde.
- Met betrekking tot de stroomsnelheden in de buurt van de inlaat berekende het model dat een inlaat in de Cittershaven de diepte-gemiddelde stroomsnelheid met ongeveer 0,075 m/s tot 0,1 m/s zou verhogen voor de overwogen lozingsmogelijkheden.
- In vergelijking met een open inlaat zou een inlaat onder water koeler water onttrekken voor het koelwatersysteem van Borssele 2. Op basis van de eerste simulaties bedraagt de gemiddelde temperatuurstijging bij de overwogen inlaat onder water ongeveer 0,7 °C en de maximale temperatuurstijging ongeveer 1,0 °C bovenop de achtergrondtemperatuur. Ter vergelijking, in het scenario met zowel een open loospunt en inlaatpunt in de Westerschelde (Scenario 8) is de gesimuleerde gemiddelde recirculatie in de orde van 1,1 °C en maximaal 3,4 °C. Een inlaat onder water onttrekt dus koeler water (enkel gebaseerd op de berekende recirculatie).

De bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op een beperkt aantal configuraties en simulaties voor het koelwatersysteem van Borssele 2 in deze eerste verkennende modelstudie. Verdere ontwikkeling en optimalisatie van de inlaat- en lozingsconfiguraties moeten in de volgende fase van het project in meer detail worden bestudeerd. Bovendien richt deze studie zich alleen op de temperatureffecten van de koelwaterlozing voor het Borssele-gebied. Er moet ook rekening worden gehouden met mogelijke andere (milieu)criteria en ontwerpaspecten die van invloed kunnen zijn op de uiteindelijke ontwerpkeuzes voor het koelwatersysteem van Borssele 2.

6 Bronvermelding

Choi, K. W. & Lee, H. W. 2007, Distributed entrainment sink approach for modelling mixing and transport in the intermediate field. J. Hydraul. Eng. 133 (7), 804–815.

Deltares, 2023. Brief - Interpretatie regelgevend kader warmtelozing t.b.v. modelstudie warmtelozing kerncentrale Borsele, 11209639-002-GEO-0001_v1.0, September 2023.

Rijkswaterstaat 2004. CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen. Ministerie van verkeer en waterstaat. Versie: 25 november 2004.

Sweers, H. E., 1976. "A nomogram to estimate the heat exchange coefficient at the air-water interface as a function of windspeed and temperature; a critical survey of some literature." Journal of Hydrology 30: –

Vroom et al., 2015. Deltares report: 'Validatie waterbeweging Delft3D-NeVla model Westerscheldemonding'. Deltares referentie: 1210301-001.

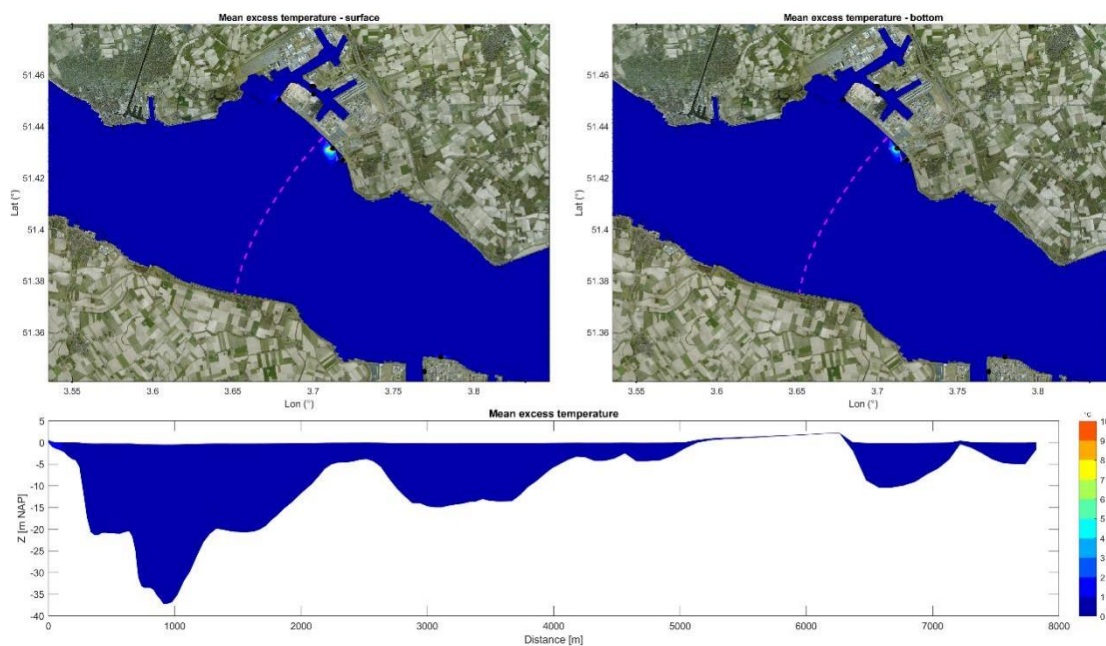
A Recirculatiepotentieel

Voor alle simulaties zijn mediaan en maximale temperatuurstijgingen bij elk inlaatpunt afgeleid en in de onderstaande tabel samengevat.

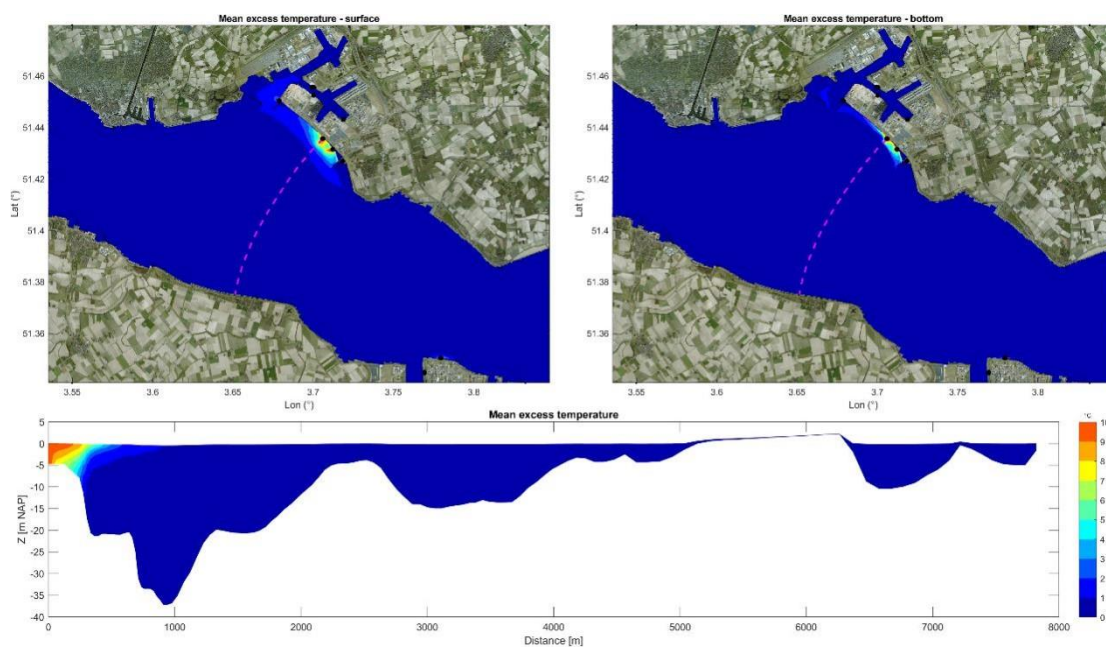
Tabel A.1 Gesimuleerde overtollige temperatuur bij elk inlaatpunt.

	DowBeneluxBV		EPZ		SloeCentraleBV		ZalcoBV		Borssele 2	
	mediaan	max.	mediaan	max.	mediaan	max.	mediaan	max.	mediaan	max.
Scenario 0	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	0.4	0.6		
Scenario 01	0.6	0.7	0.7	2.0	0.9	1.1	1.0	1.3	0.9	1.0
Scenario 02	0.5	0.6	0.6	1.6	0.8	0.9	0.8	1.0	0.7	0.8
Scenario 03	0.6	0.7	0.7	1.7	1.0	1.2	1.0	1.3	0.9	1.0
Scenario 04	0.6	0.7	0.7	2.1	0.9	1.1	1.0	1.2	0.9	0.9
Scenario 05	0.7	0.9	0.9	2.0	1.2	1.4	1.2	1.4	1.1	1.2
Scenario 06	0.6	0.7	0.7	2.0	1.0	1.1	1.0	1.3	0.9	1.0
Scenario 07	0.4	0.6	0.6	0.8	6.8	7.9	5.6	7.3	0.8	2.6
Scenario 08	0.5	0.7	0.7	1.1	0.6	1.0	0.7	1.1	1.1	3.4
Scenario 09	0.5	0.7	0.7	1.2	0.7	1.1	0.8	1.2	0.9	1.2
Scenario 10	0.6	0.7	0.7	1.9	0.9	1.1	0.9	1.2	0.9	0.9
Scenario 11	0.6	0.7	0.7	1.6	0.9	1.1	0.9	1.2	0.9	0.9
Scenario 12	0.7	0.9	0.9	2.4	0.7	1.1	0.8	1.2	0.7	1.0
Scenario 13	0.8	0.9	1.0	2.7	0.7	1.1	0.8	1.2	0.7	1.1
Scenario 14	0.5	0.7	0.7	1.2	0.6	1.0	0.7	1.1	0.7	1.2
Scenario 15	0.5	0.7	0.7	1.1	0.7	1.1	0.7	1.2	0.7	1.2
Scenario 16	0.6	0.7	0.7	1.0	0.9	1.1	0.9	1.2	0.8	1.0
Scenario 17	0.6	0.7	0.7	1.0	0.9	1.1	0.9	1.2	0.8	0.9
Scenario 18	0.6	0.7	0.7	1.0	0.6	1.0	0.7	1.1	1.0	2.6
Scenario 19	0.6	0.7	0.7	1.0	0.6	1.0	0.7	1.1	1.0	2.8

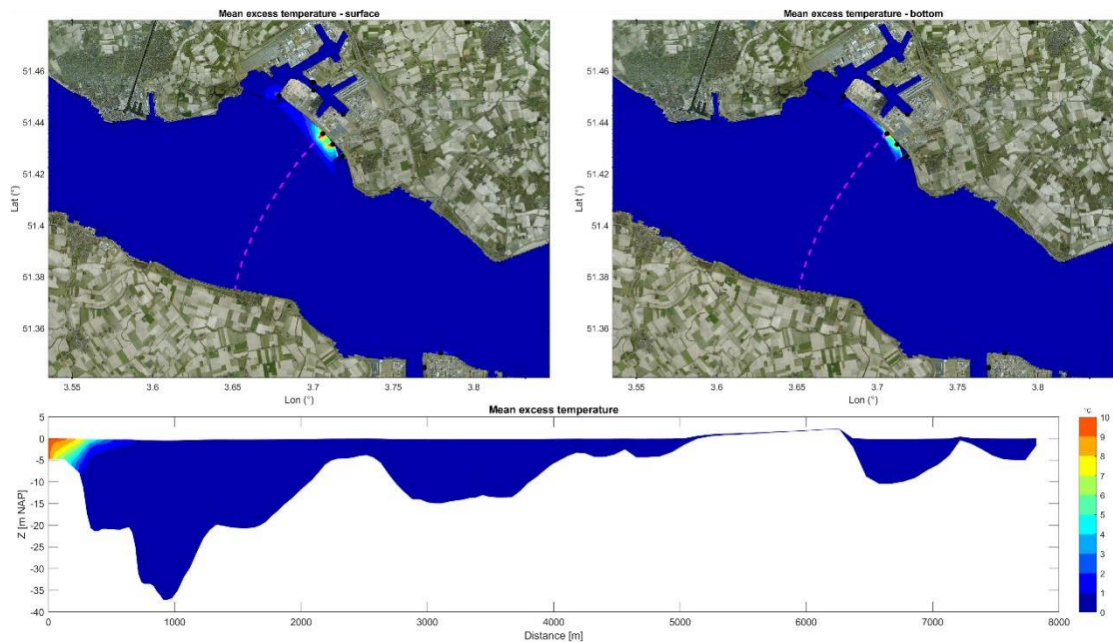
B Temperatuurvoetafdruk gemiddeld



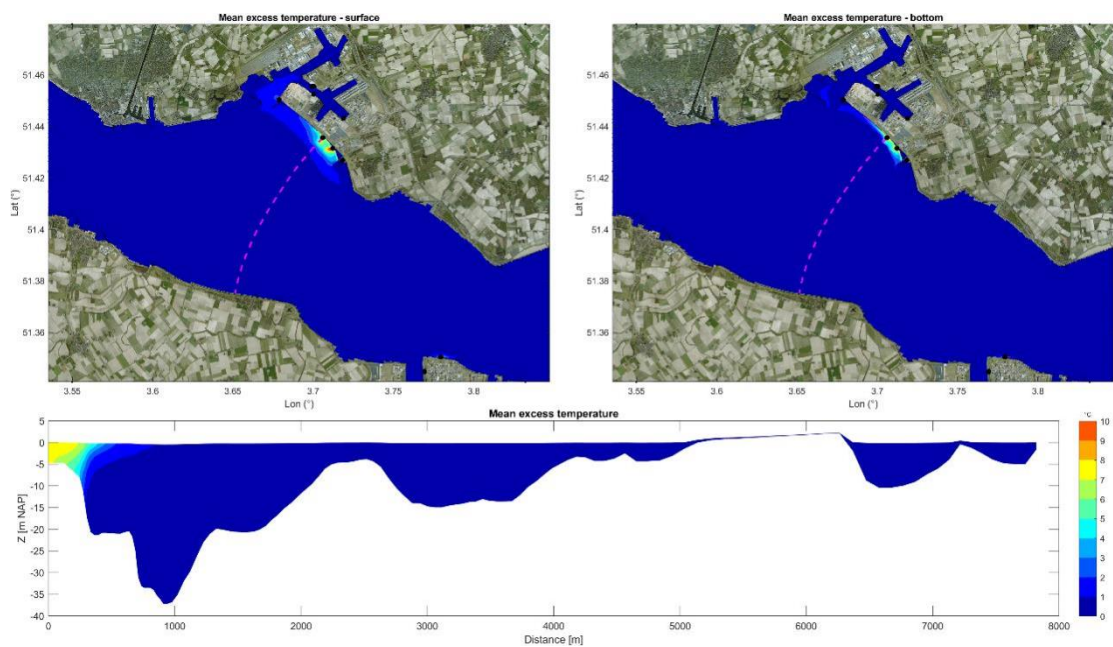
Figuur B.1 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen (Scenario0).



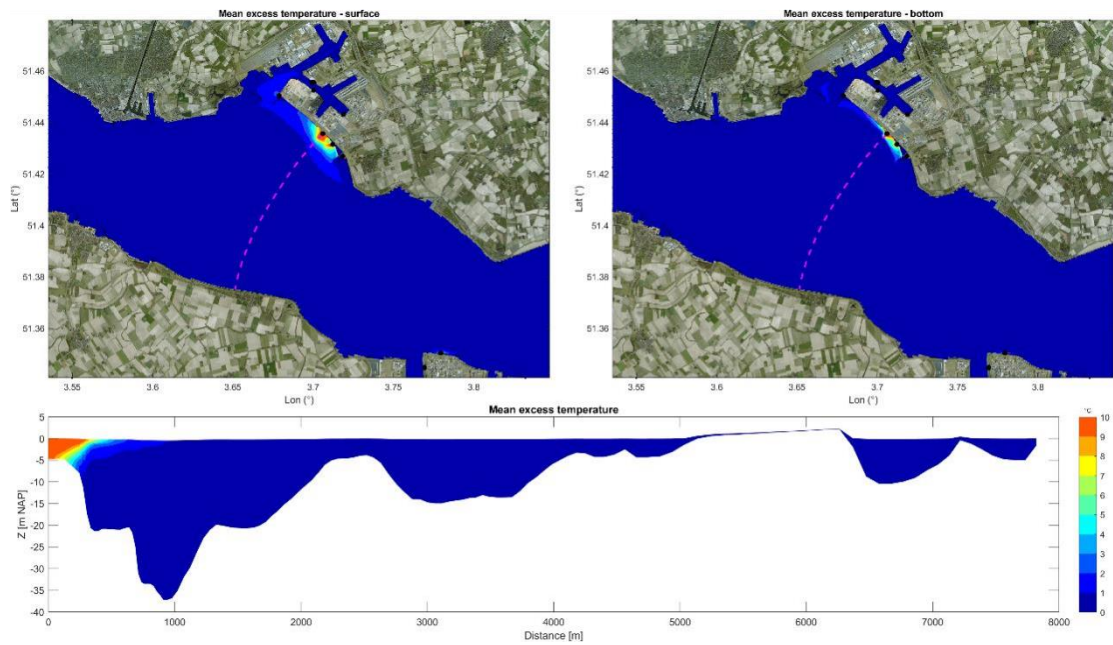
Figuur B.2 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario01).



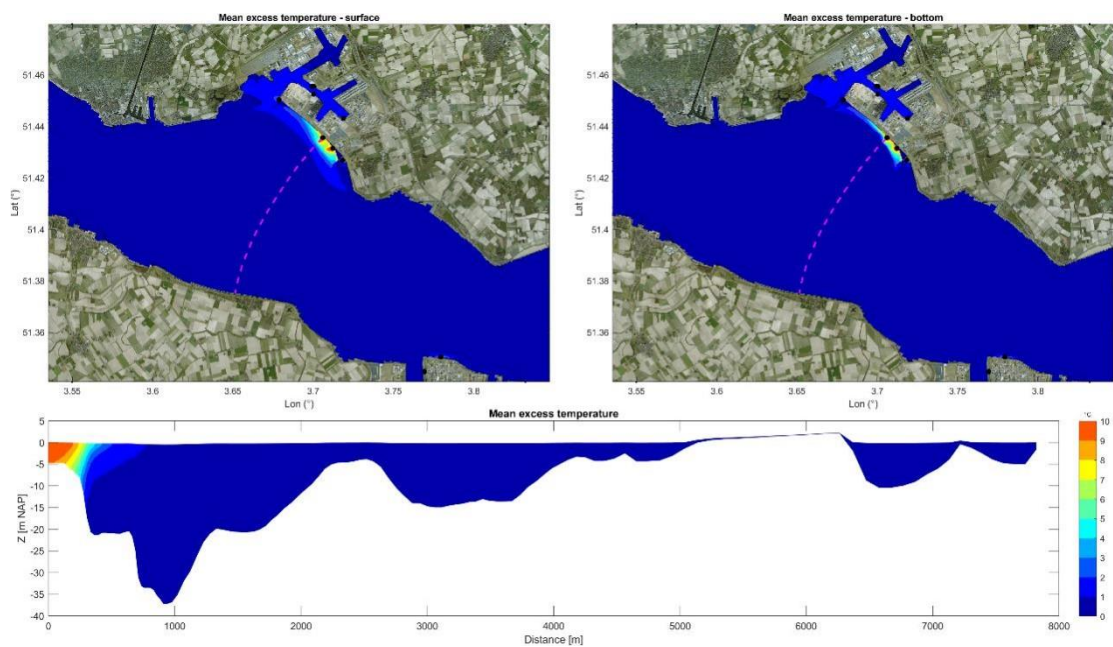
Figuur B.3 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario02).



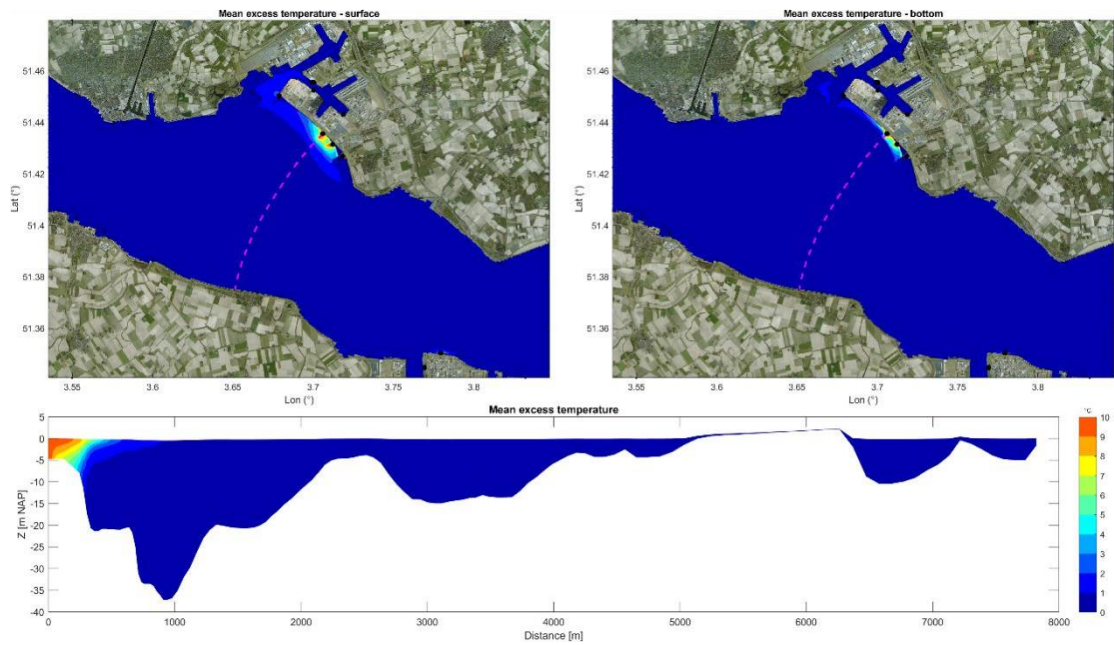
Figuur B.4 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario03).



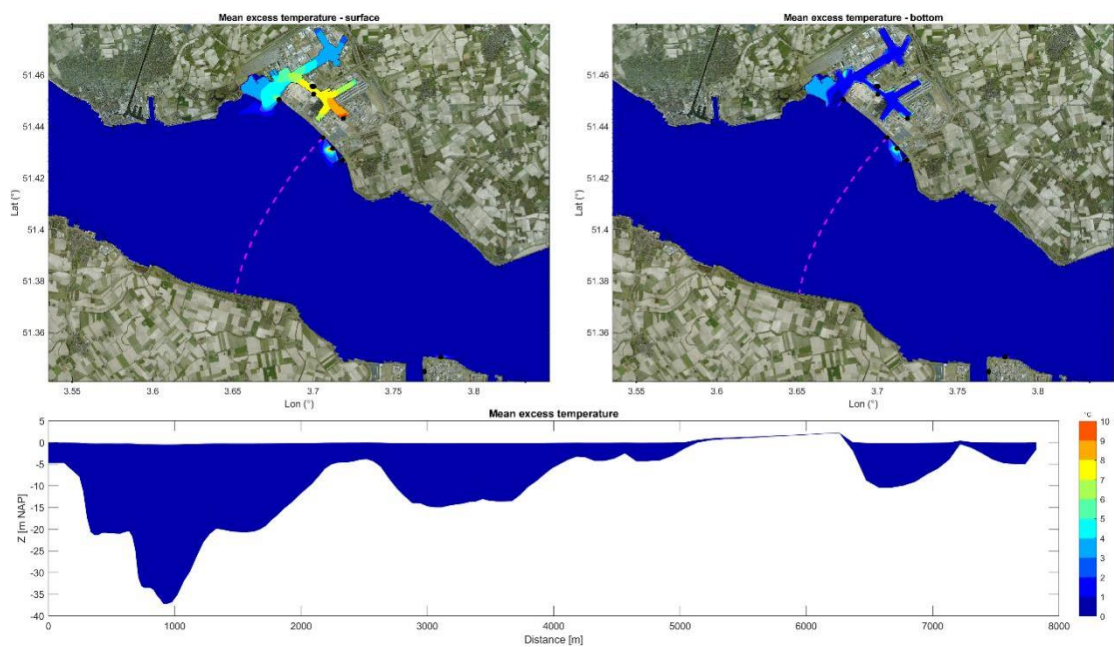
Figuur B.5 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario04).



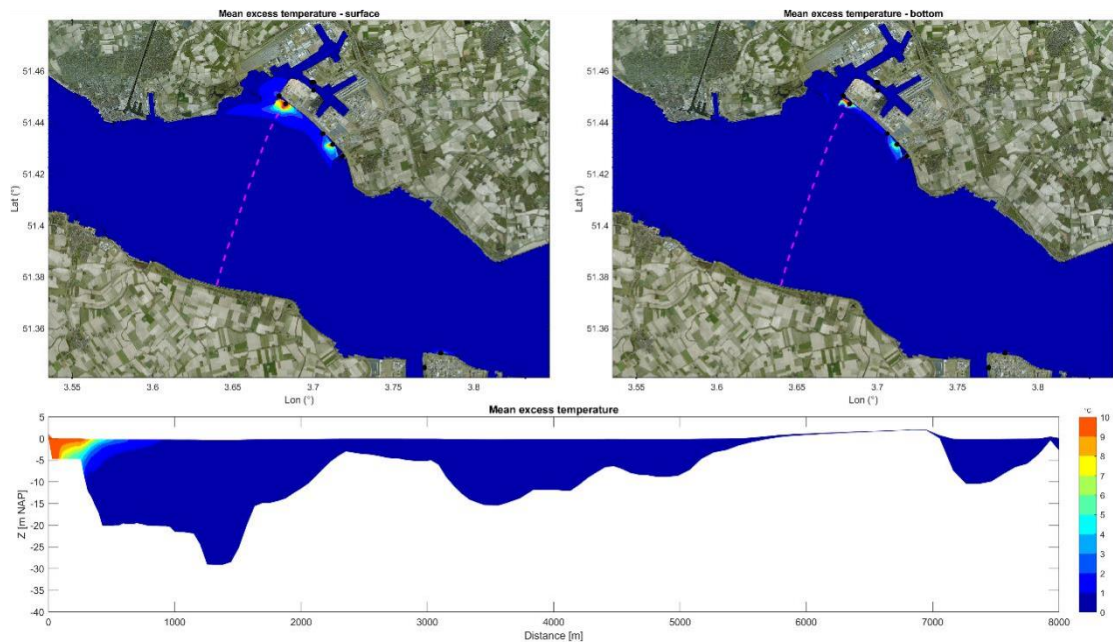
Figuur B.6 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario05).



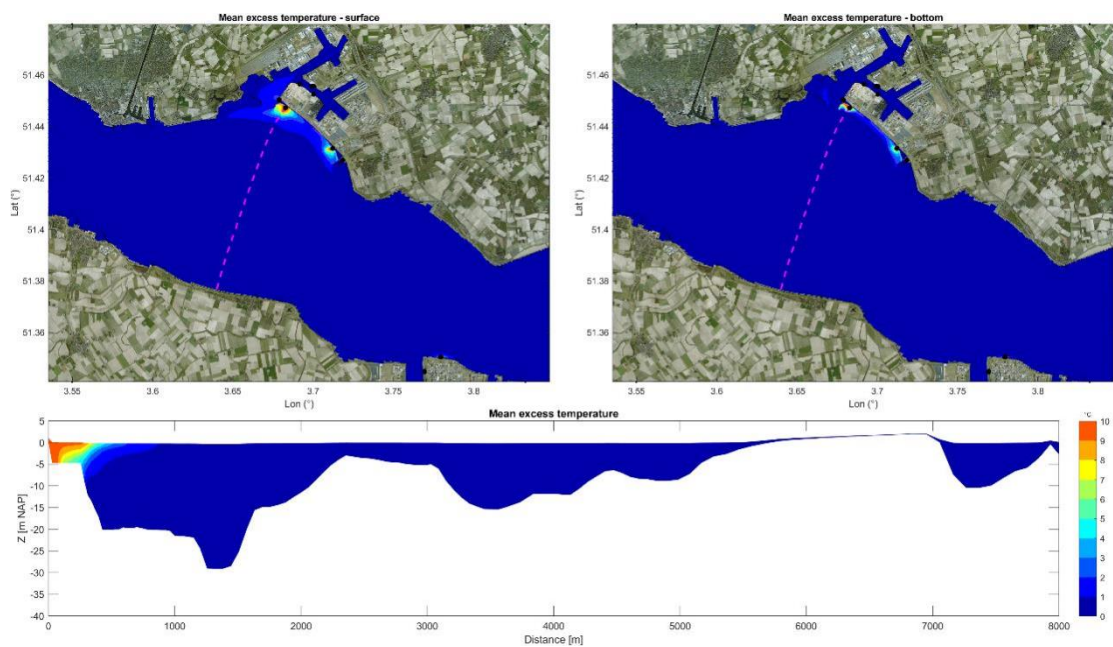
Figuur B.7 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario06).



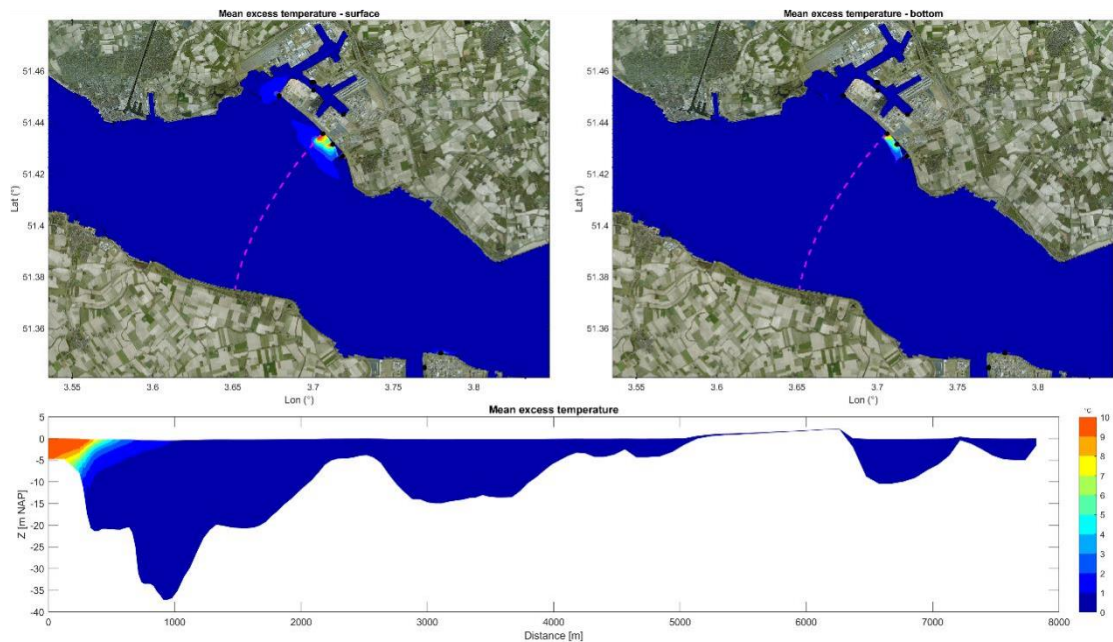
Figuur B.8 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario07).



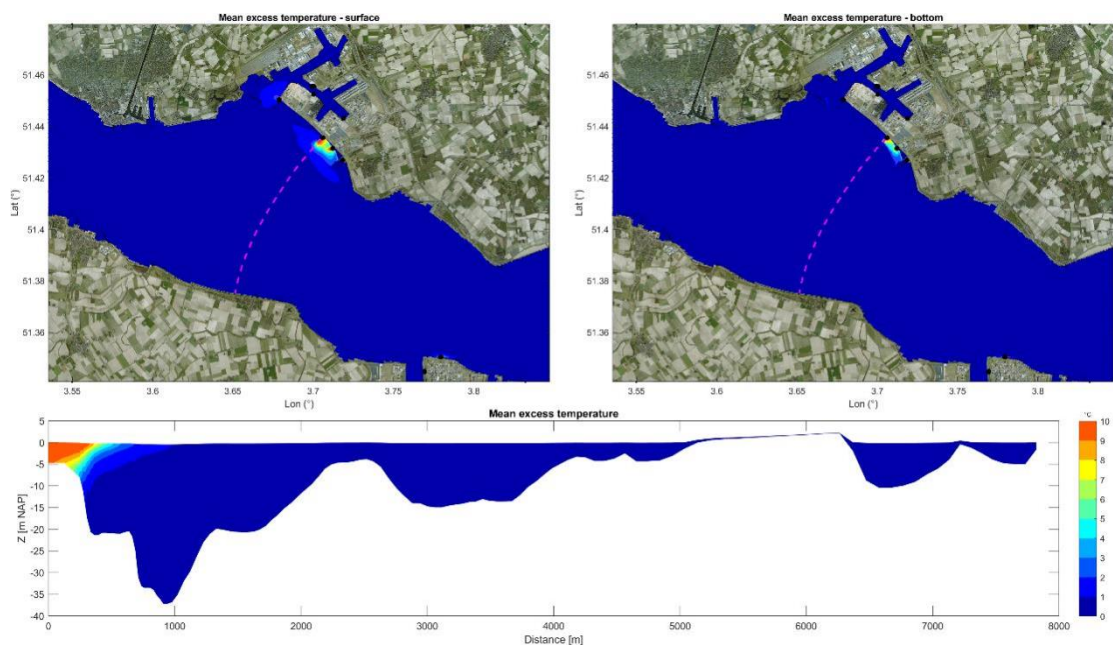
Figuur B.9 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario08).



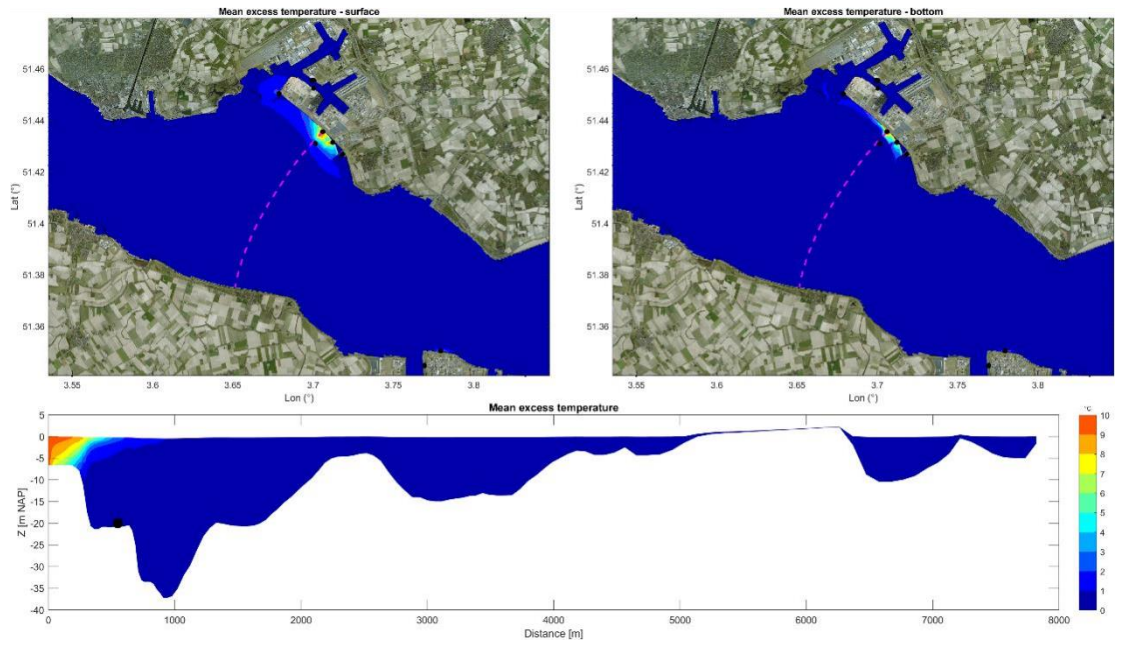
Figuur B.10 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario09).



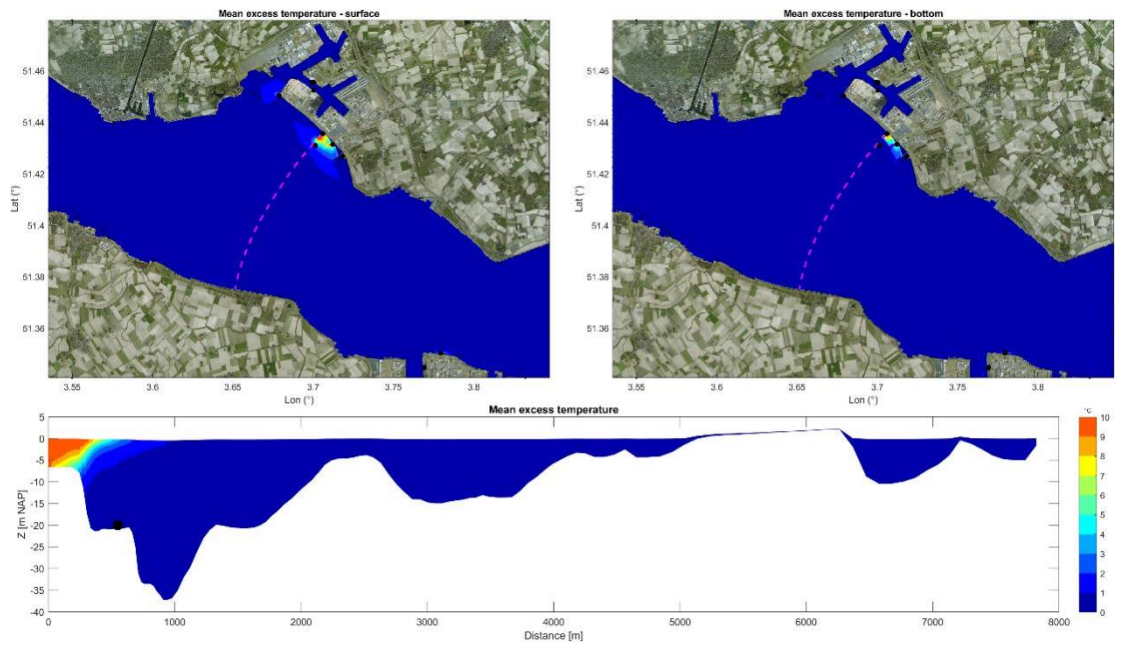
Figuur B.11 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario10).



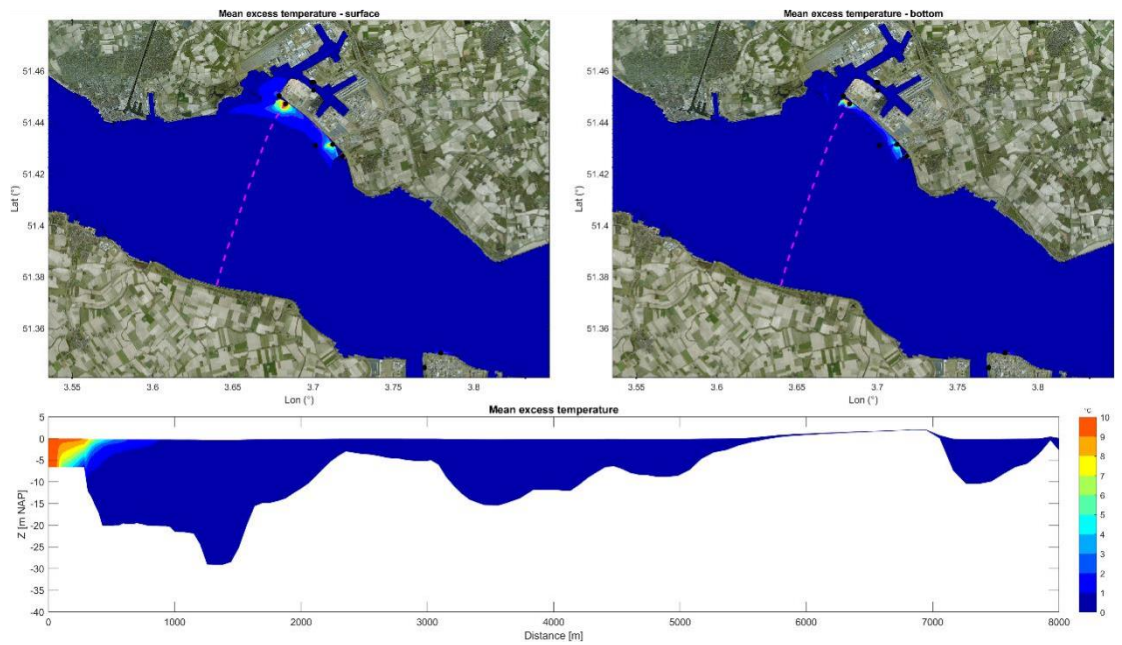
Figuur B.12 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario11).



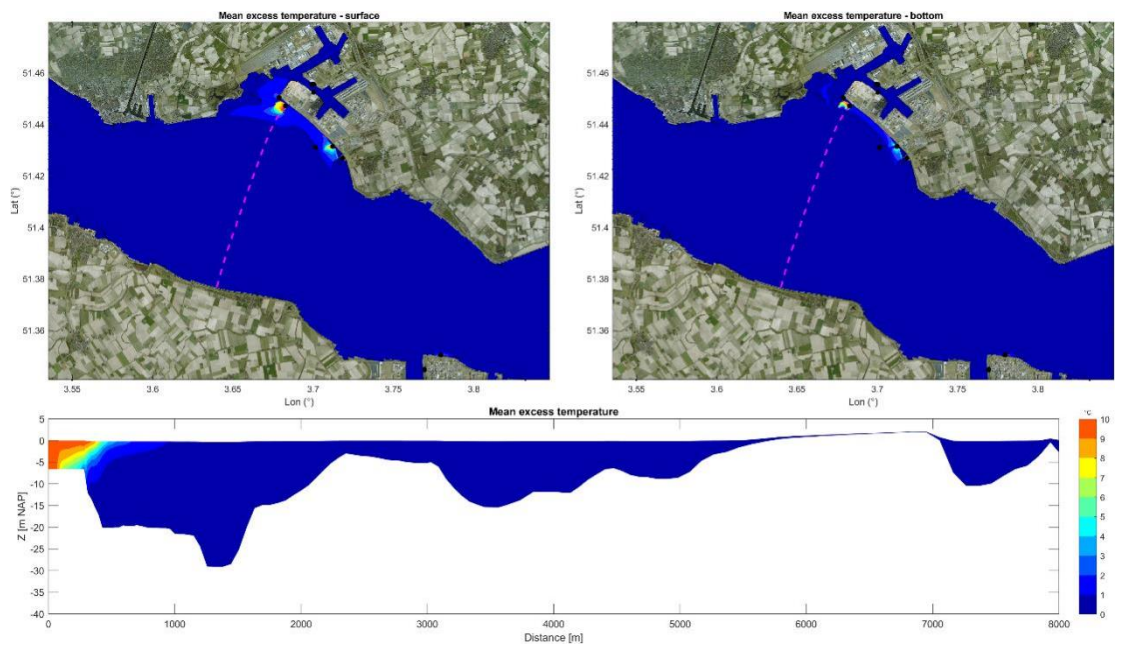
Figuur B.13 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario12).



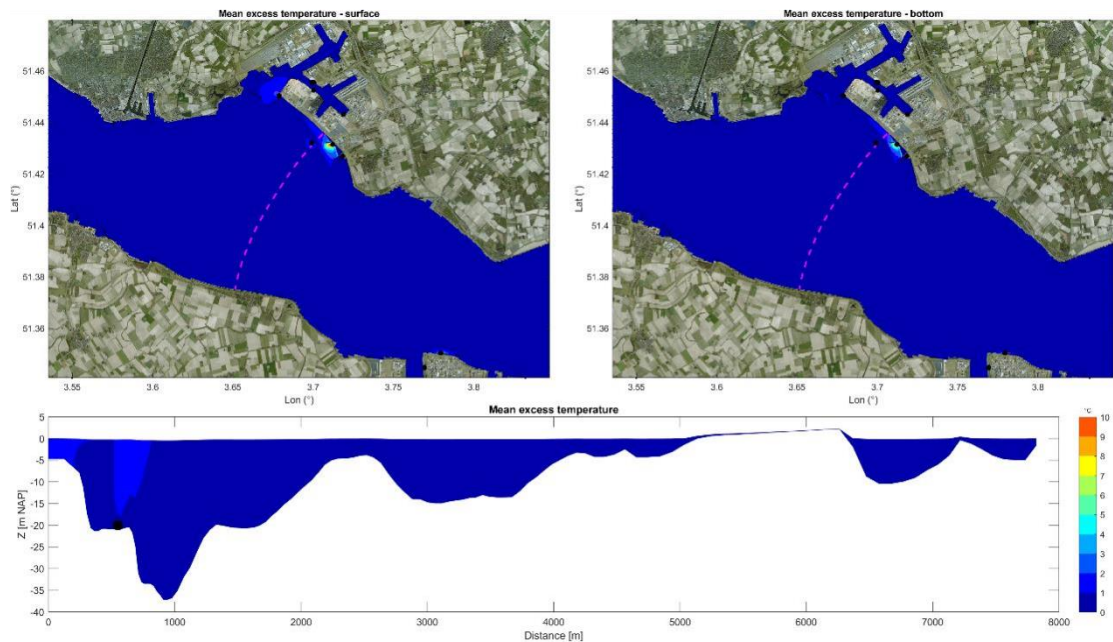
Figuur B.14 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario13).



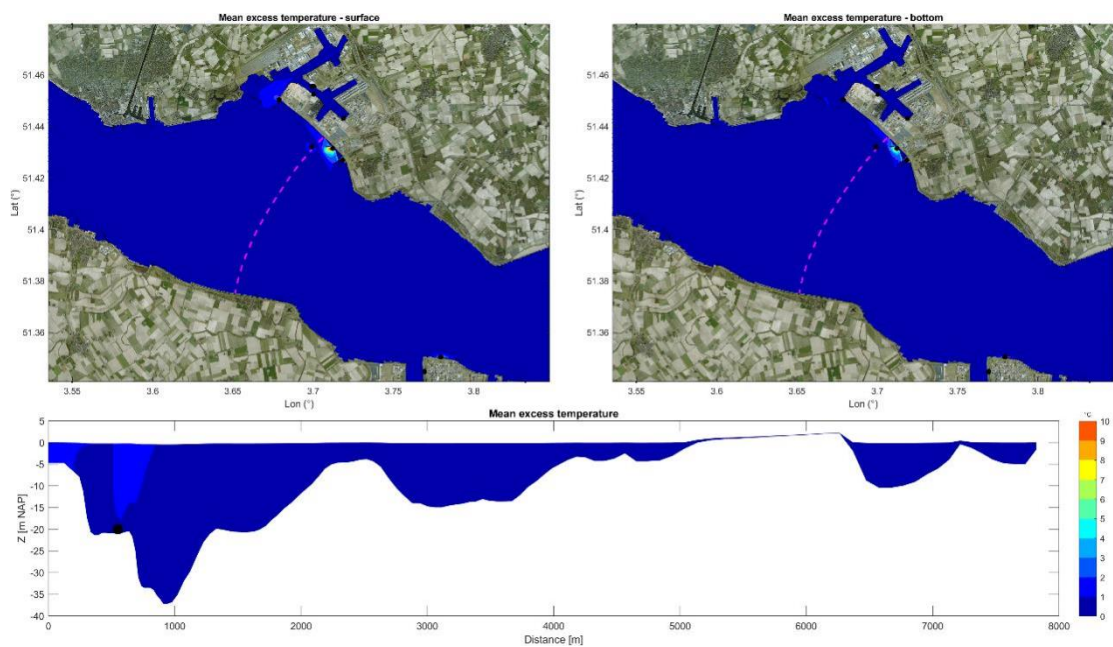
Figuur B.15 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario14).



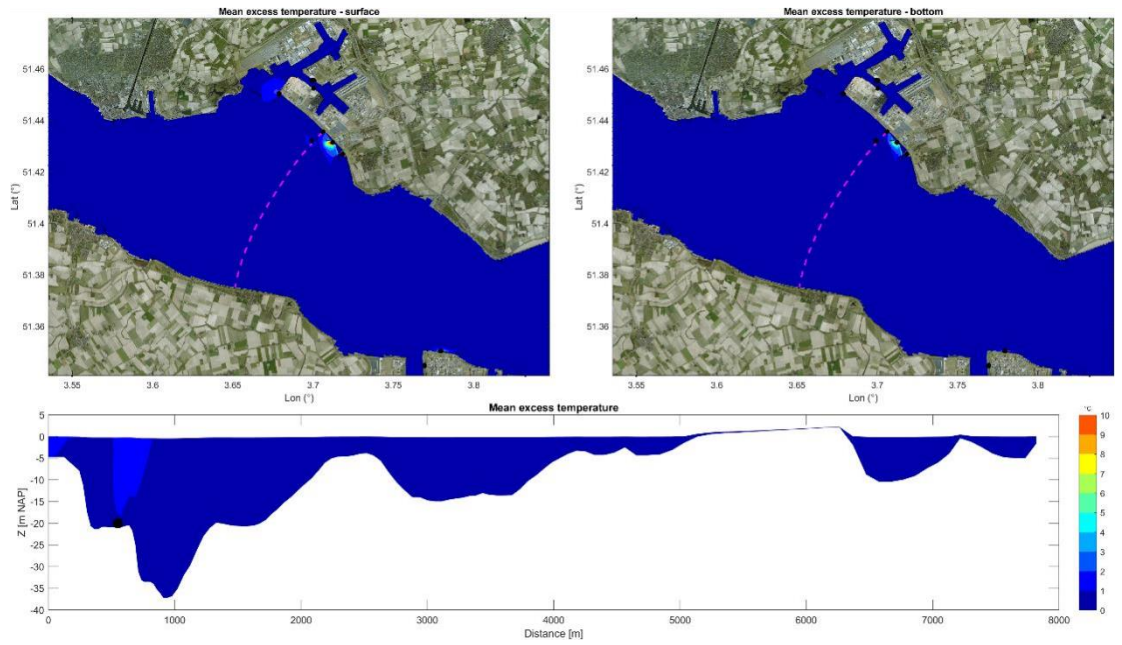
Figuur B.16 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario15).



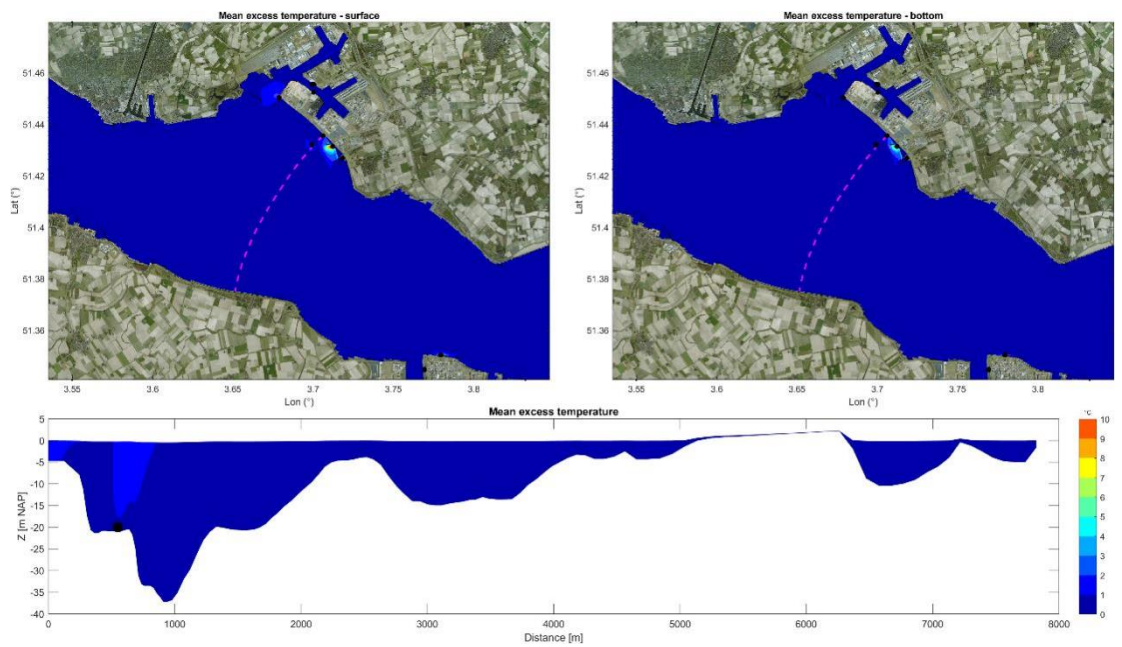
Figuur B.17 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario16).



Figuur B.18 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario17).

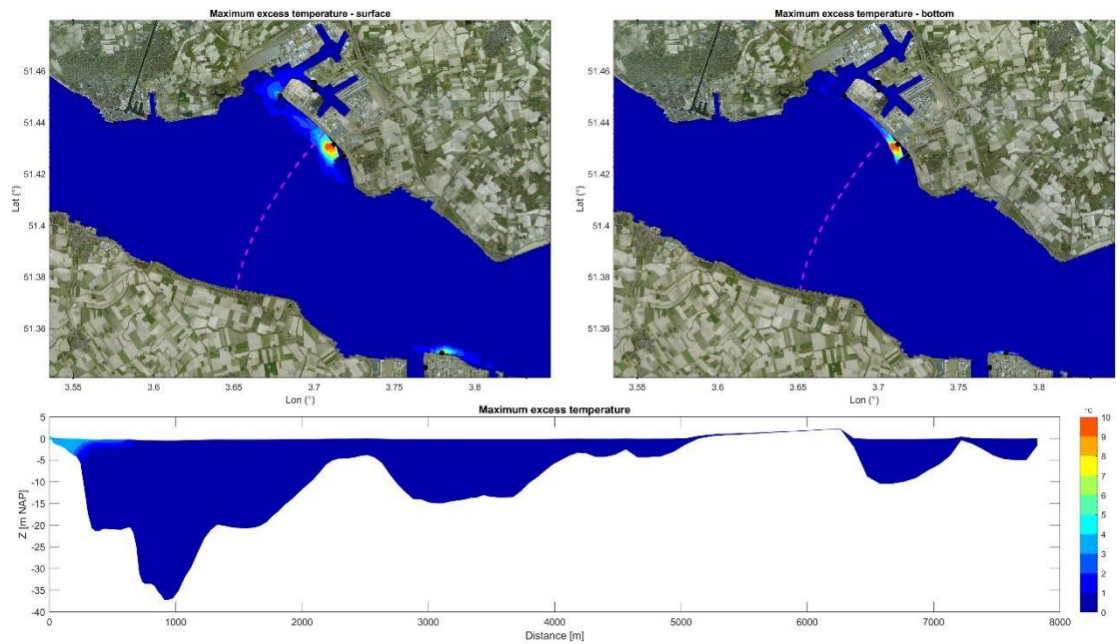


Figuur B.19 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario18).

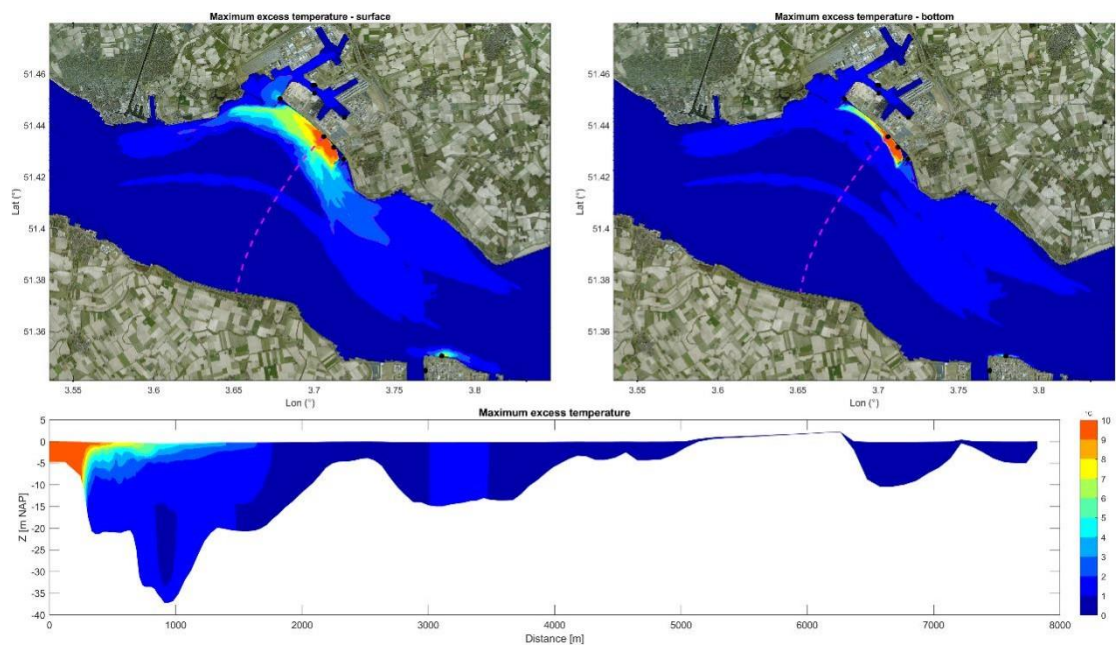


Figuur B.20 Gesimuleerde gemiddelde temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario19).

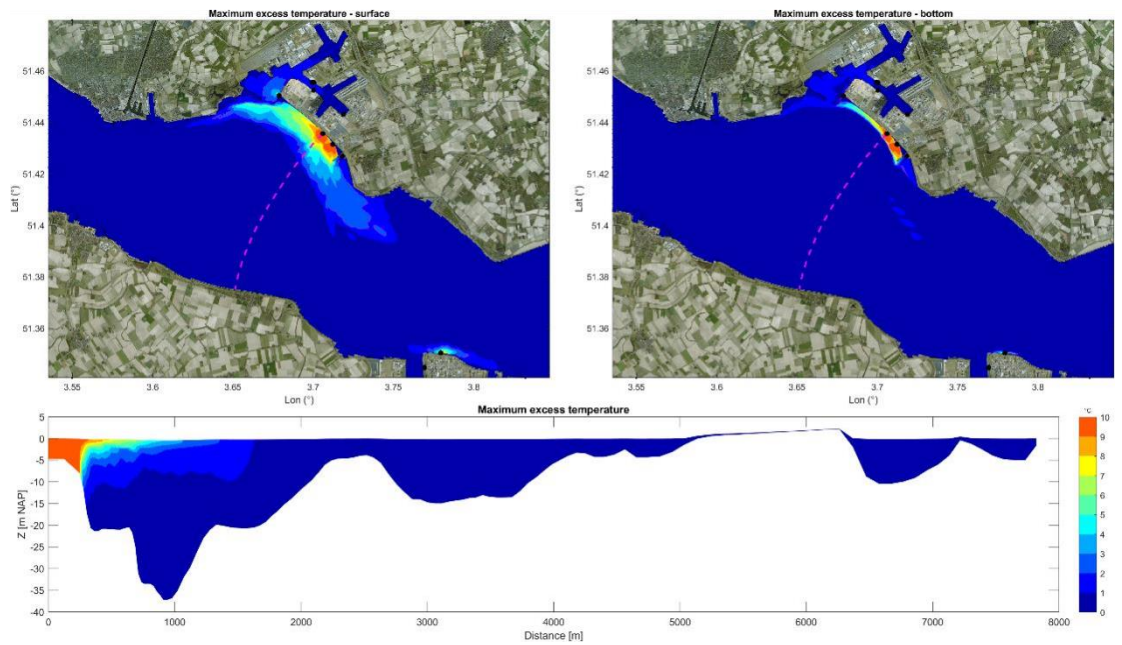
C Maximumale temperatuurvoetafdrukken



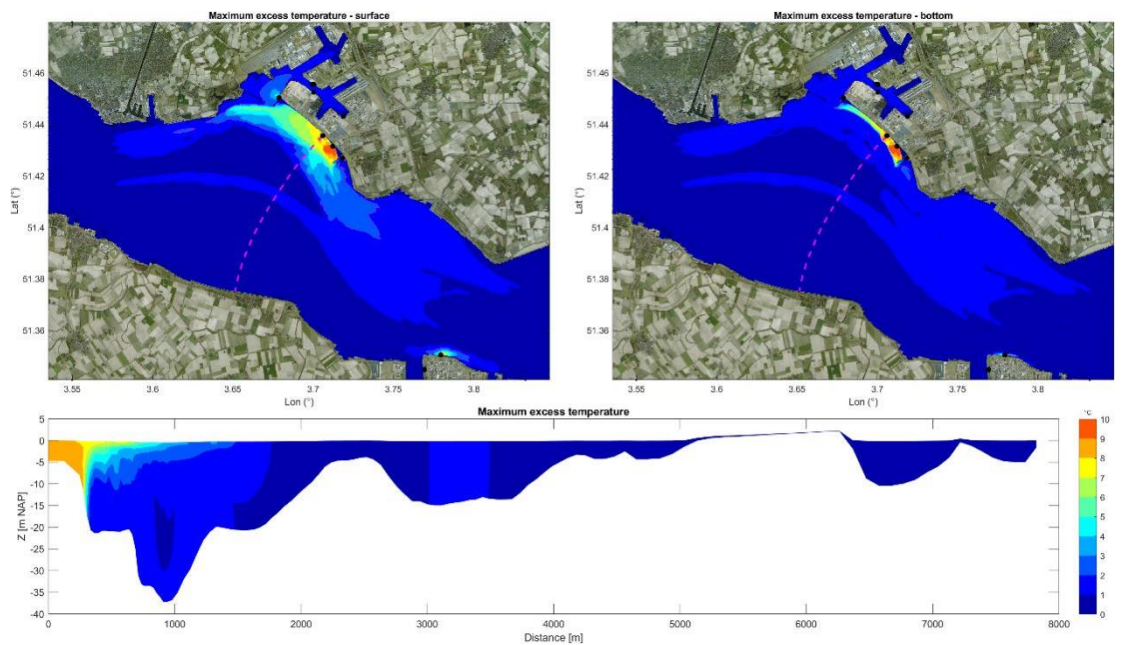
Figuur C.1 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen (Scenario0).



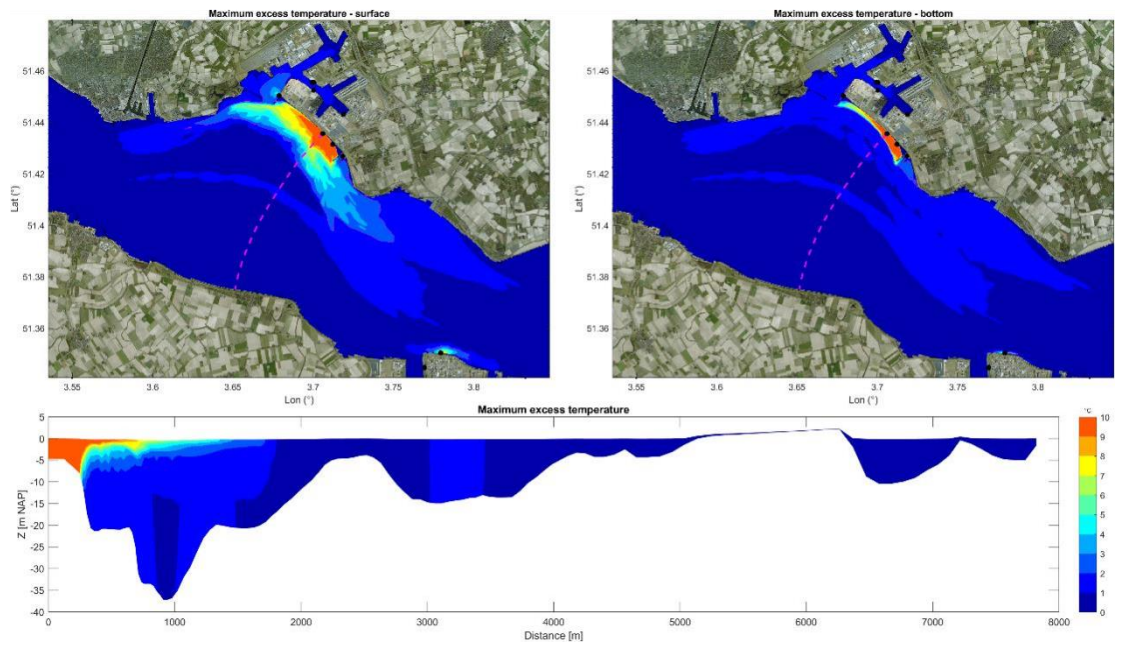
Figuur C.2 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario01).



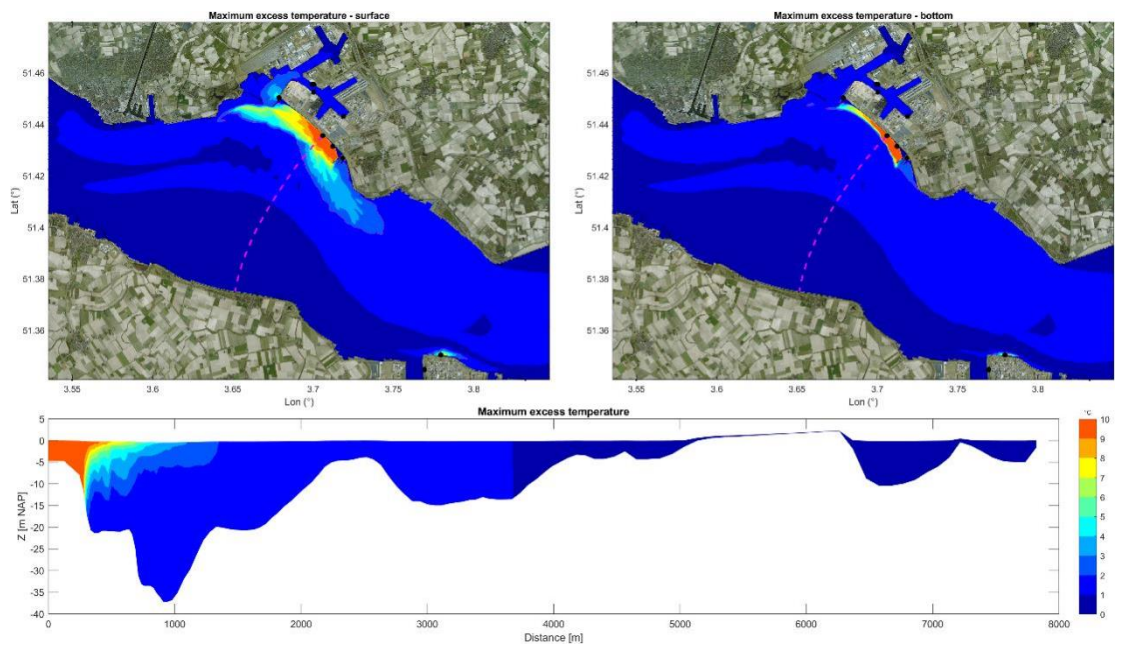
Figuur C.3 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario02).



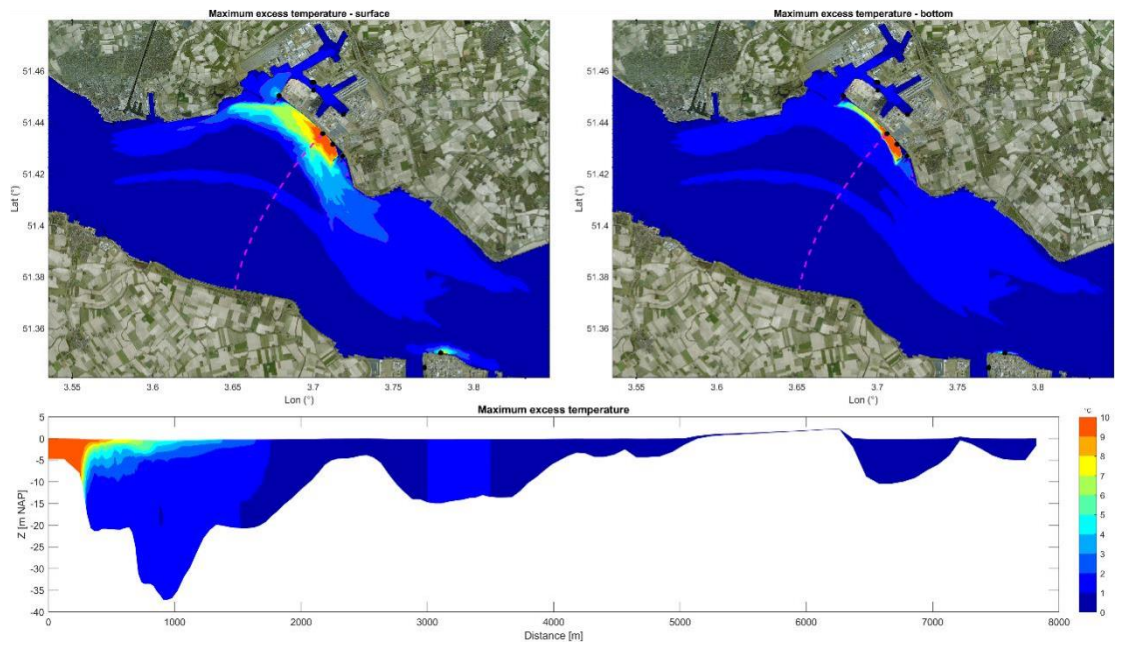
Figuur C.4 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario03).



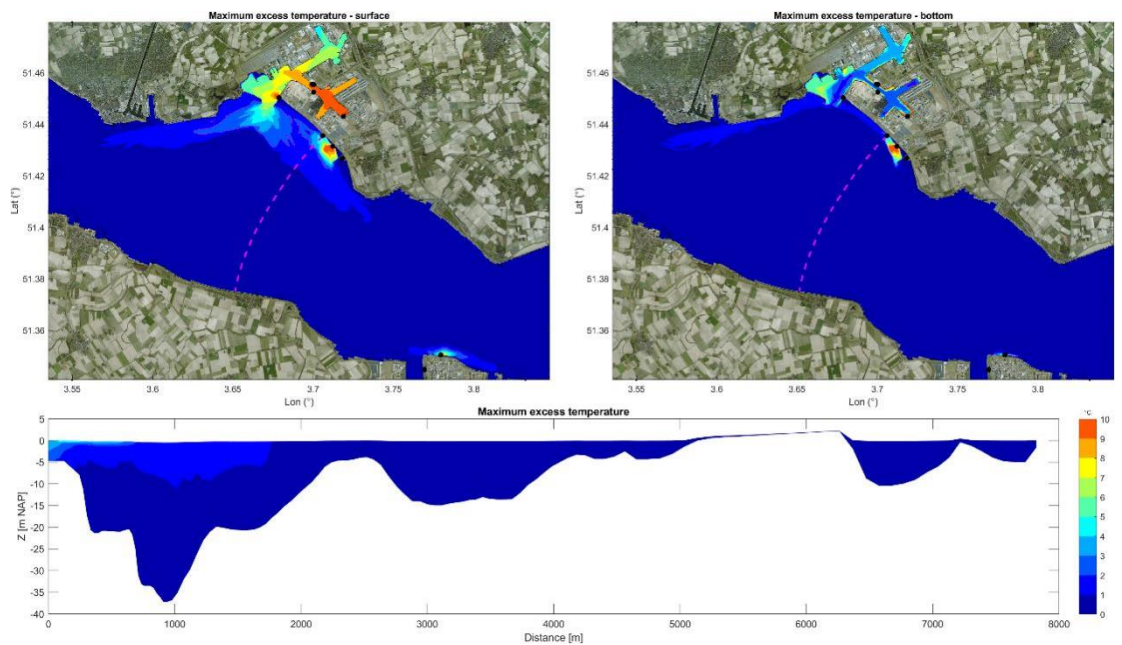
Figuur C.5 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario04).



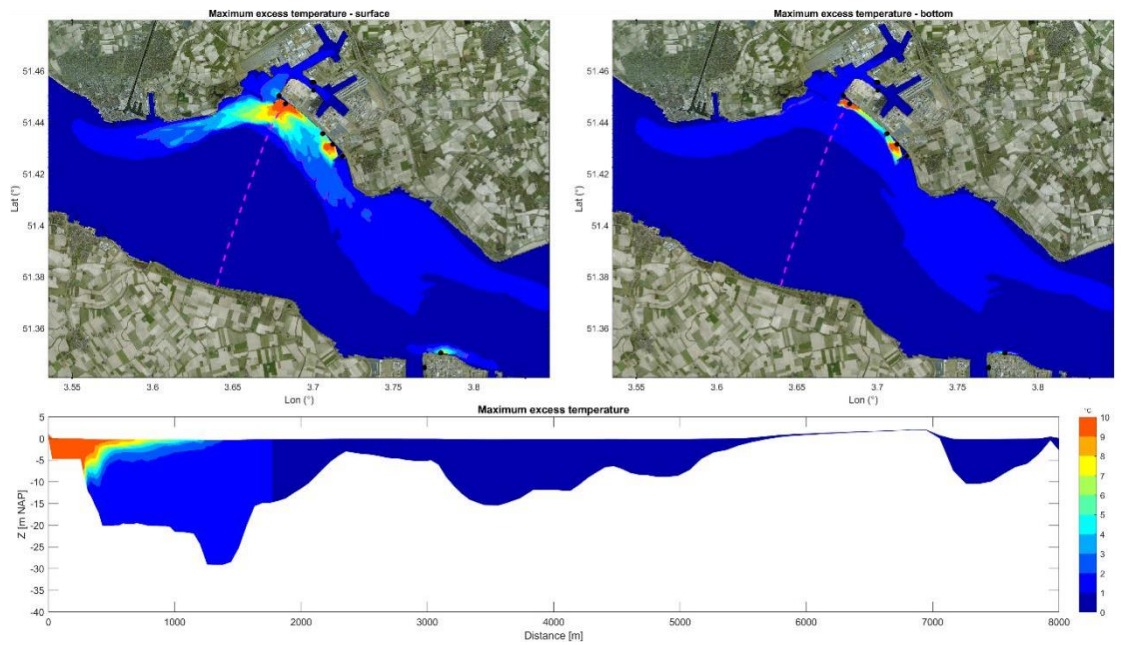
Figuur C.6 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario05).



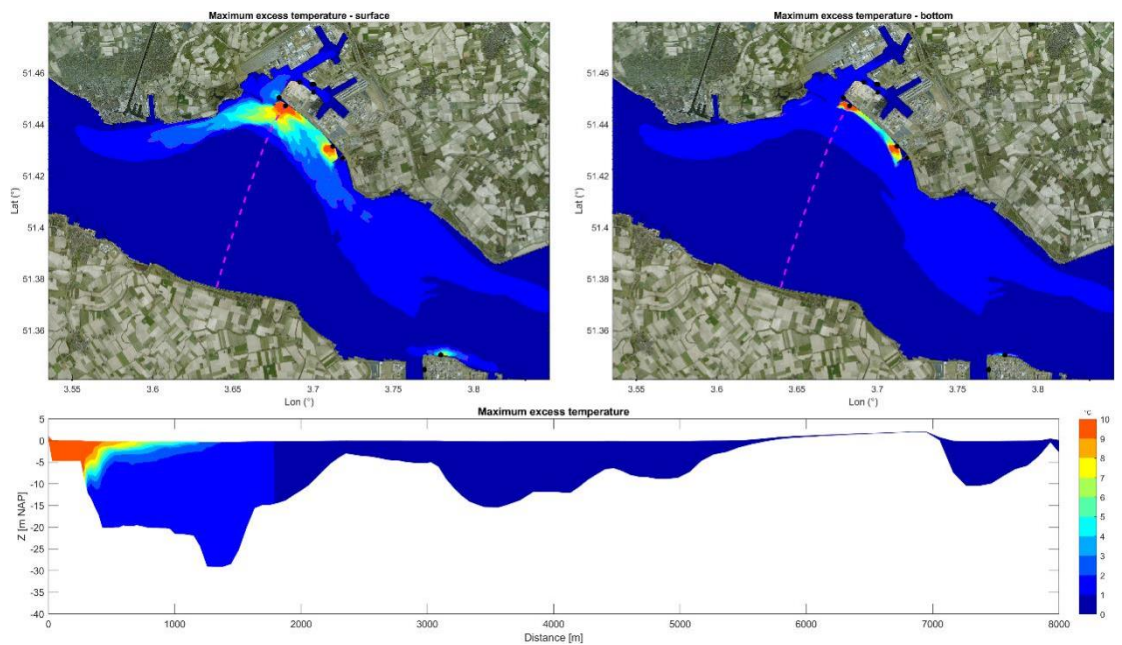
Figuur C.7 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario06).



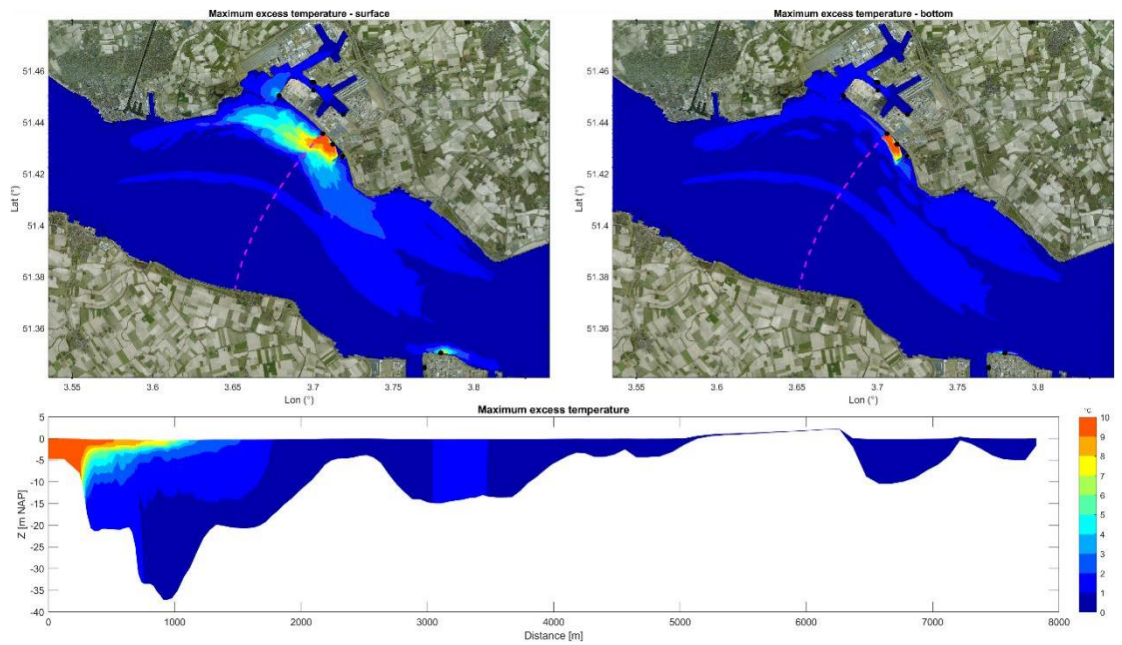
Figuur C.8 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario07).



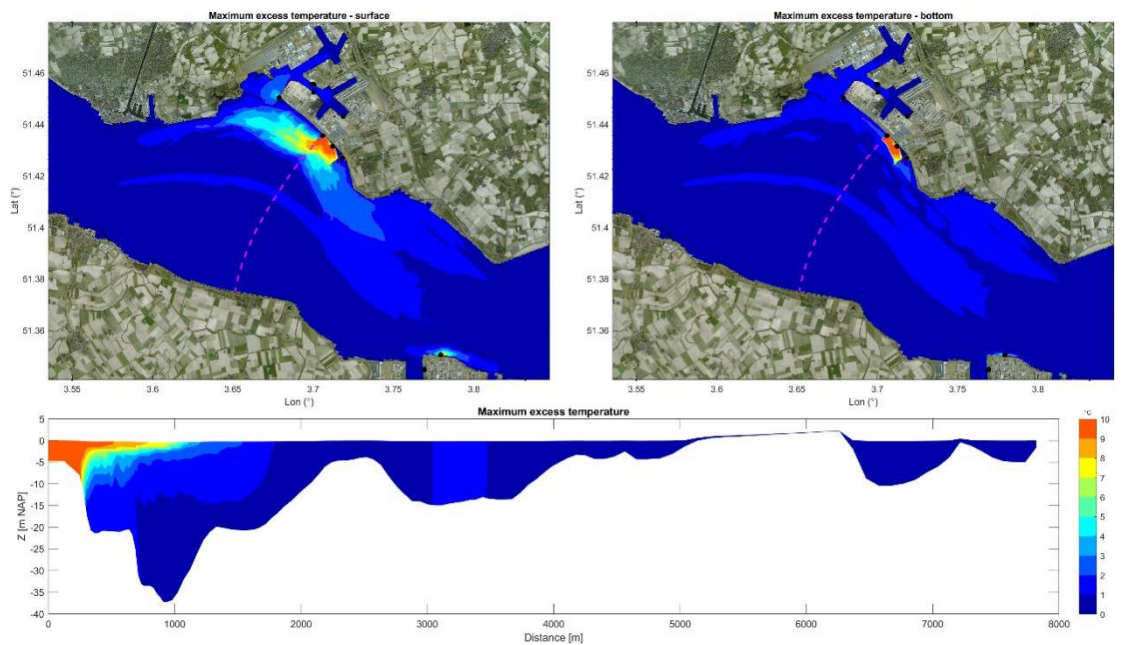
Figuur C.9 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario08).



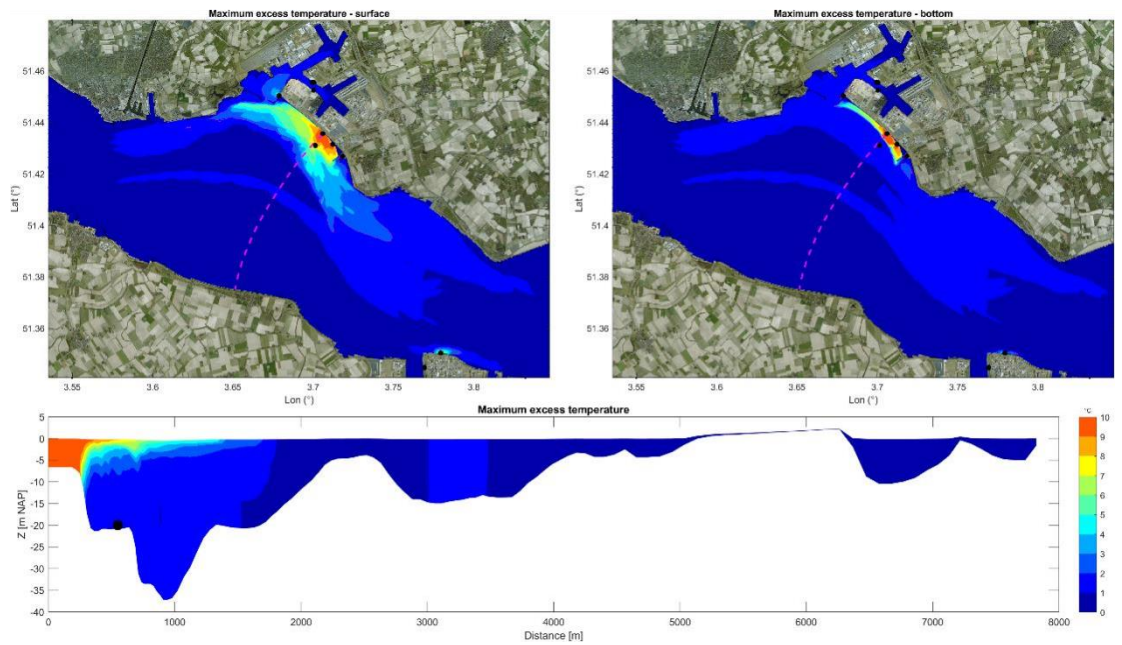
Figuur C.10 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario09).



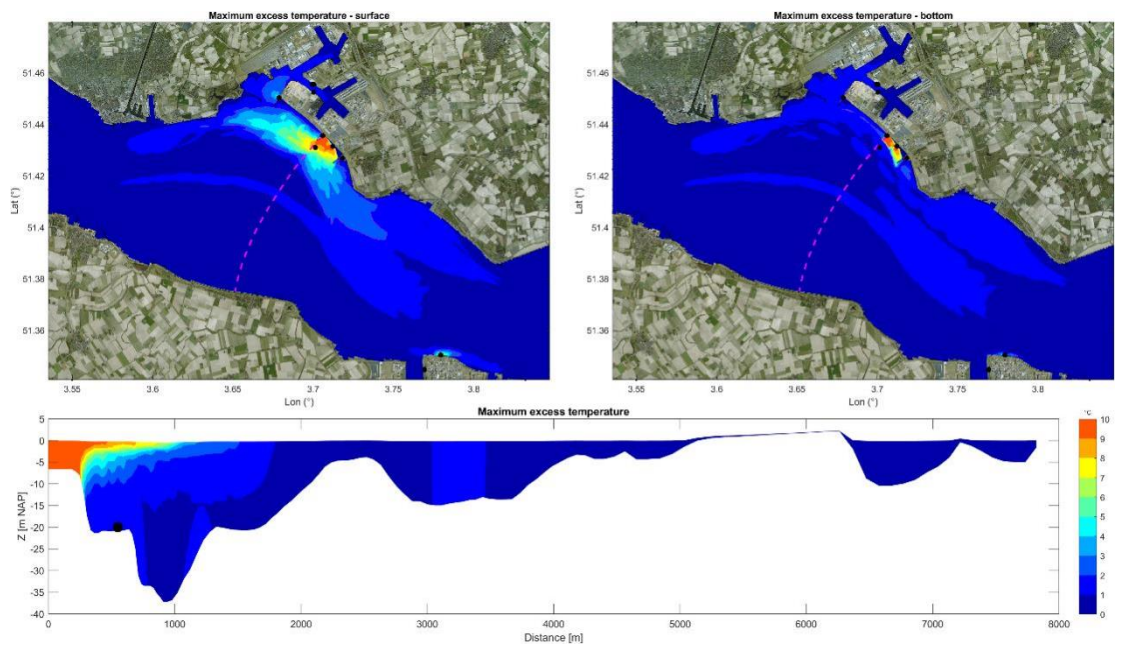
Figuur C.11 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario10).



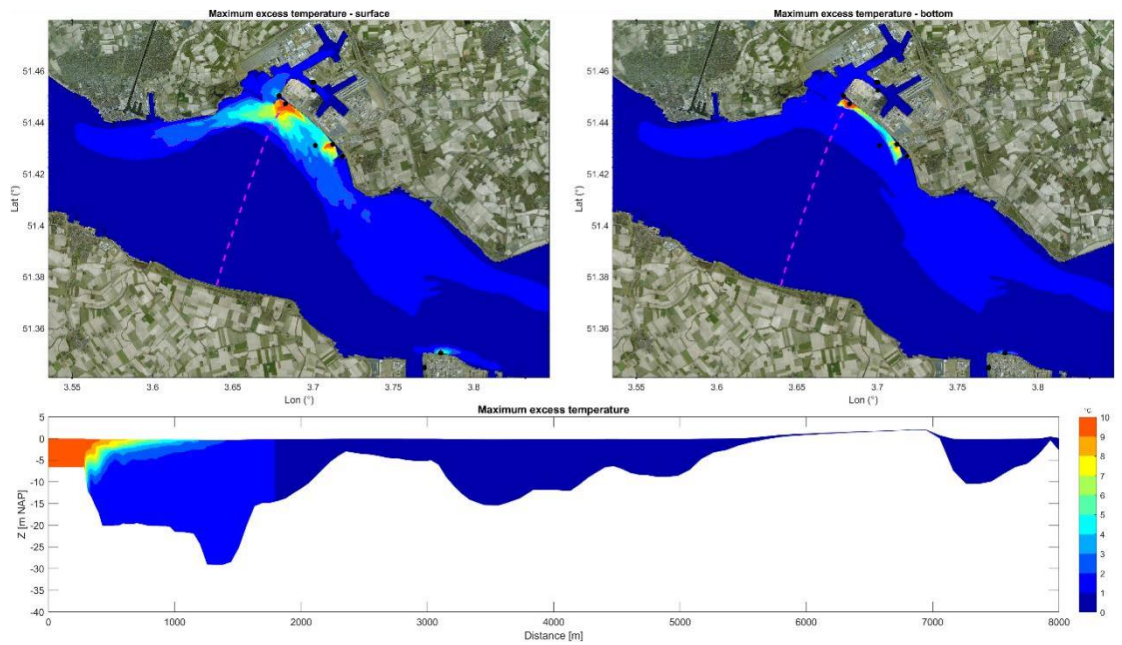
Figuur C.12 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario11).



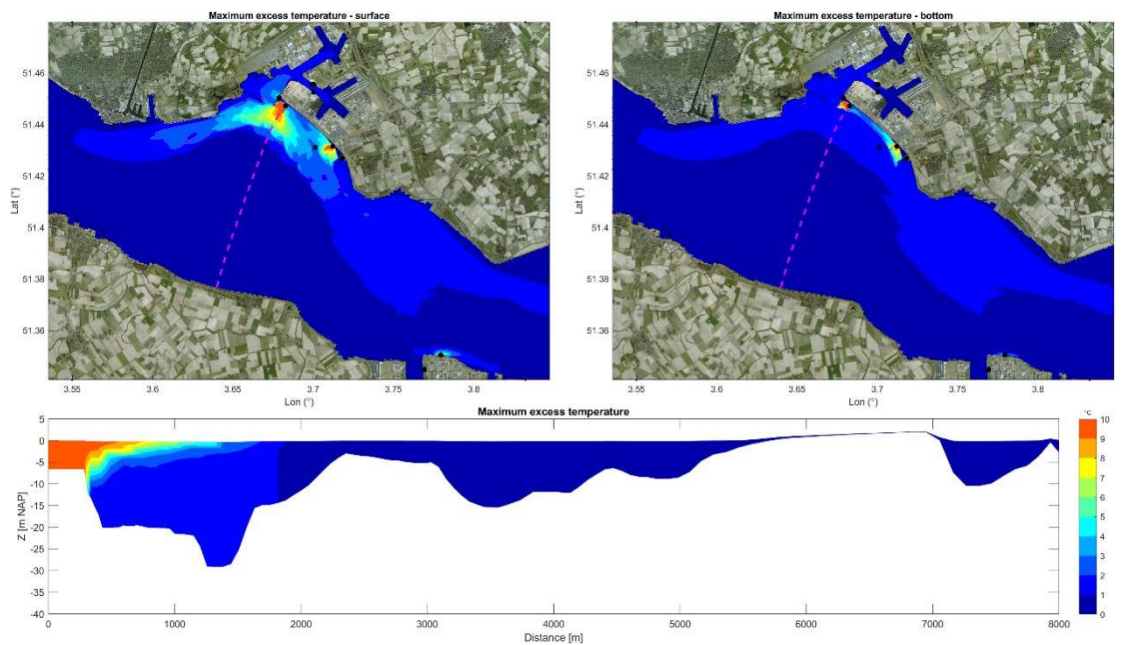
Figuur C.13 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario12).



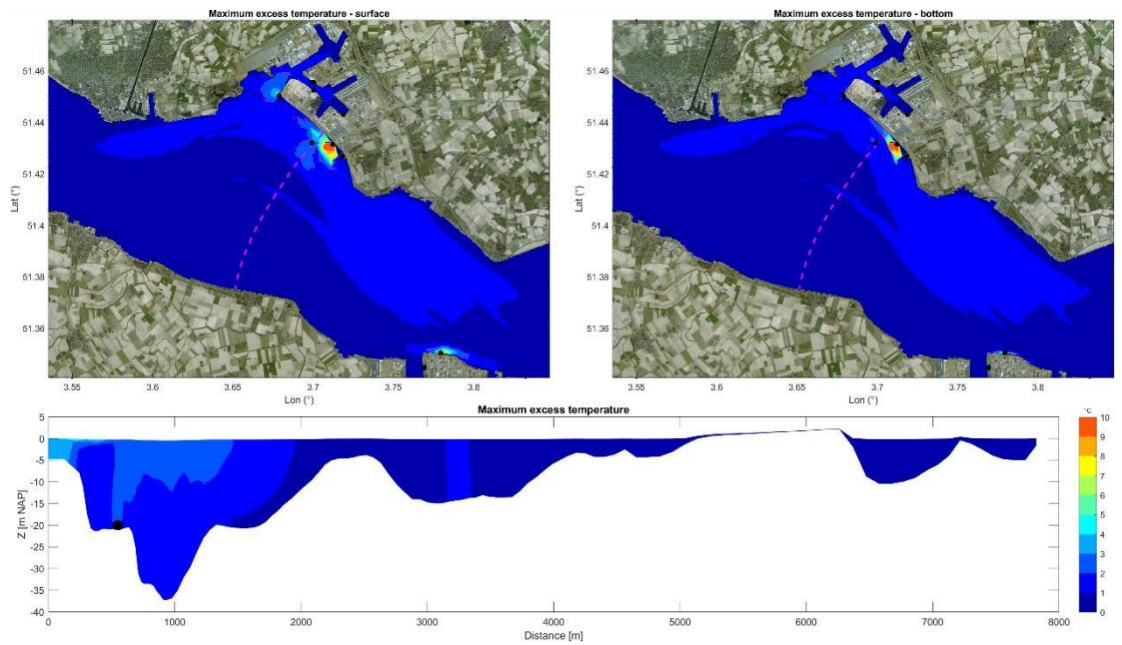
Figuur C.14 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario13).



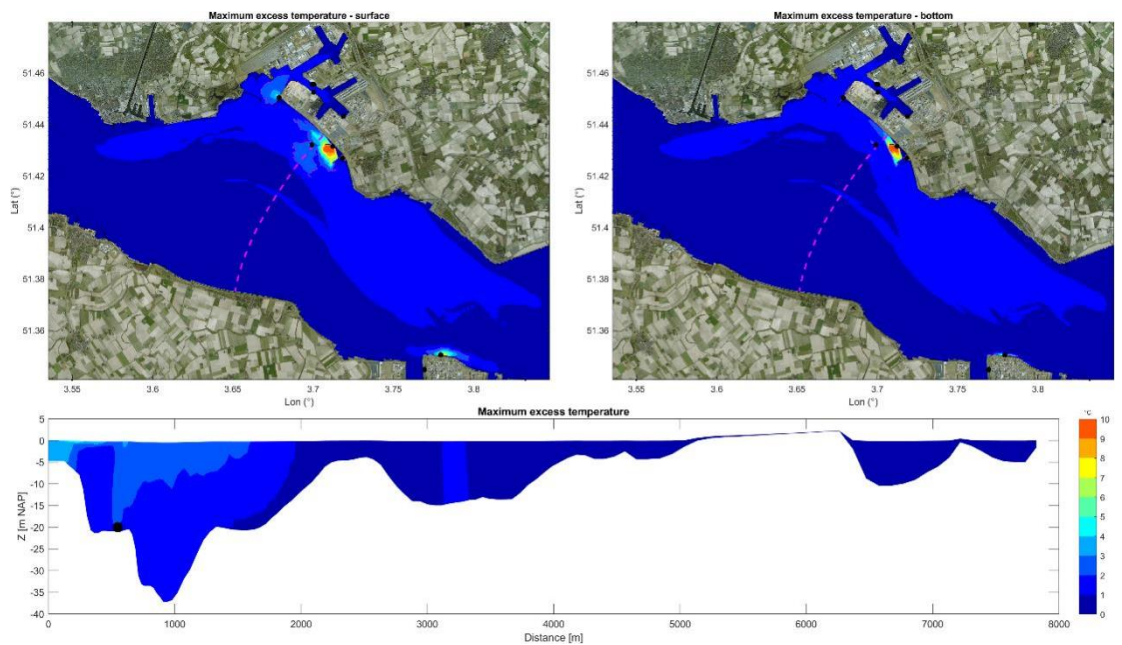
Figuur C.15 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario14).



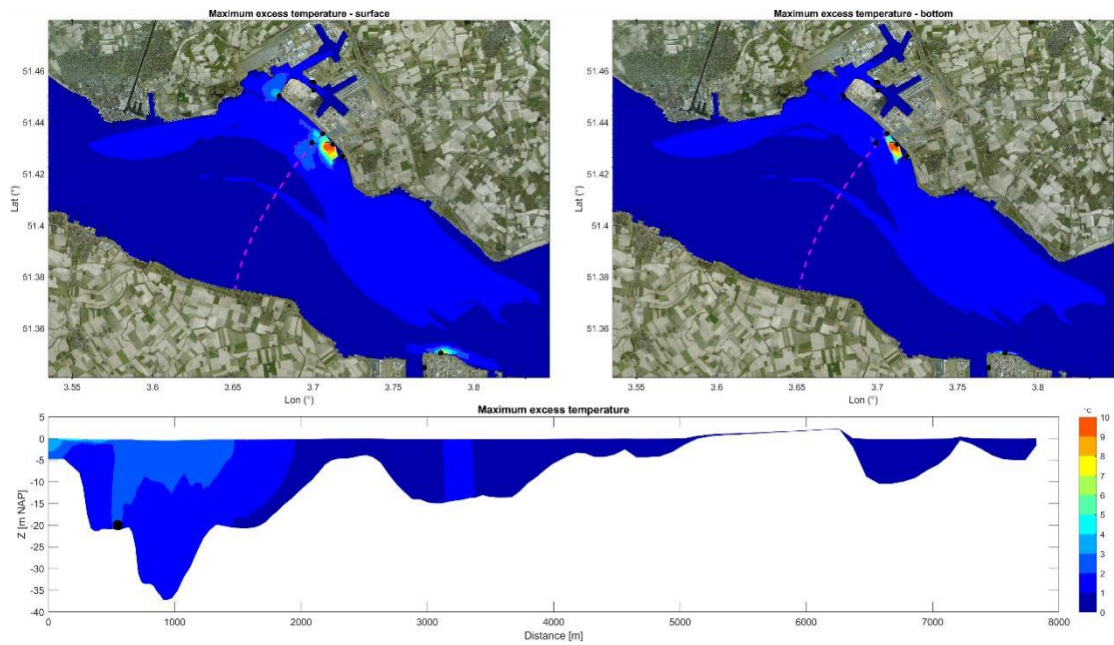
Figuur C.16 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario15).



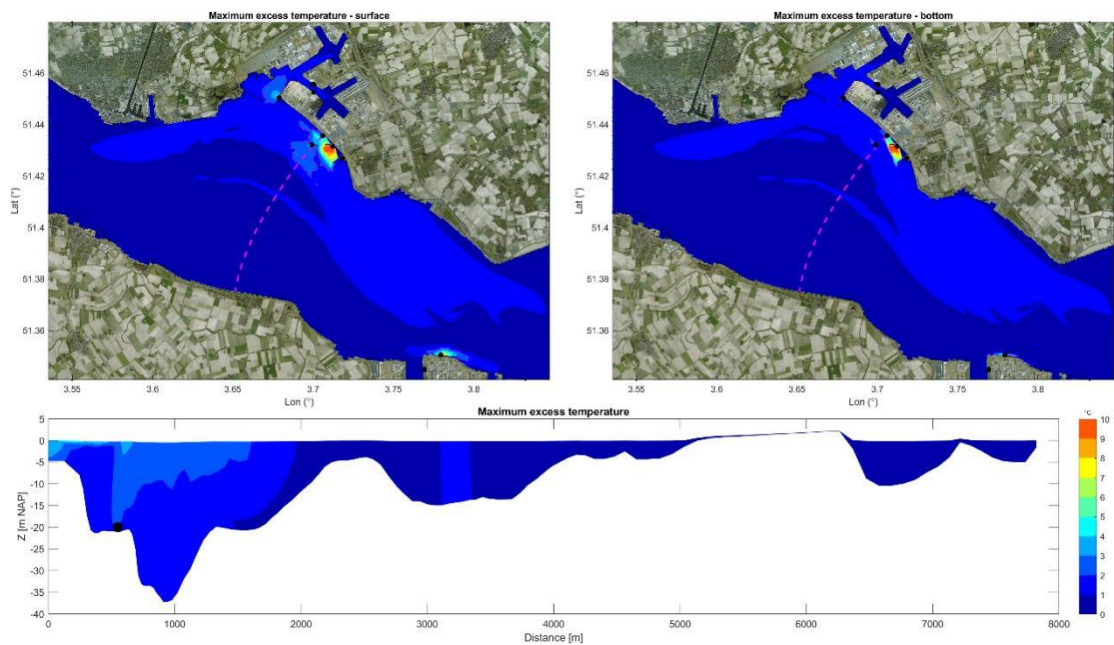
Figuur C.17 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario16).



Figuur C.18 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario17).

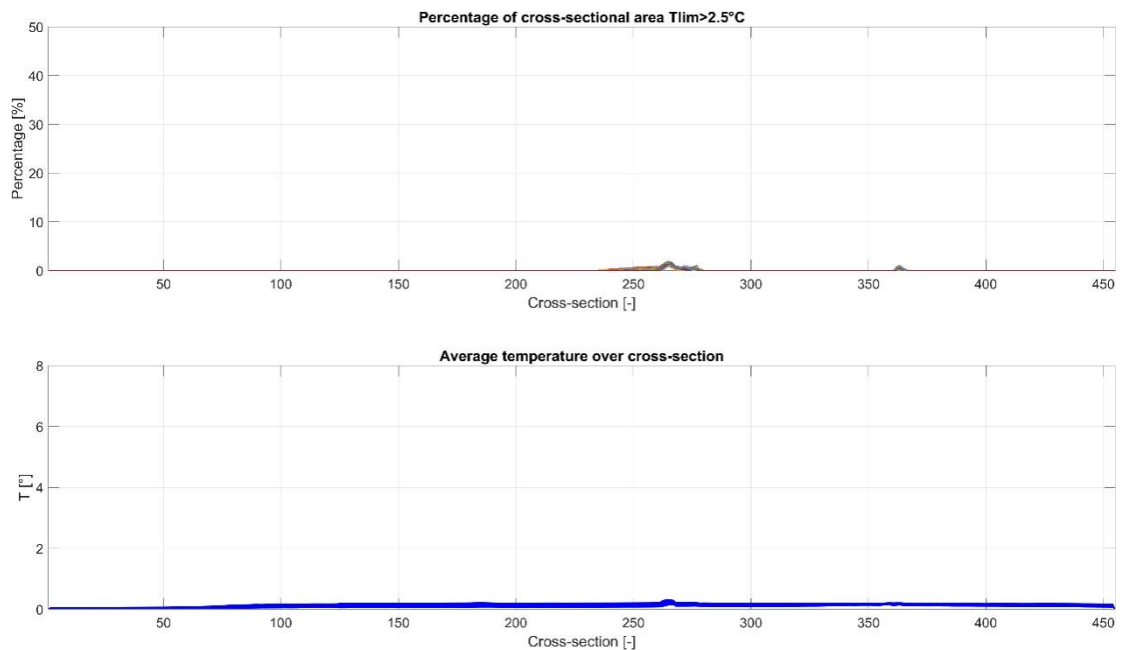


Figuur C.19 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario18).

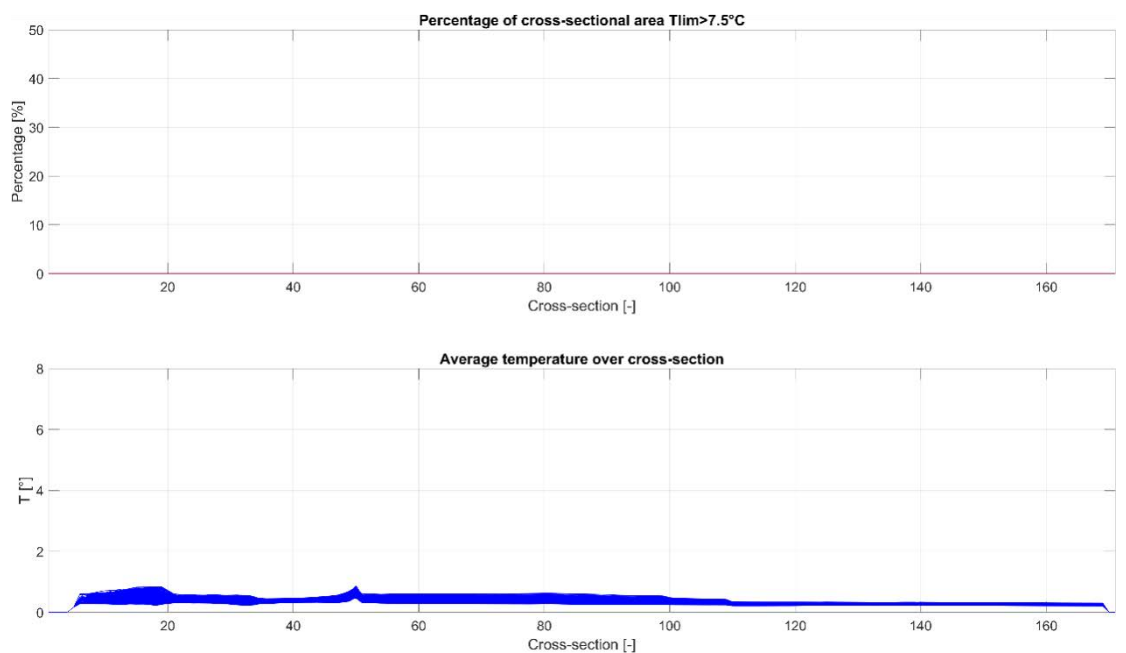


Figuur C.20 Gesimuleerde maximum temperatuurstijgingsvoetafdruk als gevolg van de bestaande warmtelozingen én de nieuwe Borssele 2-lozing (Scenario19).

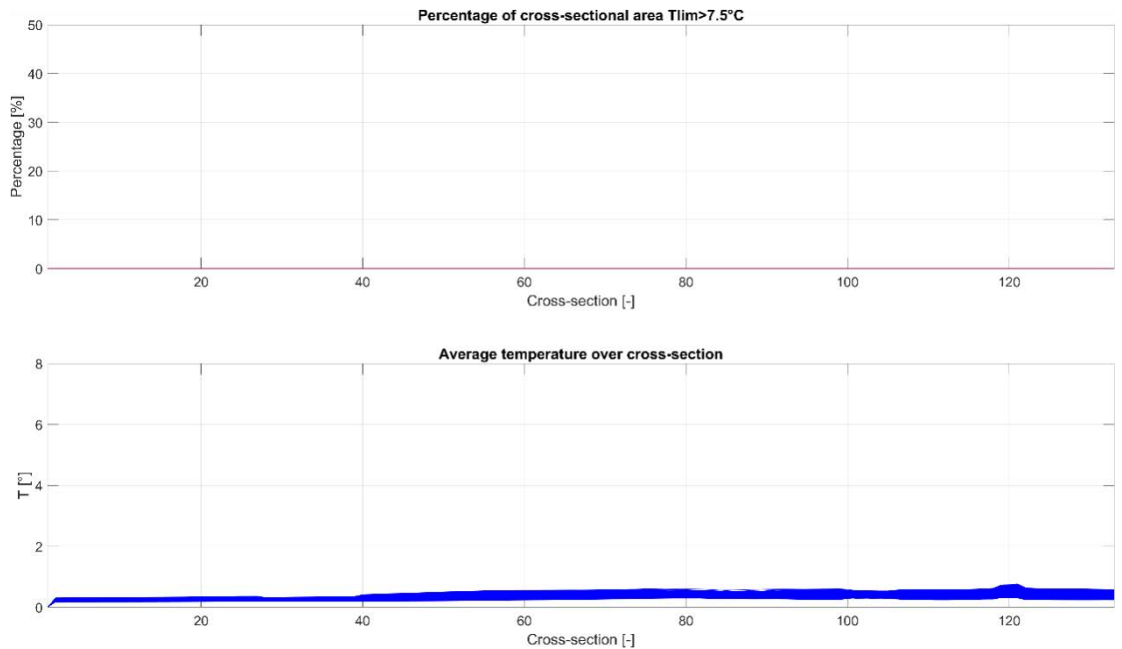
D CIW-criterium voor mengzone en gemiddelde temperatuurstijging



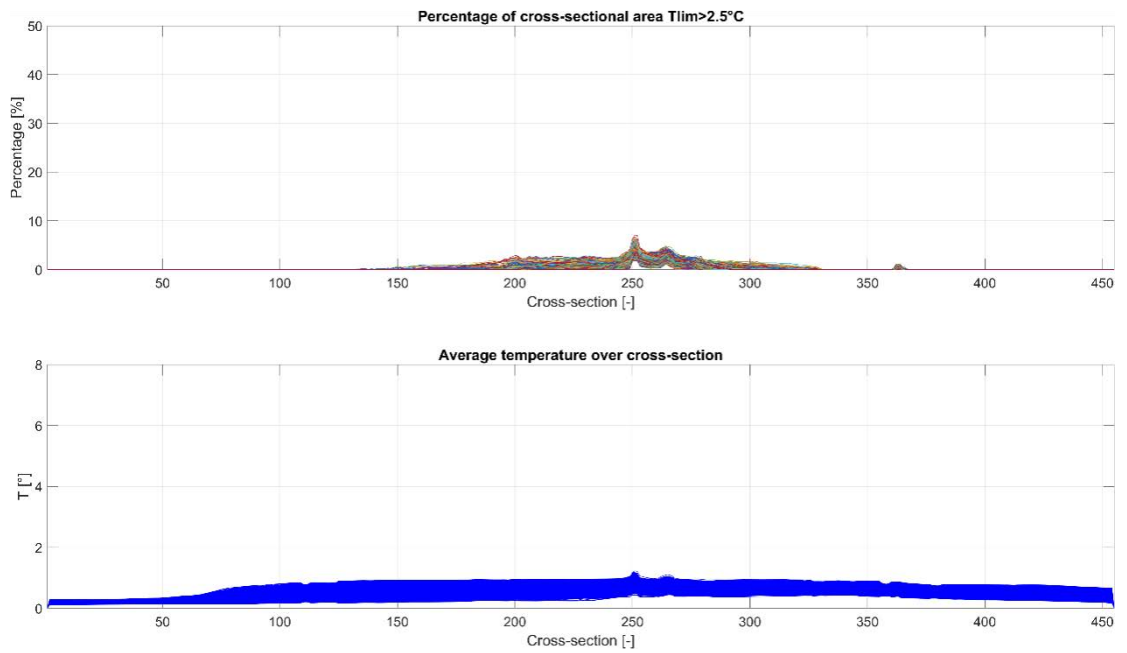
Figuur D.1 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario0).



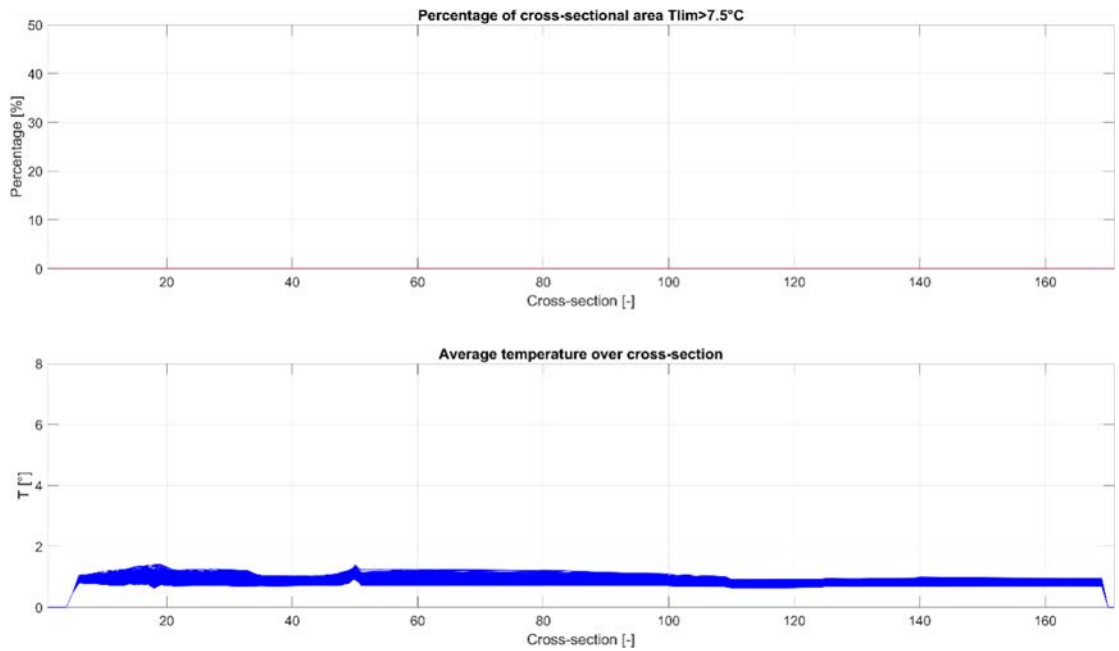
Figuur D.2 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario0).



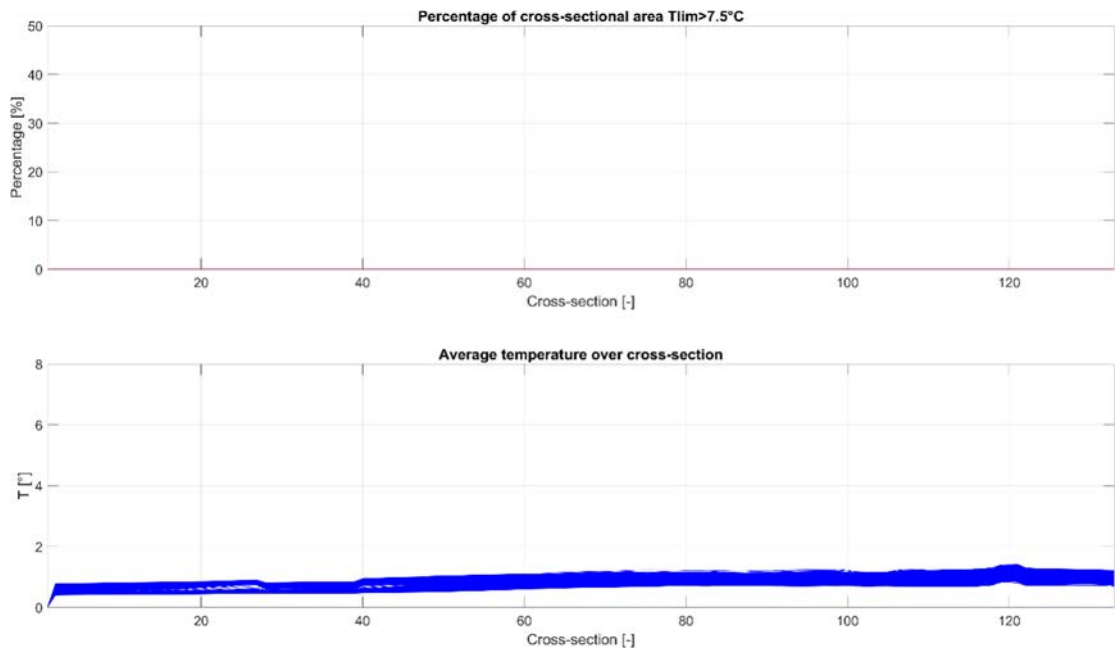
Figuur D.3 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario0).



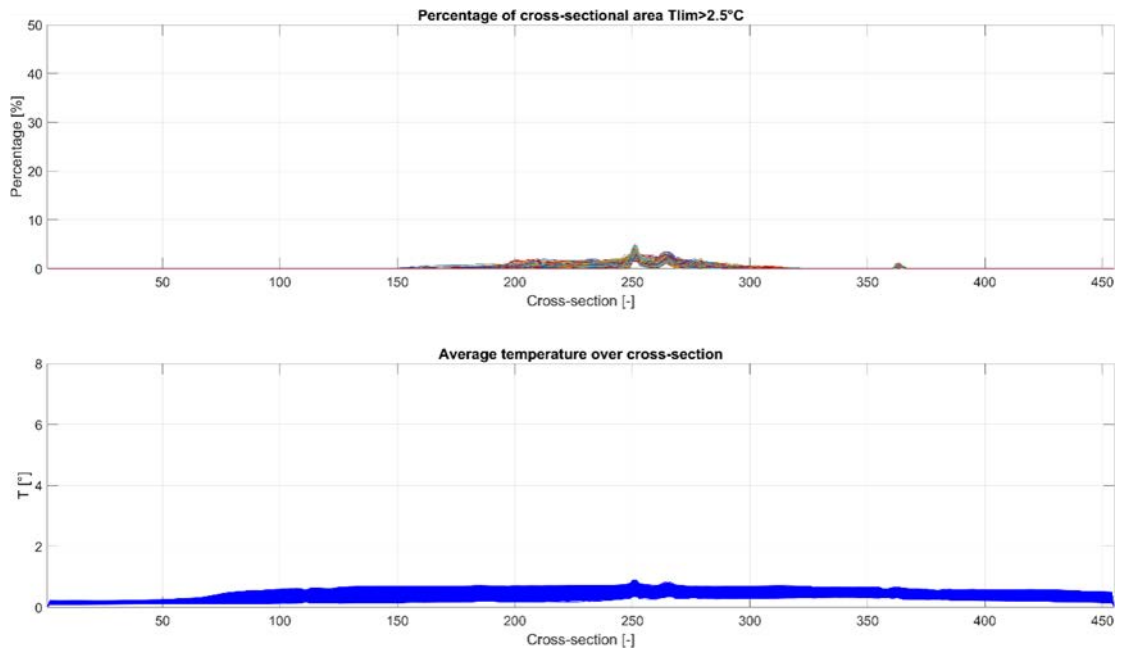
Figuur D.4 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario01).



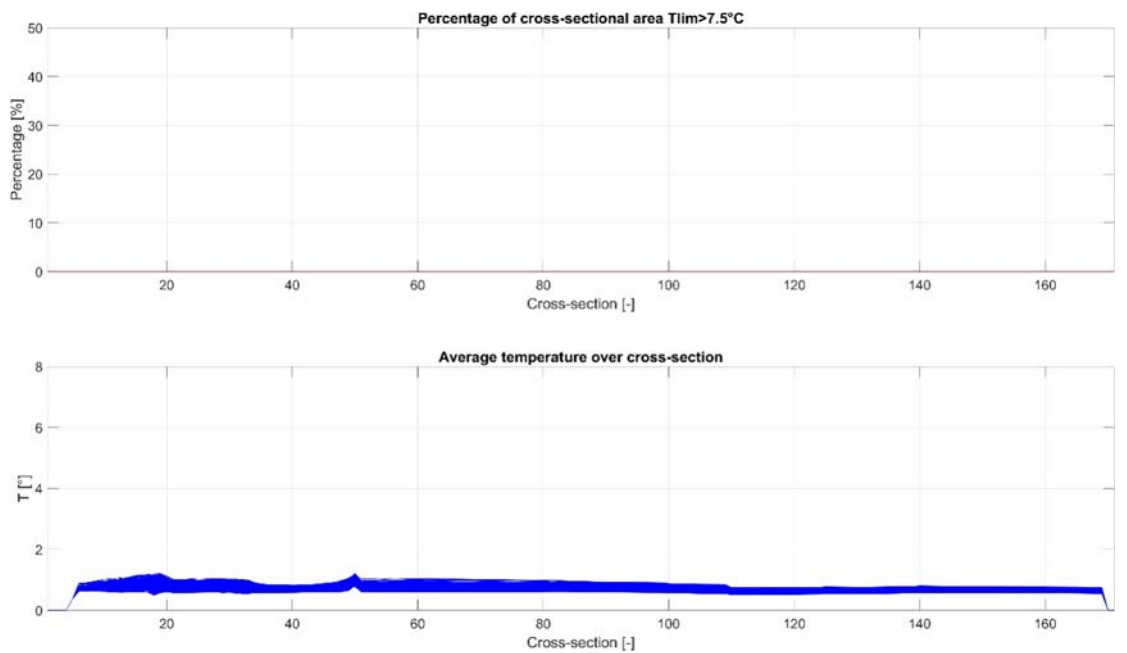
Figuur D.5 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario01).



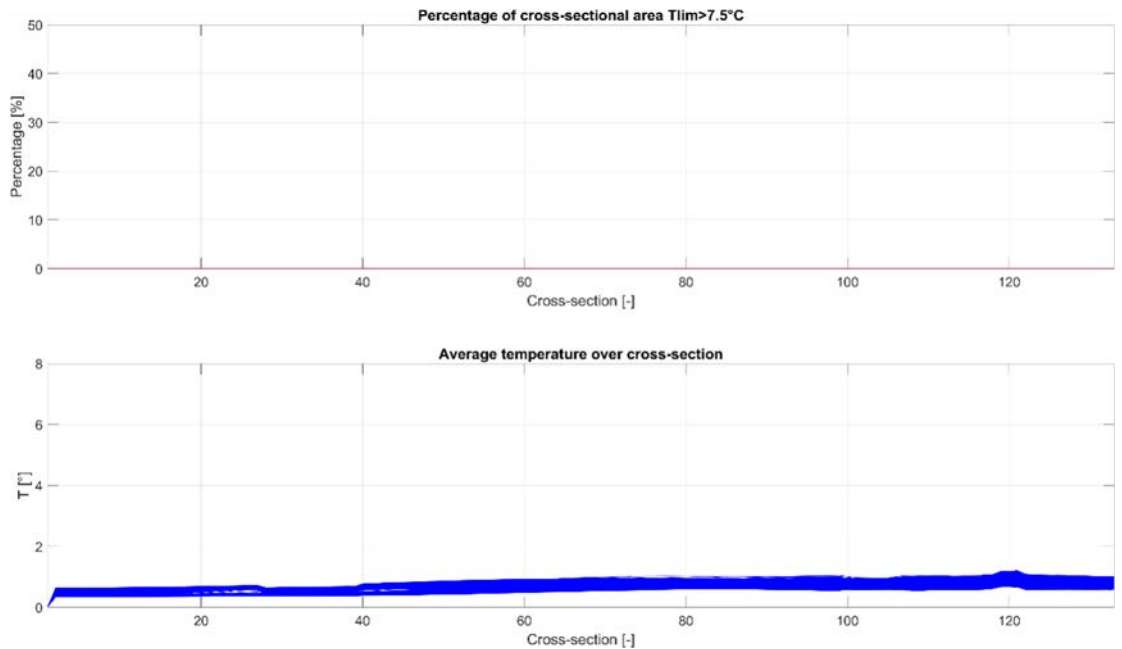
Figuur D.6 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario01).



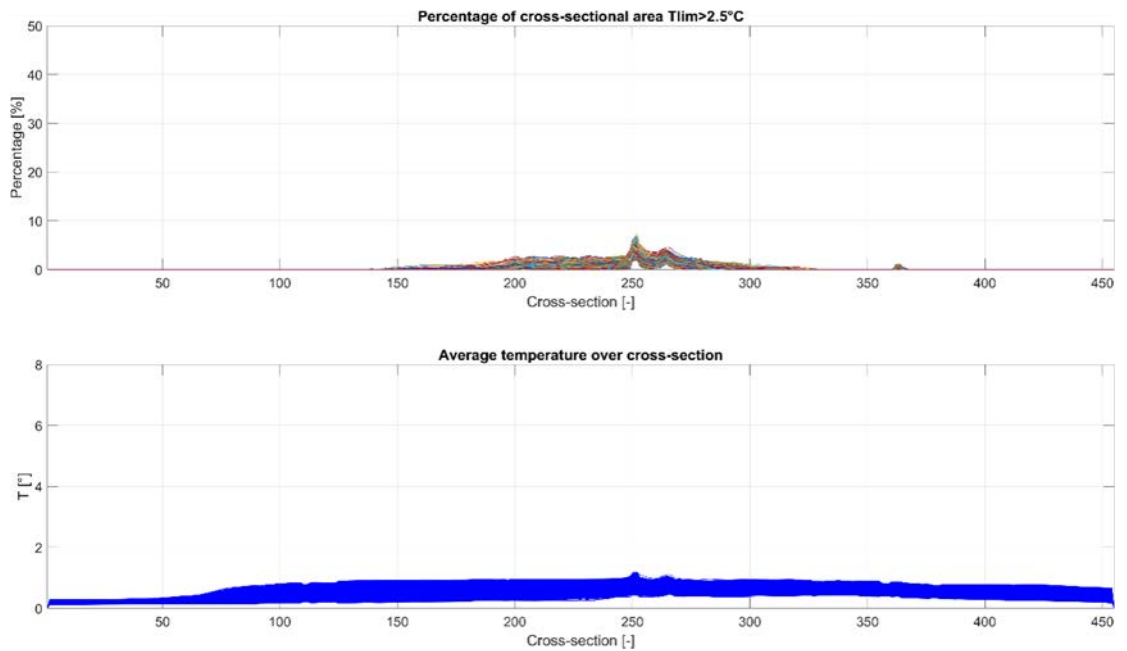
Figuur D.7 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario02).



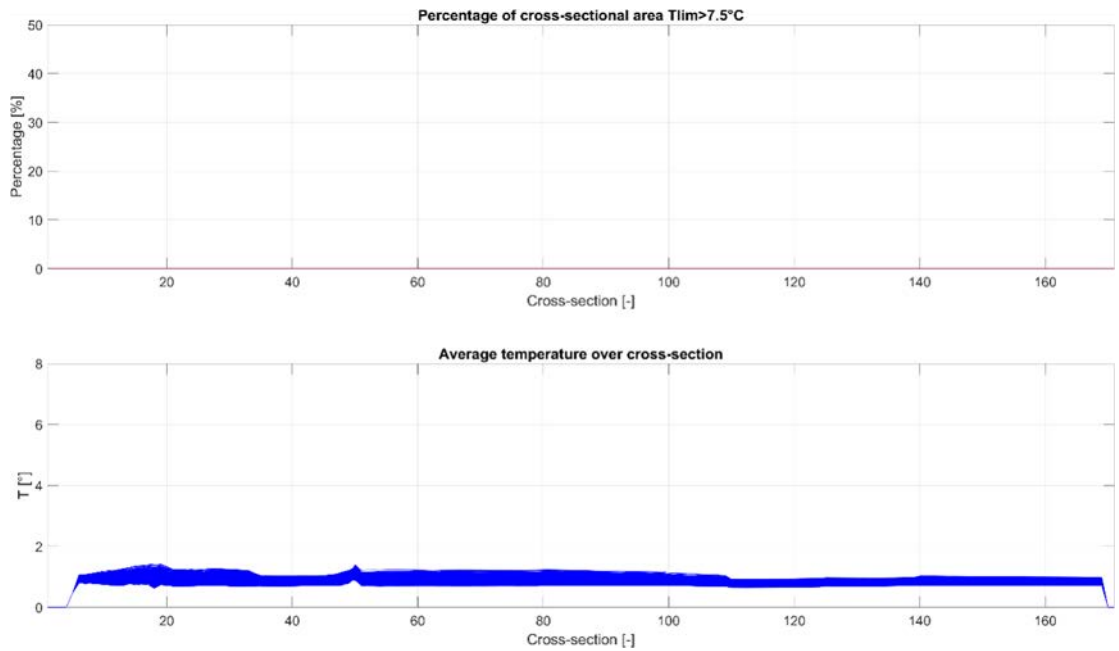
Figuur D.8 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario02).



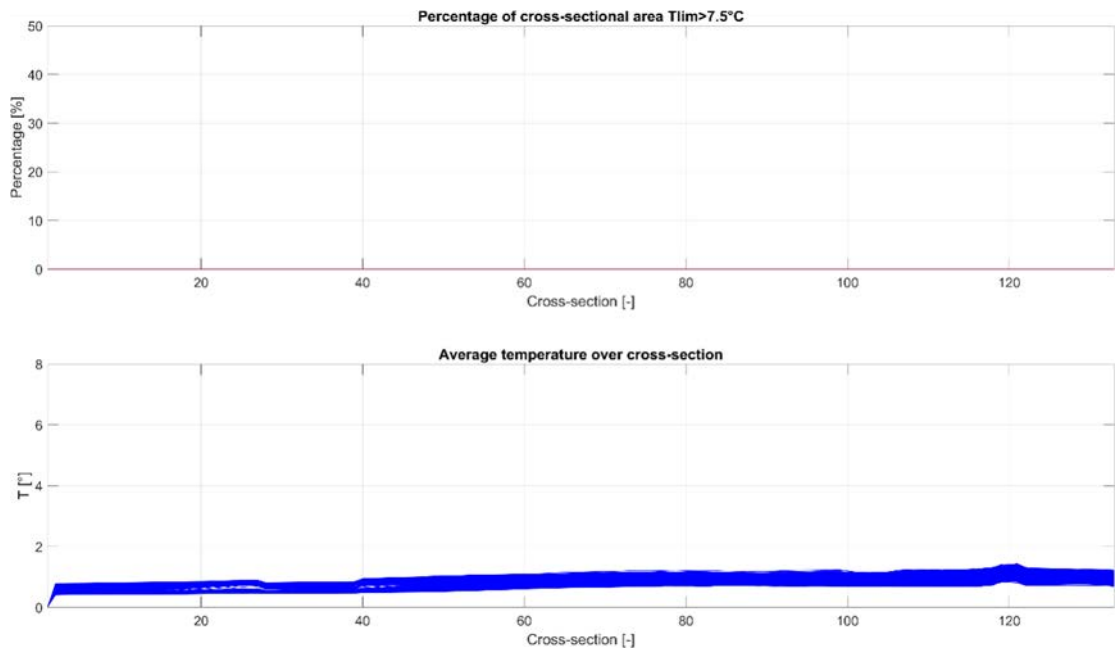
Figuur D.9 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario02).



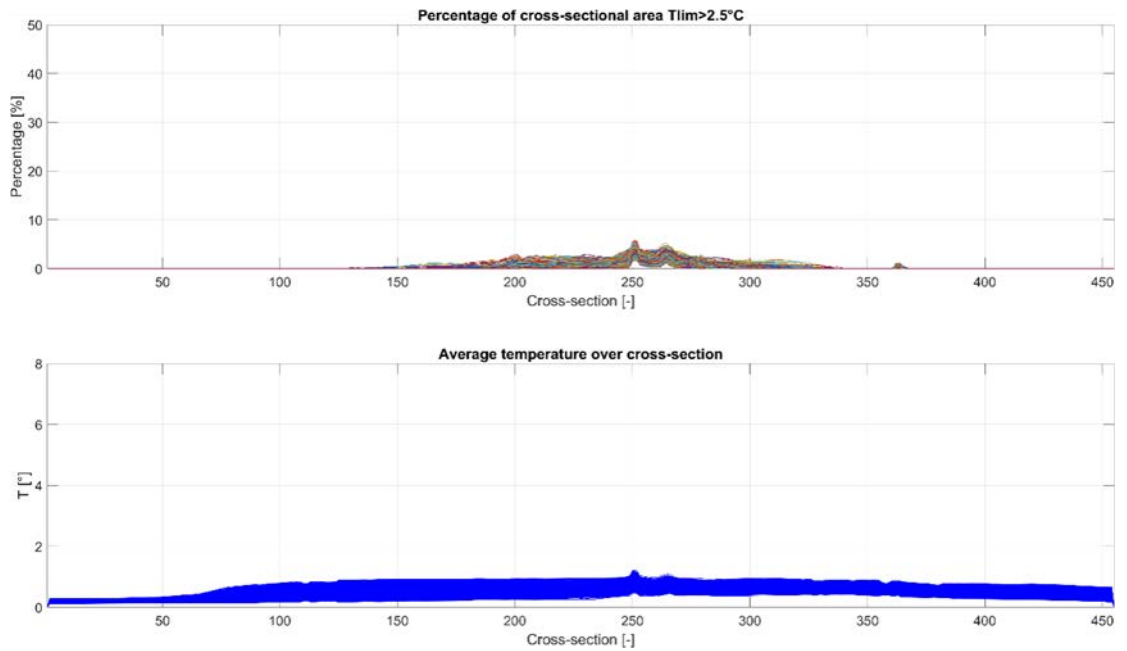
Figuur D.10 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario03).



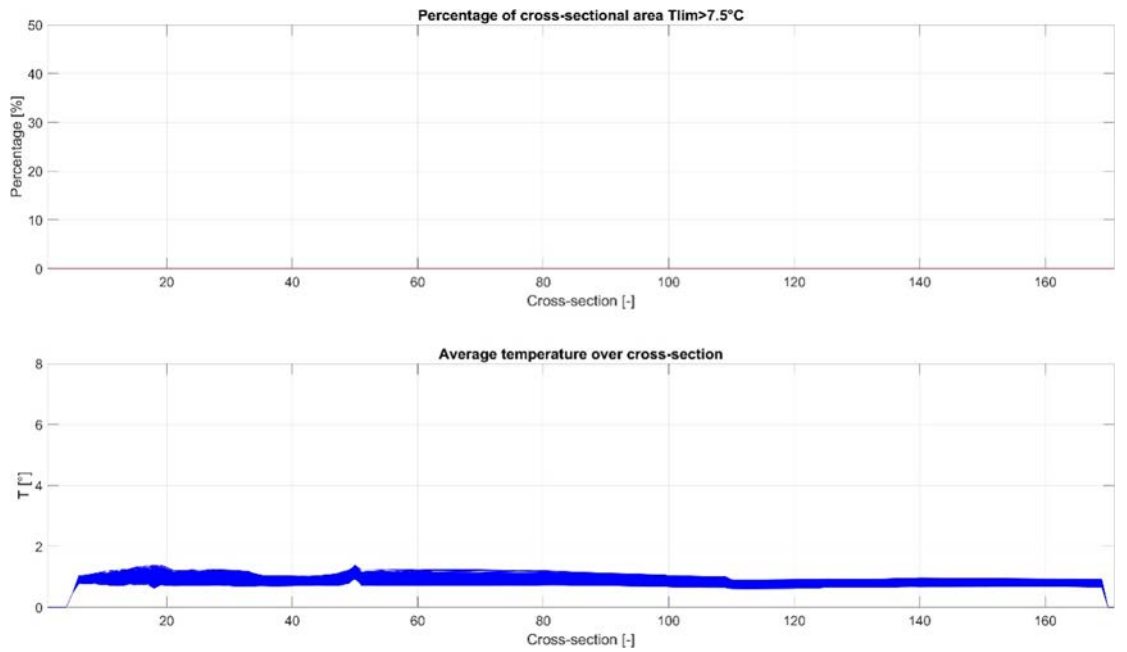
Figuur D.11 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario03).



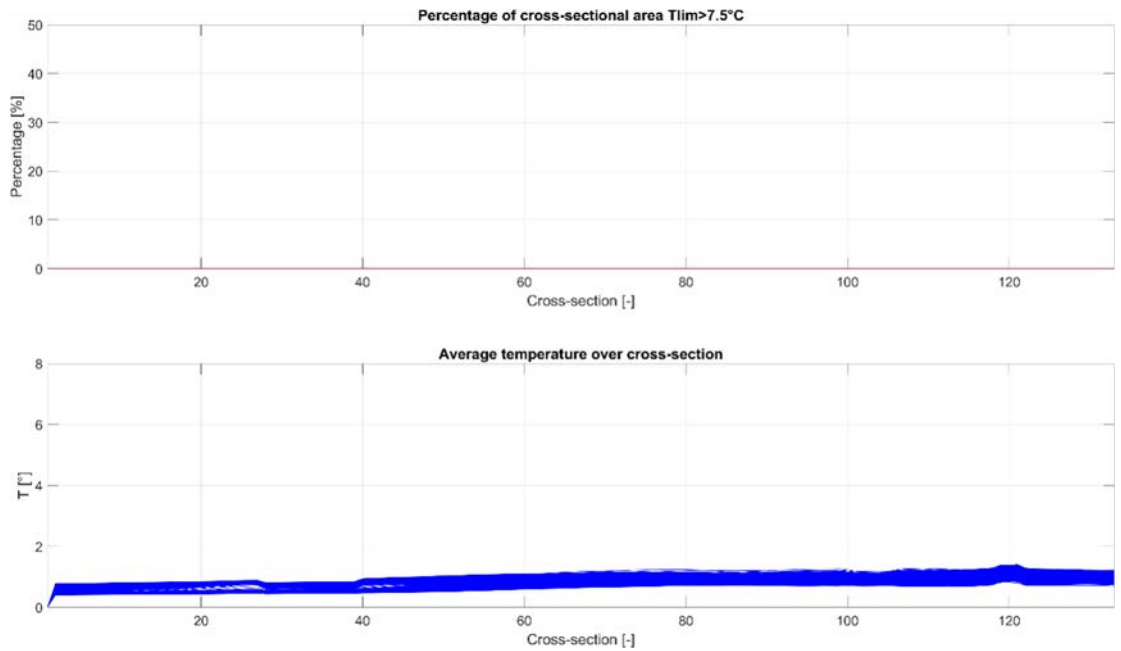
Figuur D.12 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario03).



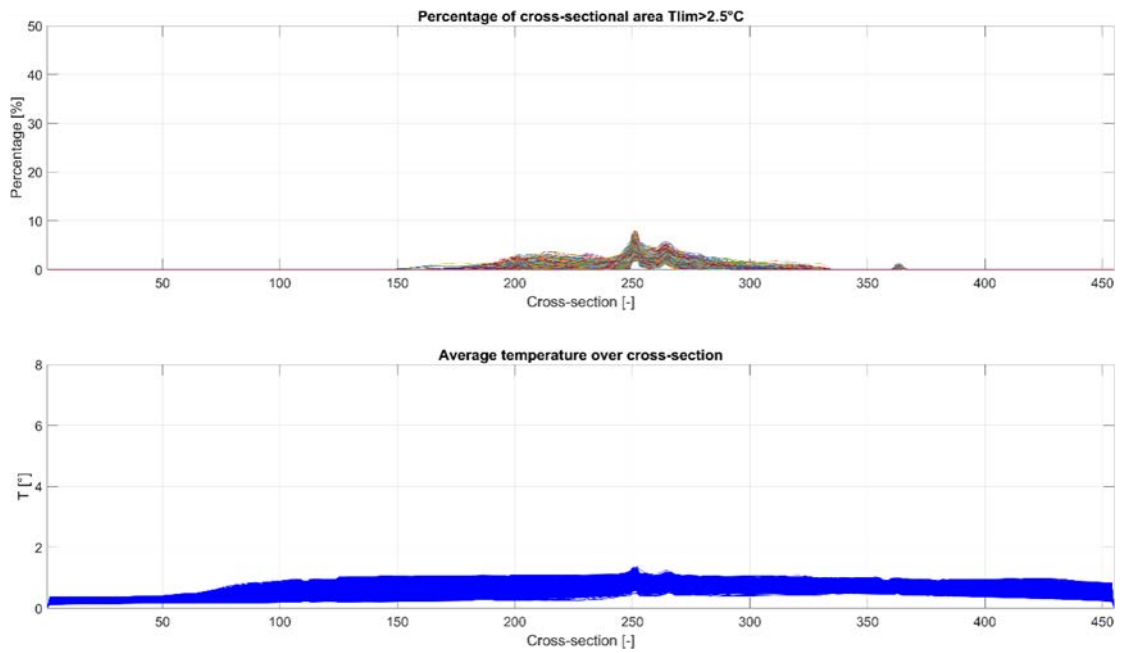
Figuur D.13 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario04).



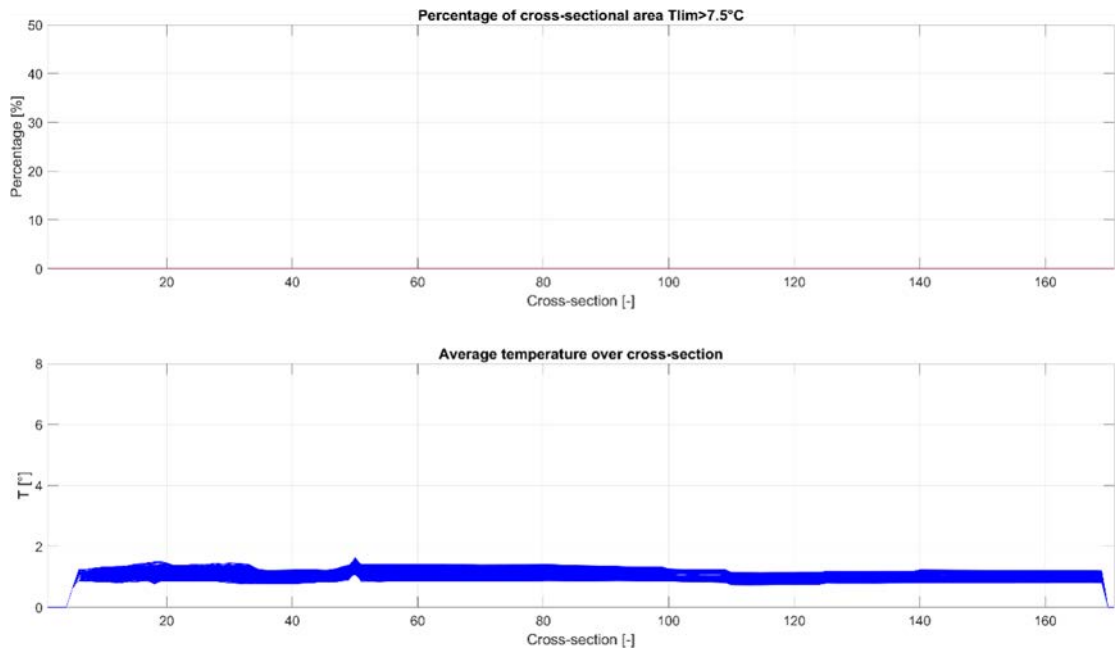
Figuur D.14 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario04).



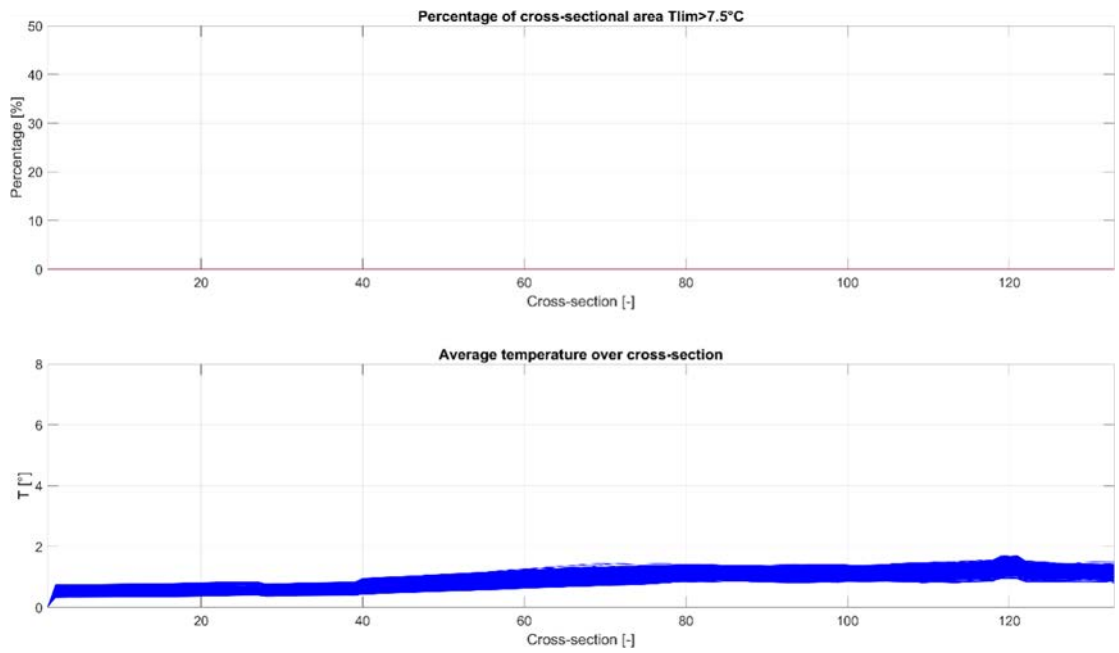
Figuur D.15 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario04).



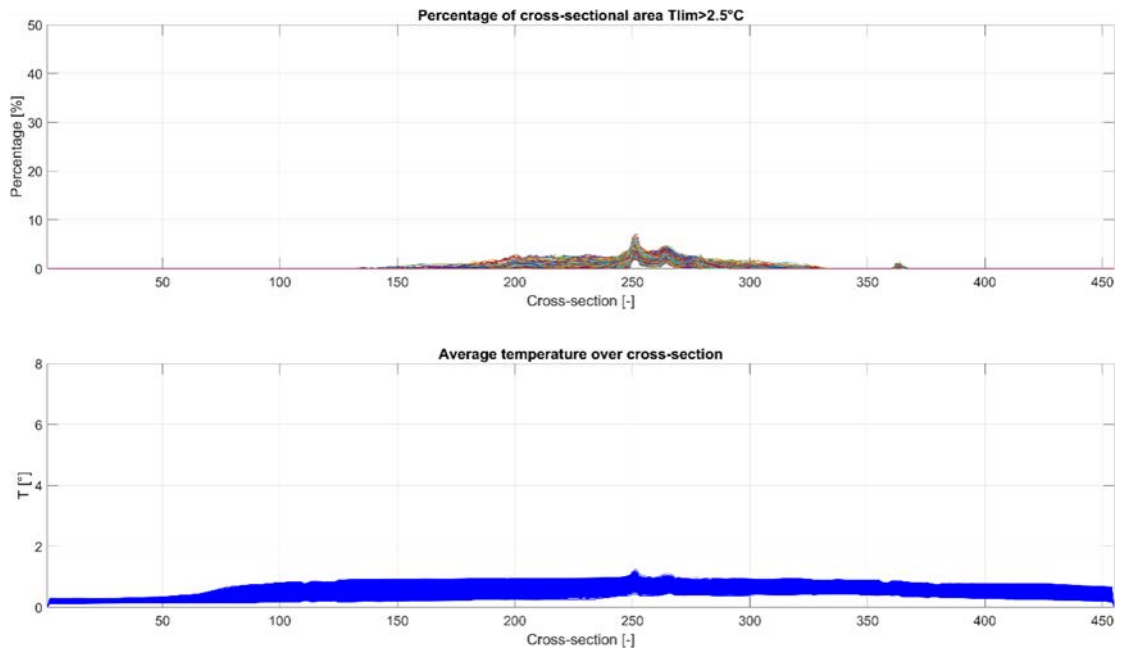
Figuur D.16 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario05).



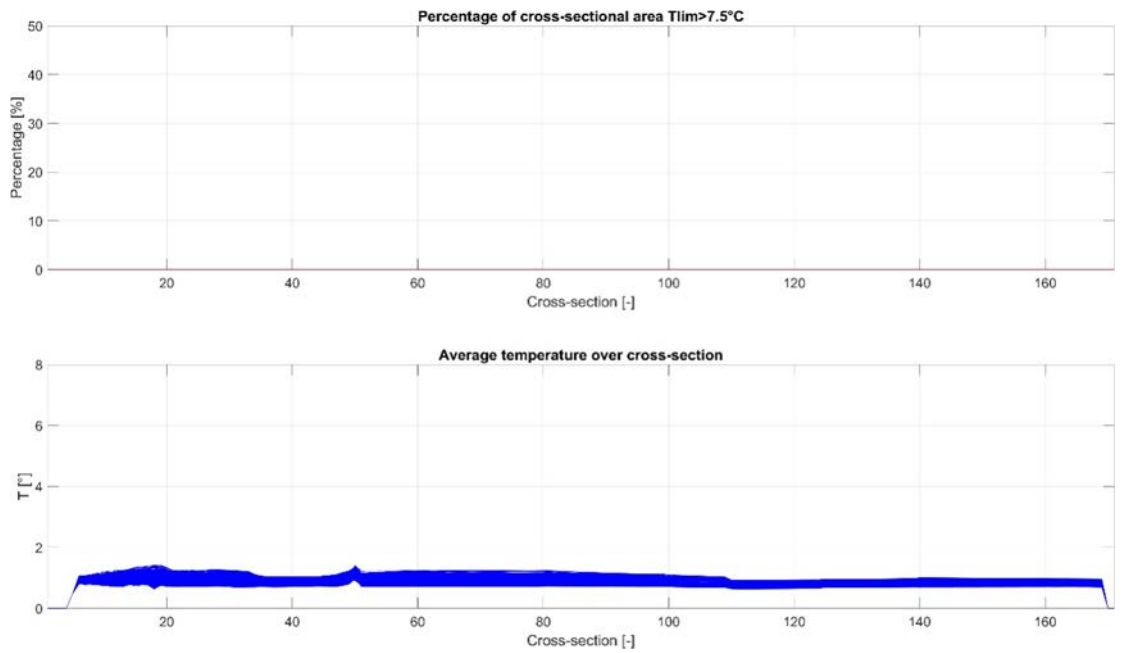
Figuur D.17 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario05).



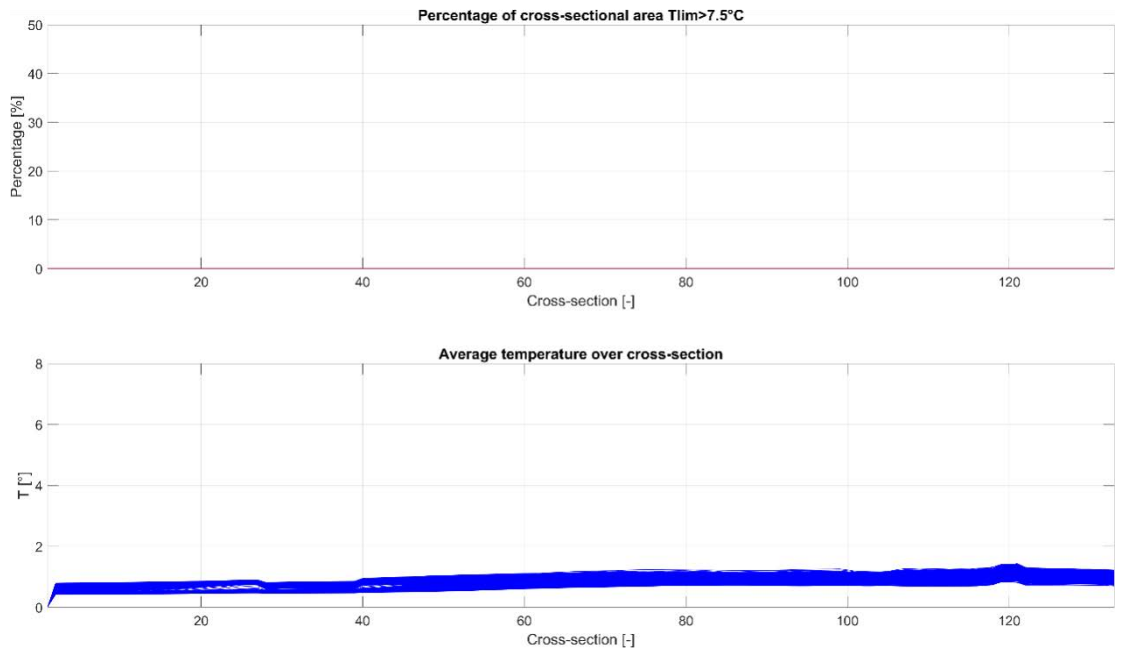
Figuur D.18 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario05).



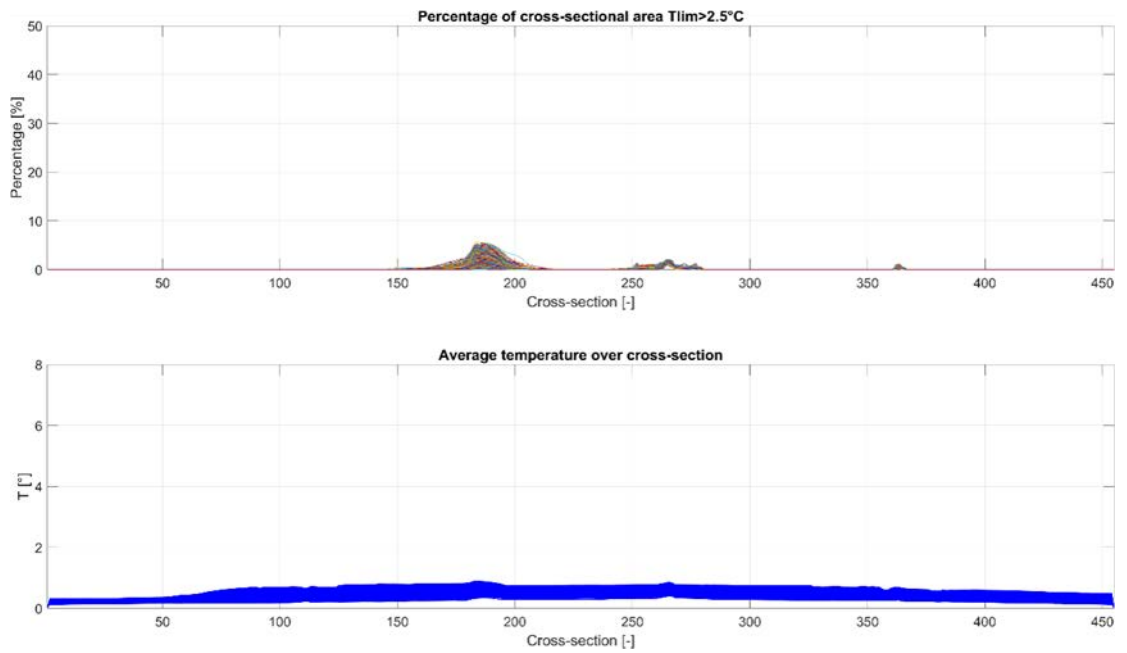
Figuur D.19 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario06).



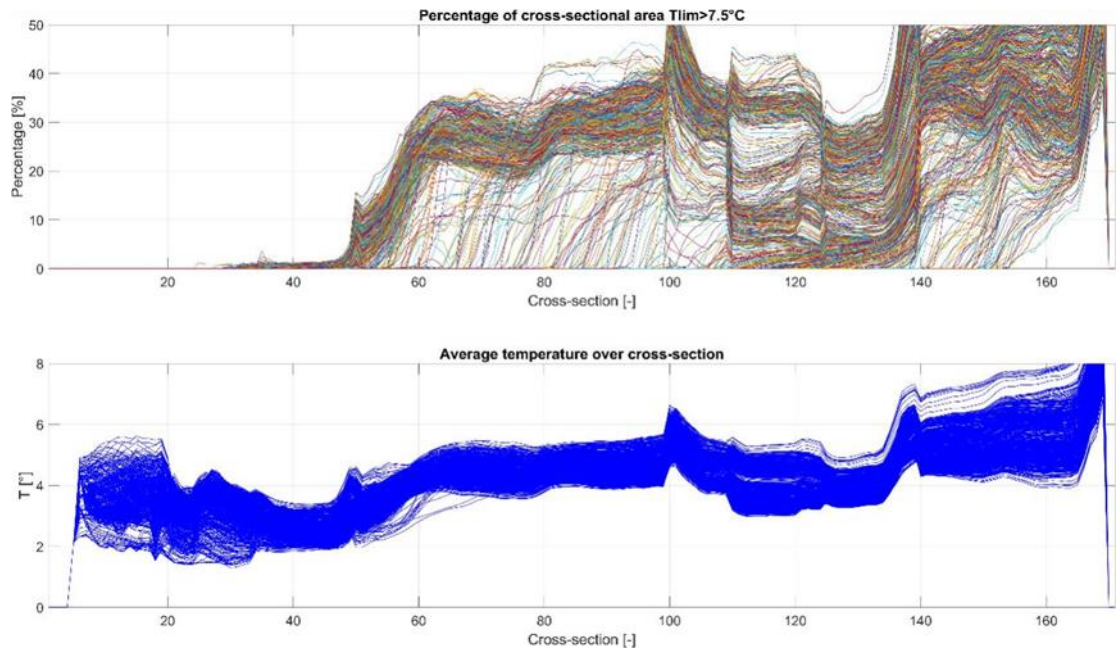
Figuur D.20 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario06).



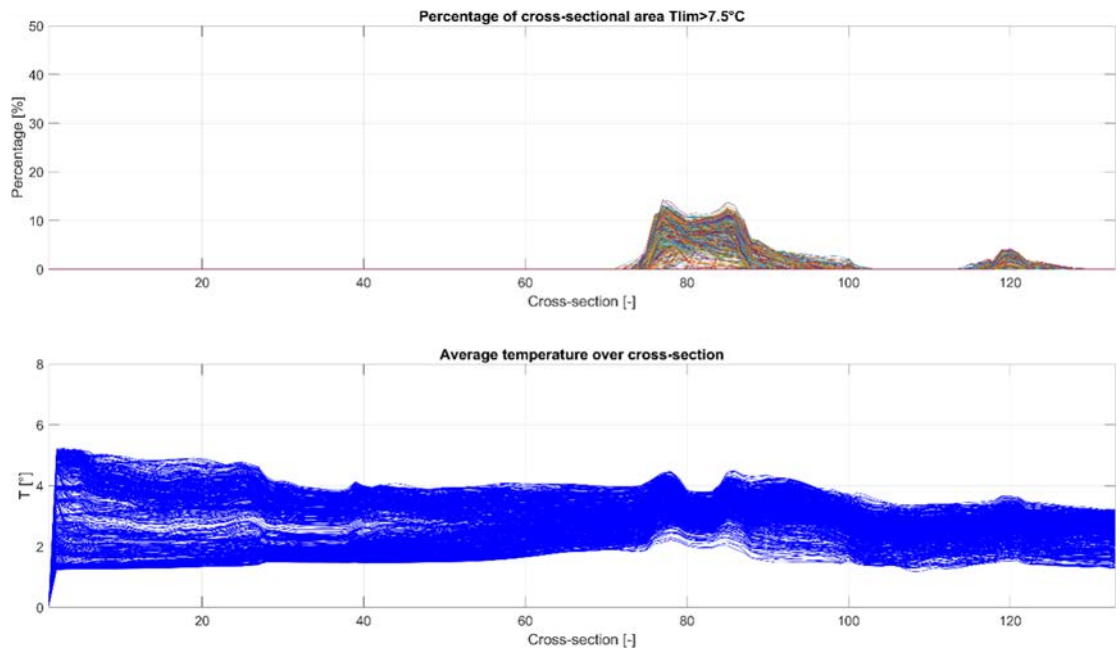
Figuur D.21 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario06).



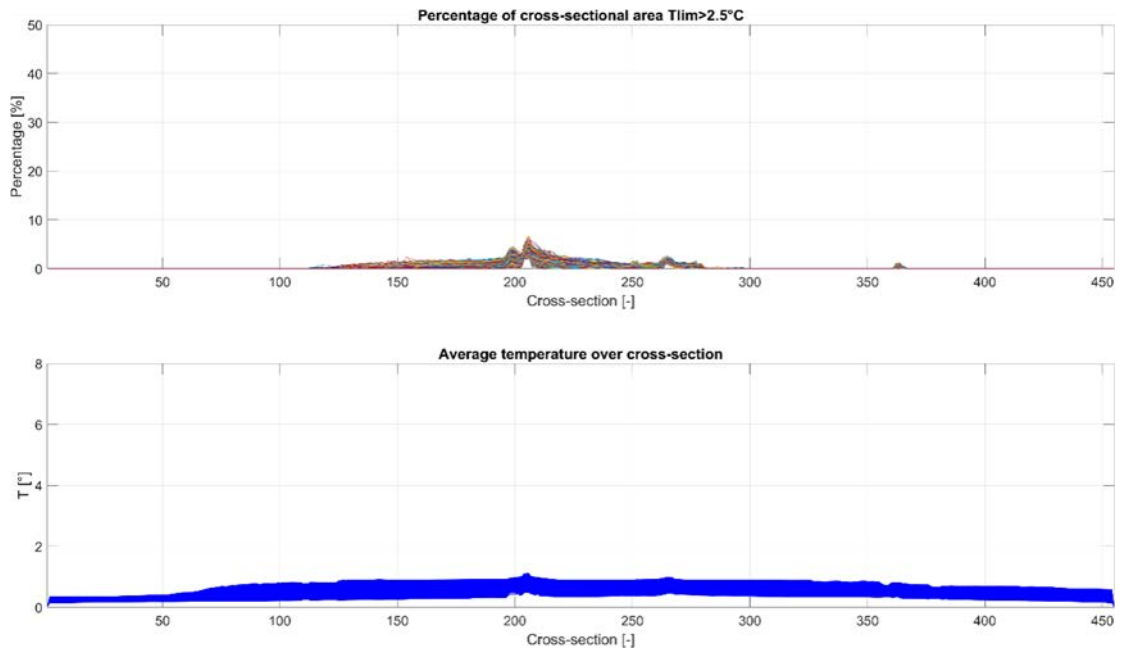
Figuur D.22 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario07).



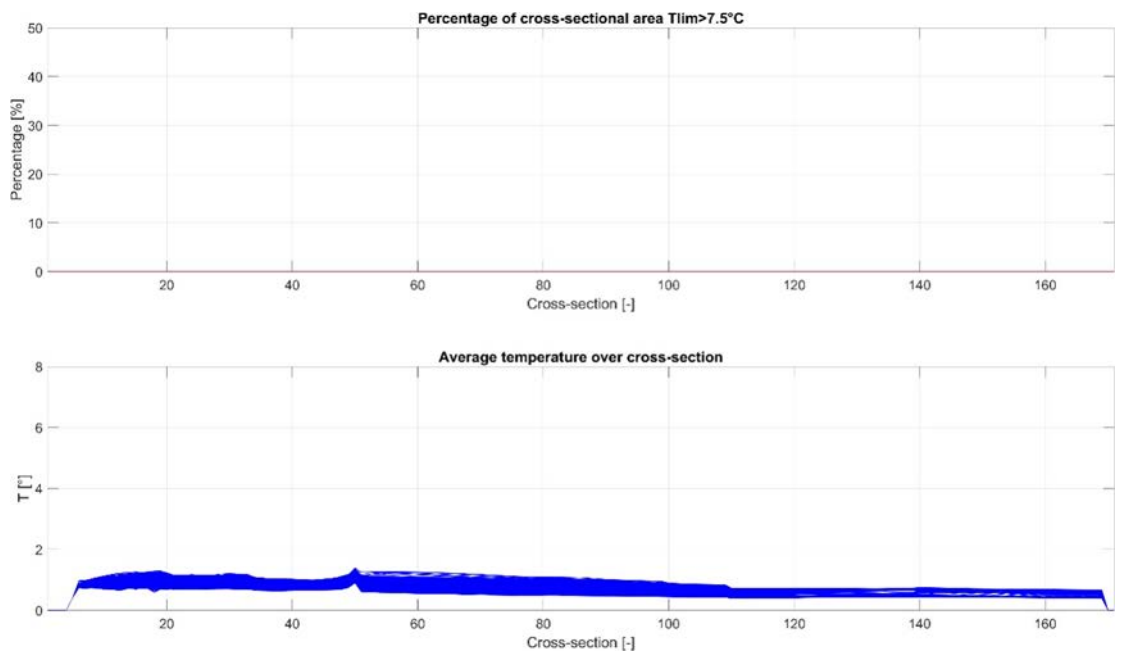
Figuur D.23 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario07).



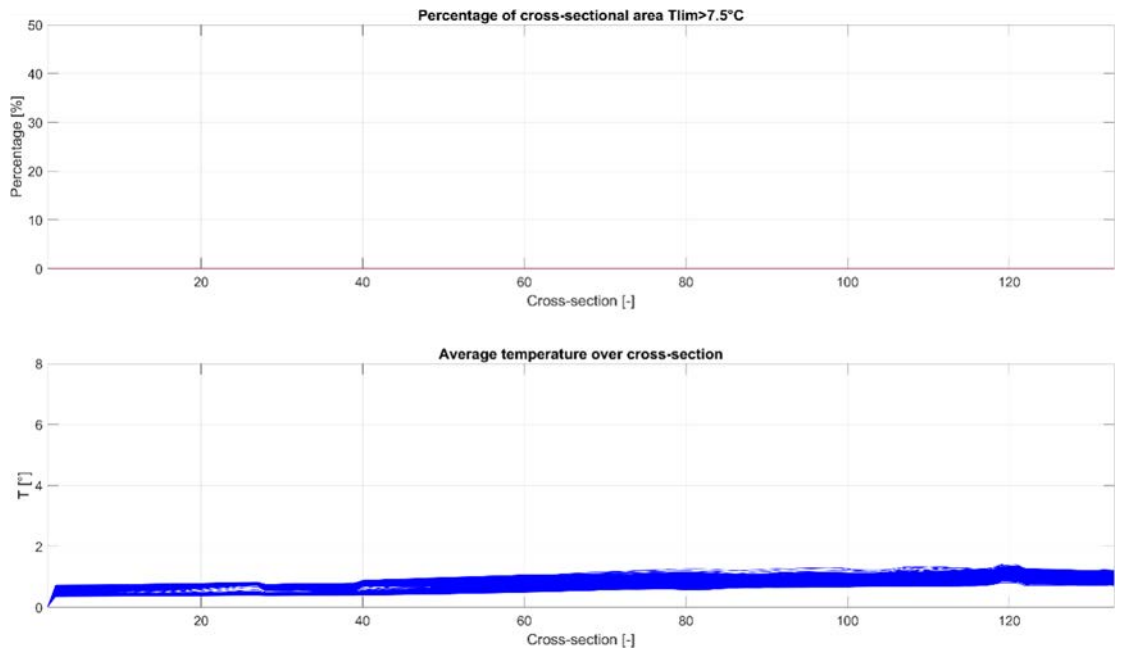
Figuur D.24 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario07).



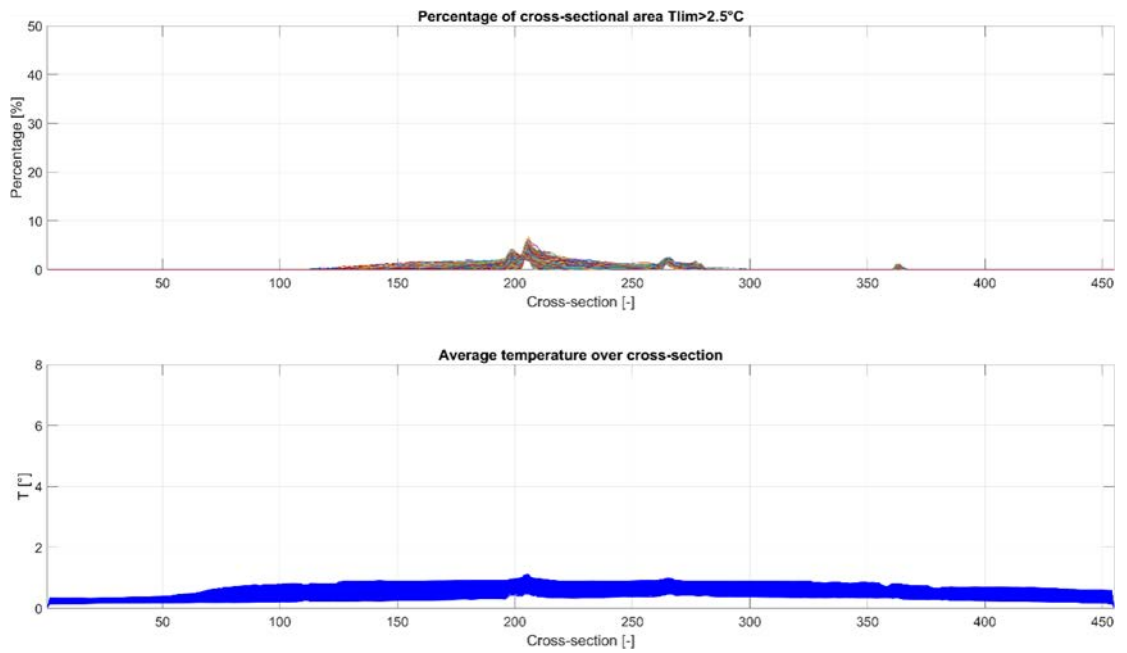
Figuur D.25 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario08).



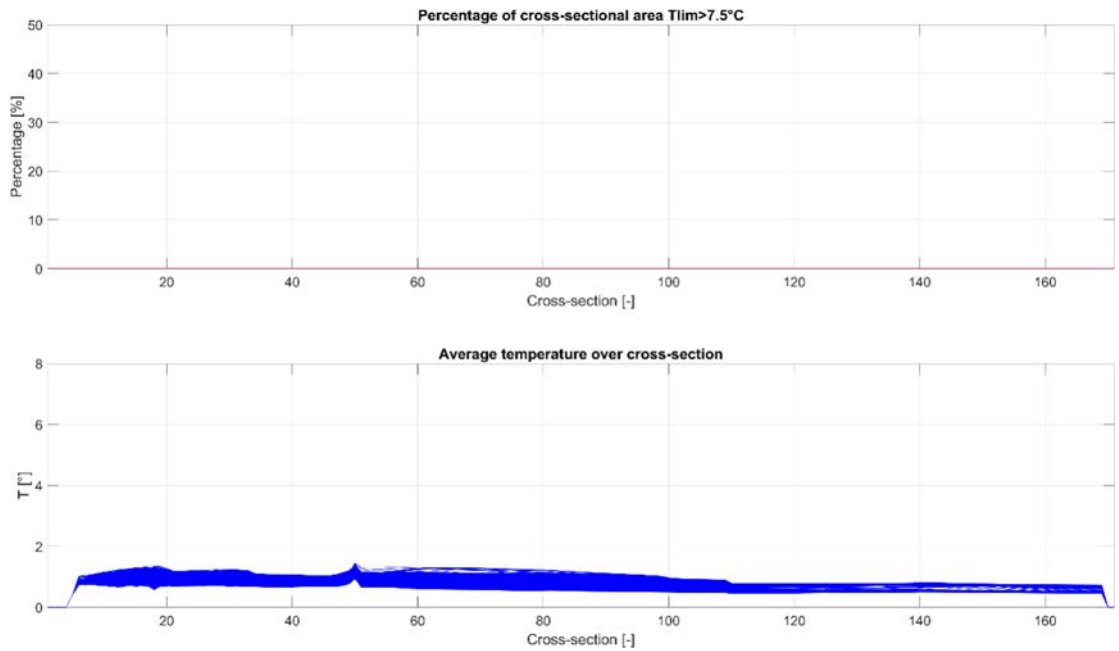
Figuur D.26 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario08).



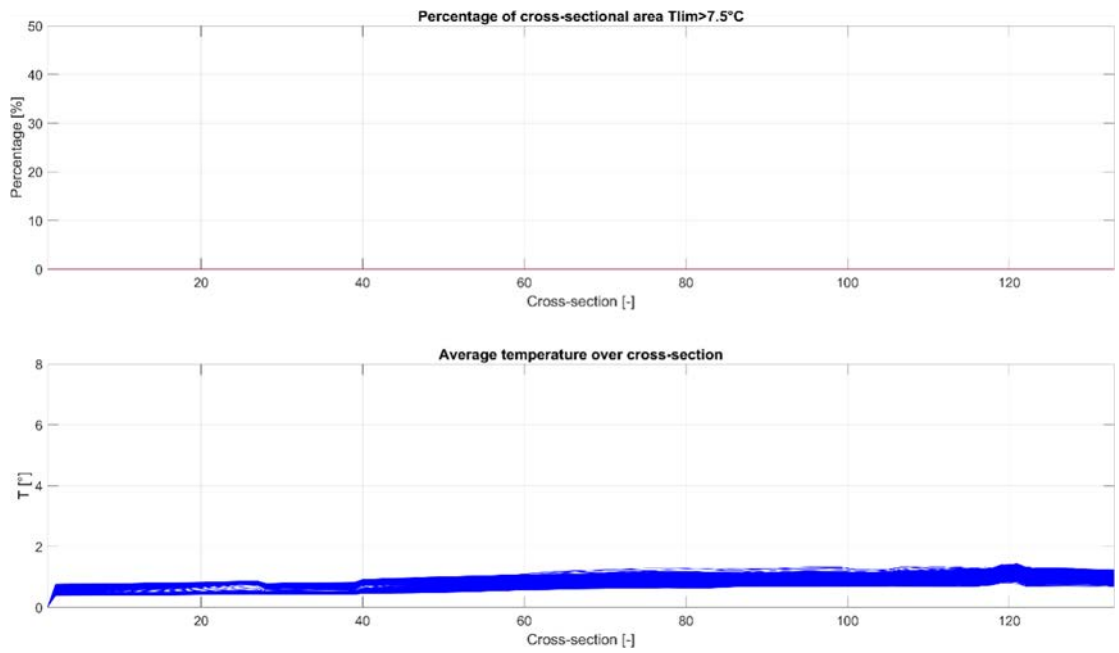
Figuur D.27 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario08).



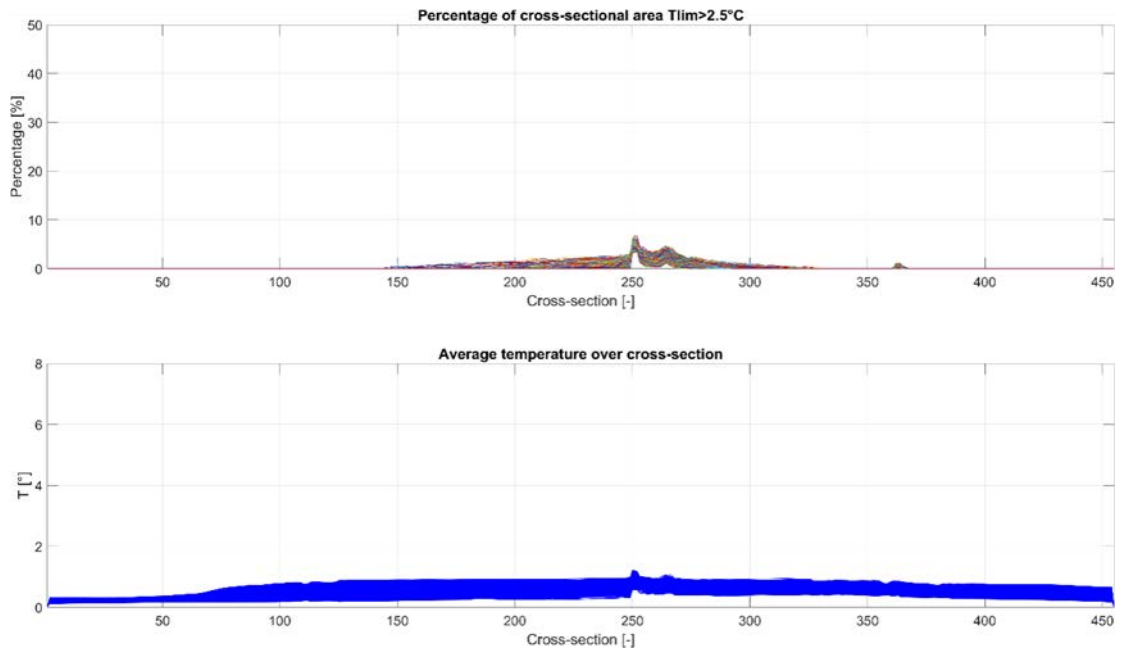
Figuur D.28 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario09).



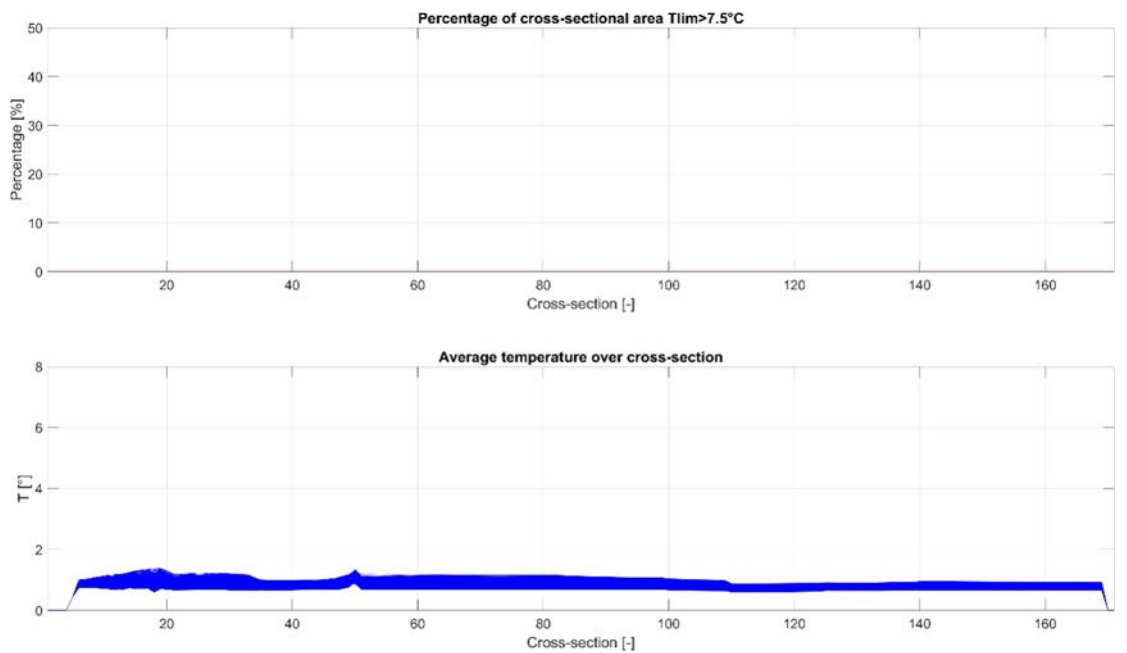
Figuur D.29 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario09).



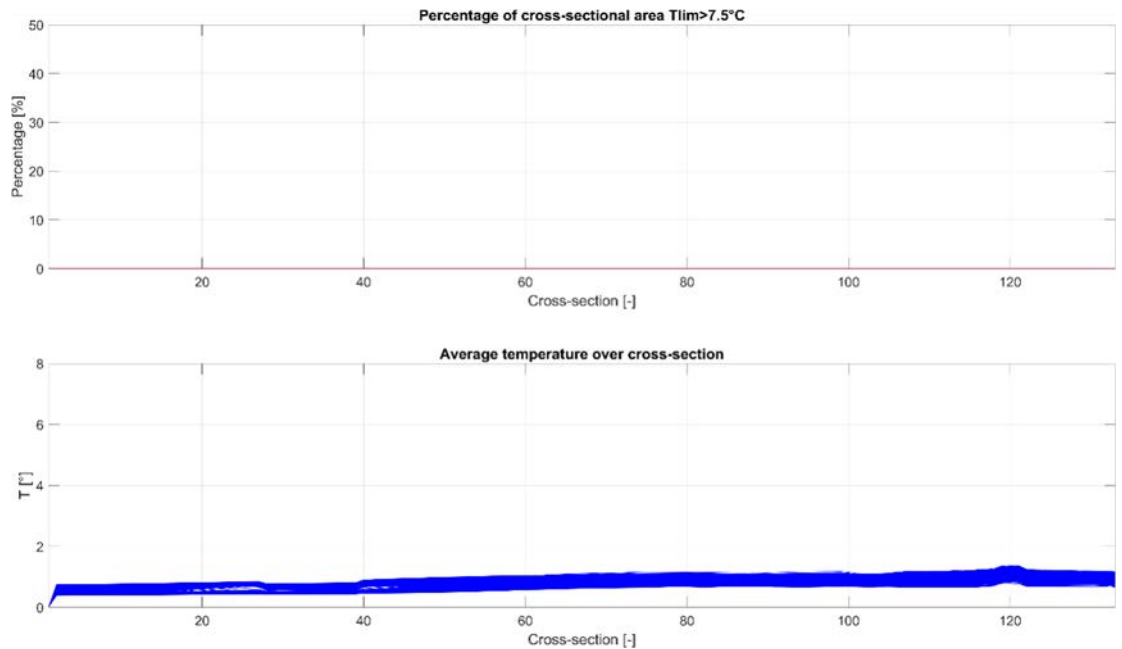
Figuur D.30 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario09).



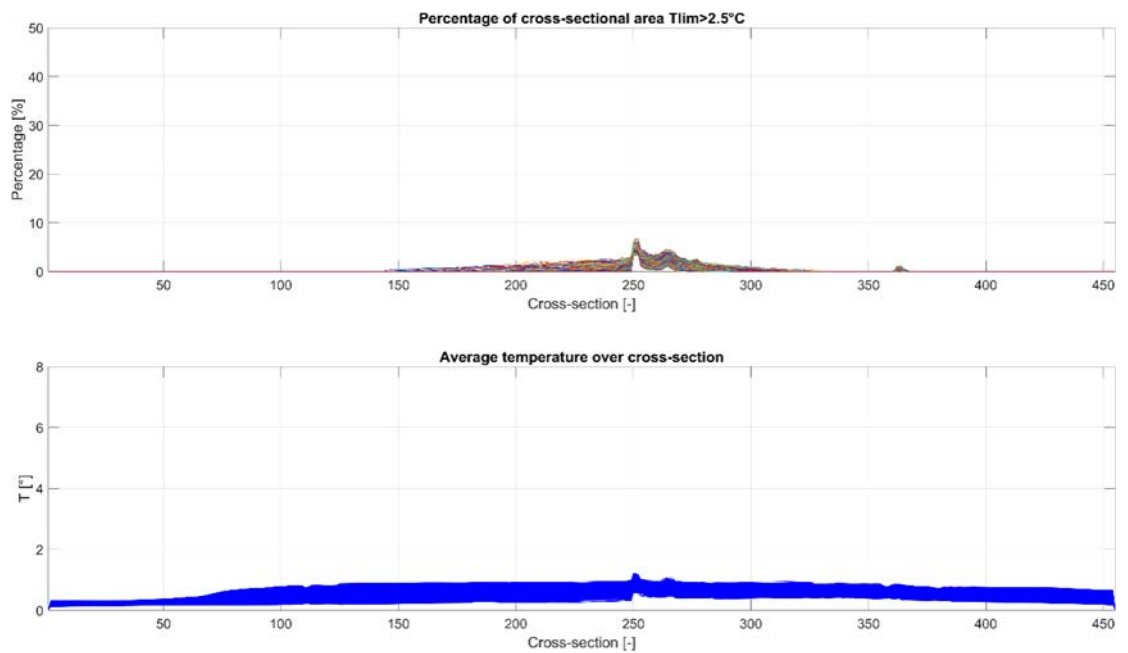
Figuur D.31 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario10).



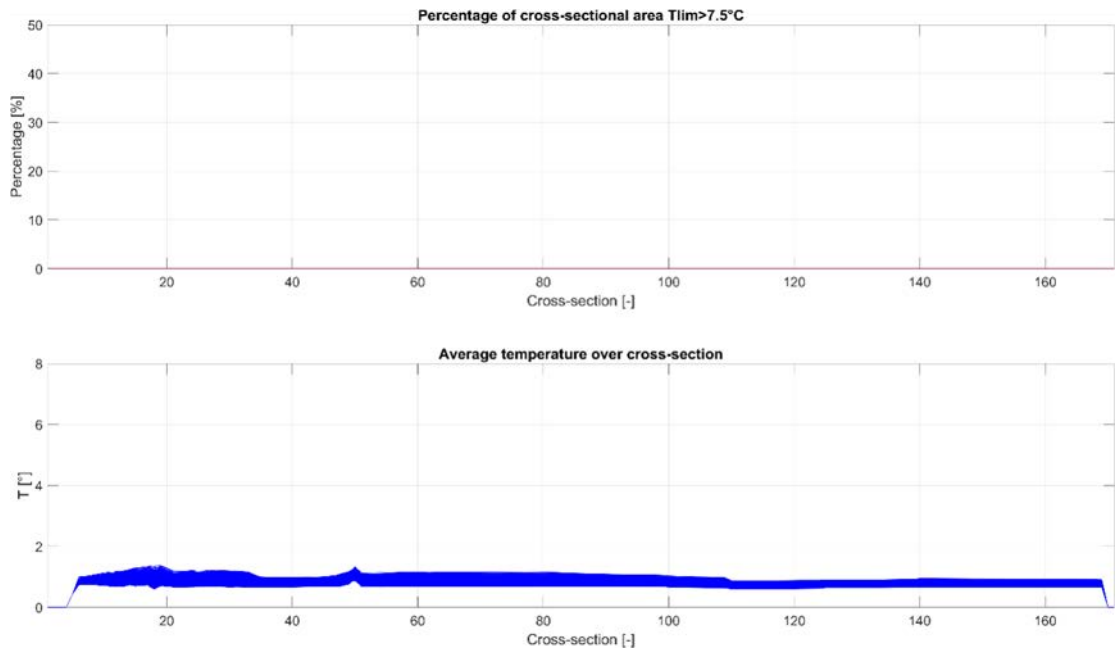
Figuur D.32 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario10).



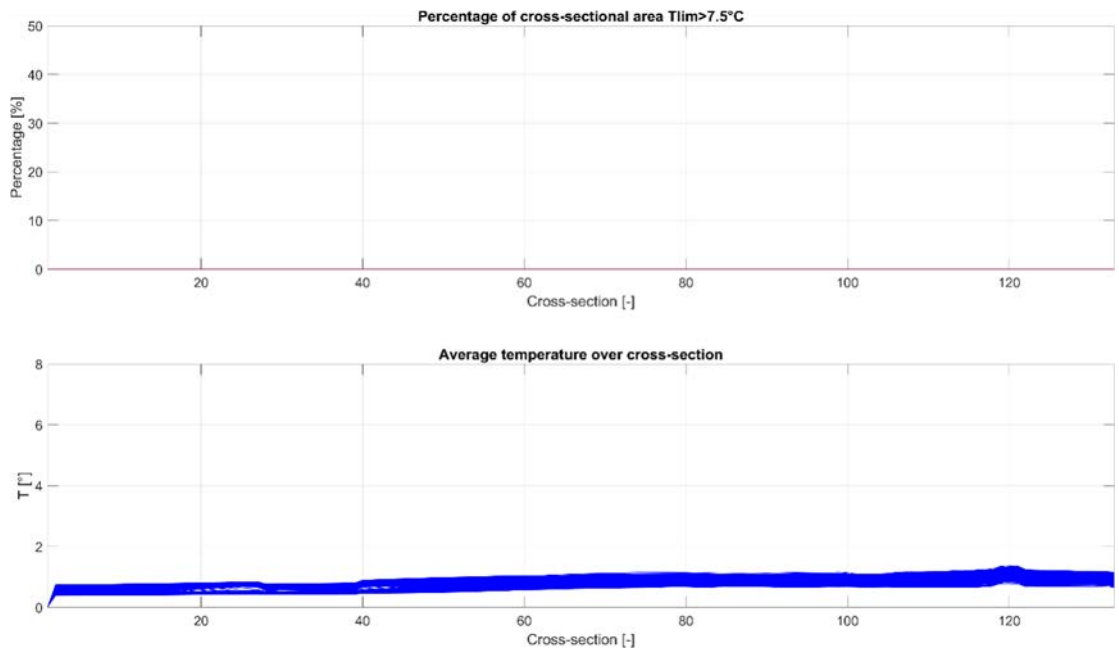
Figuur D.33 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario10).



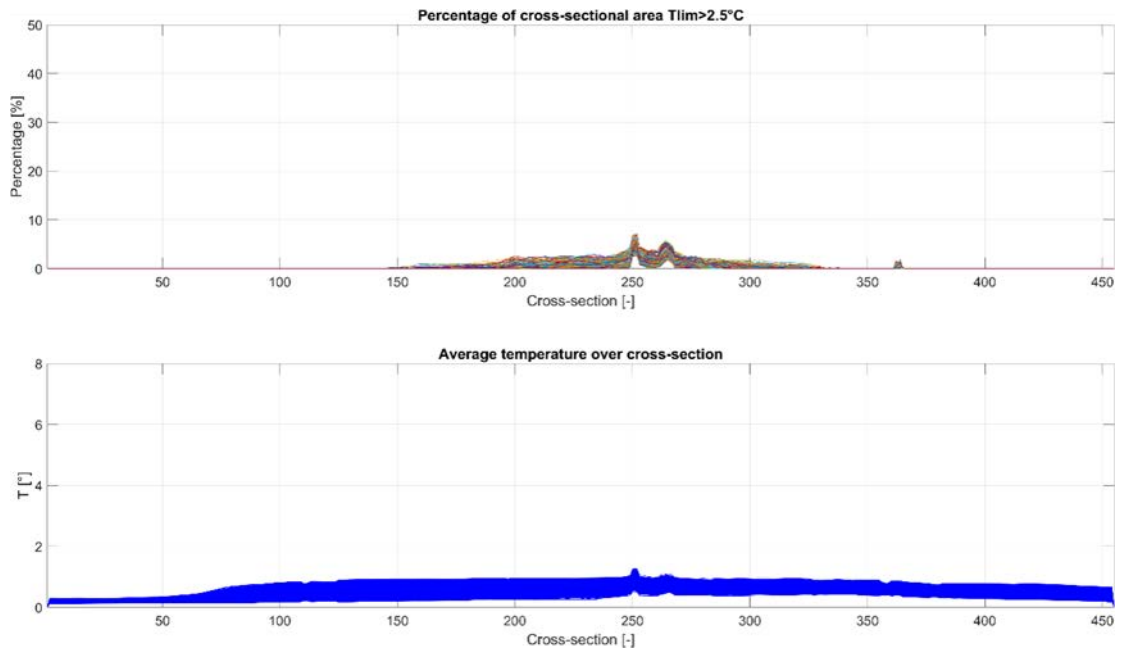
Figuur D.34 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario11).



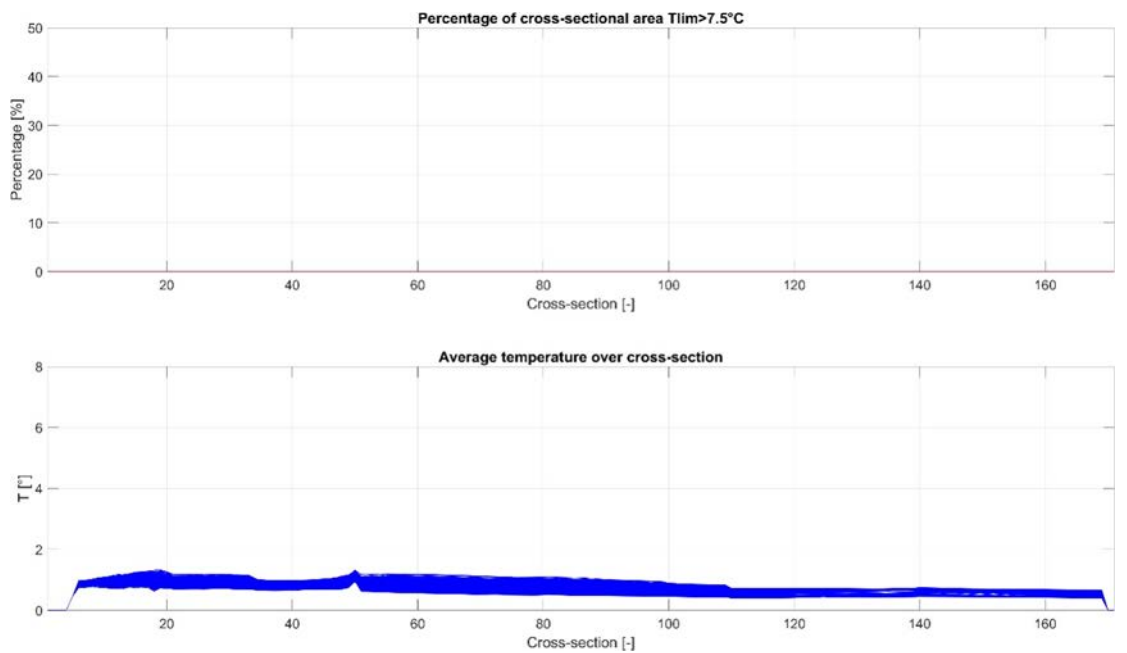
Figuur D.35 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario11).



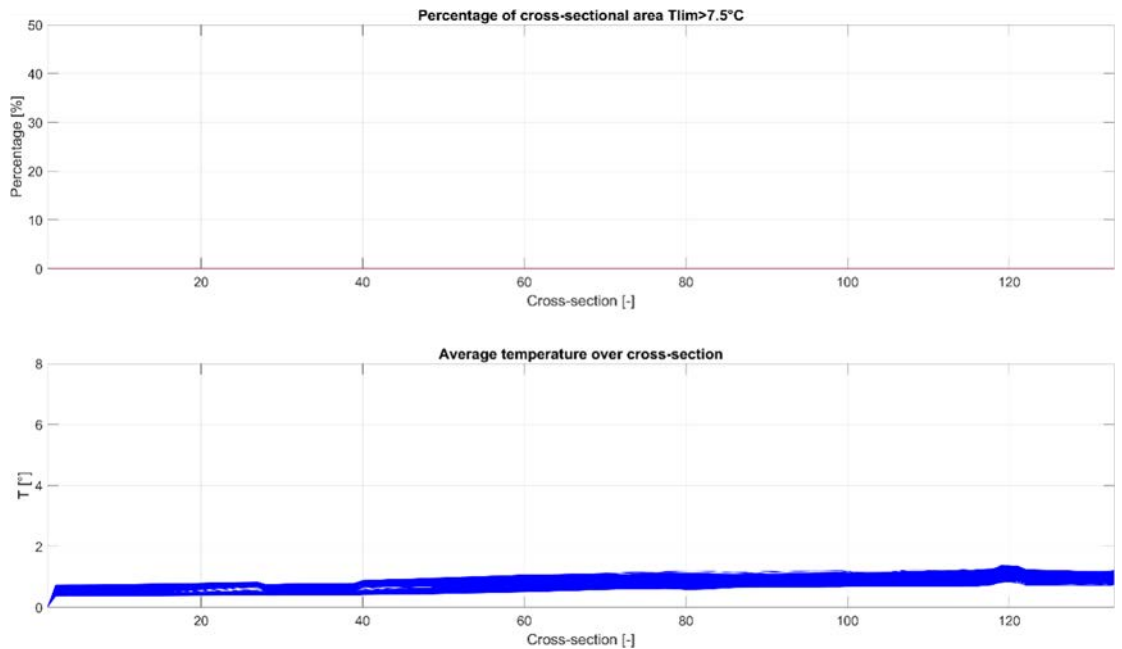
Figuur D.36 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario11).



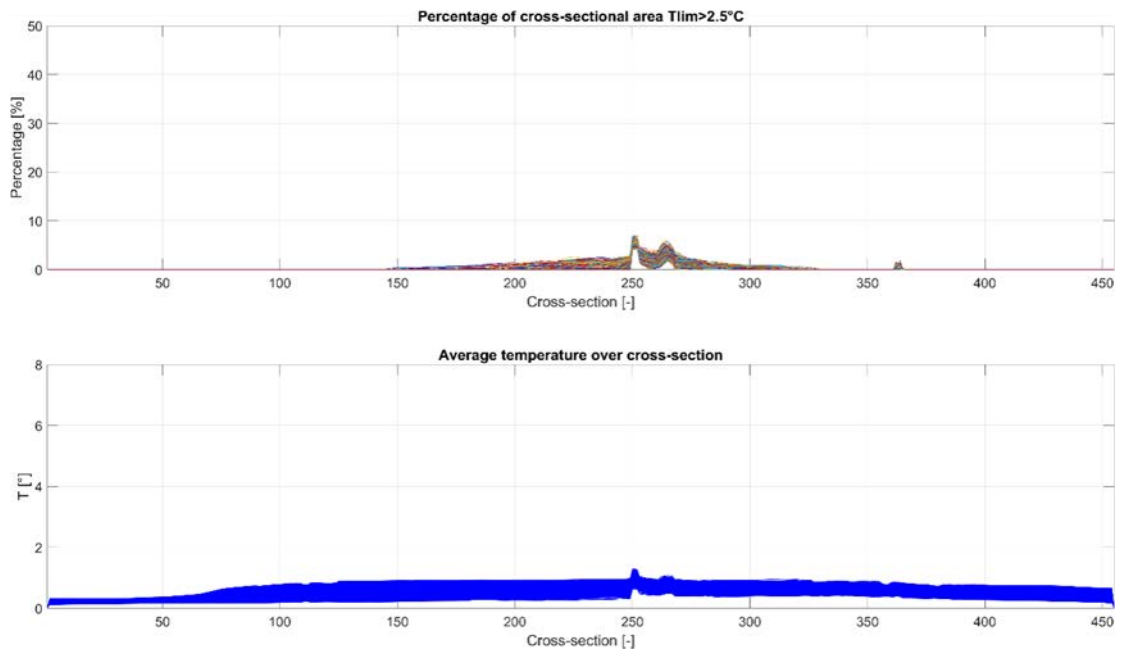
Figuur D.37 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario12).



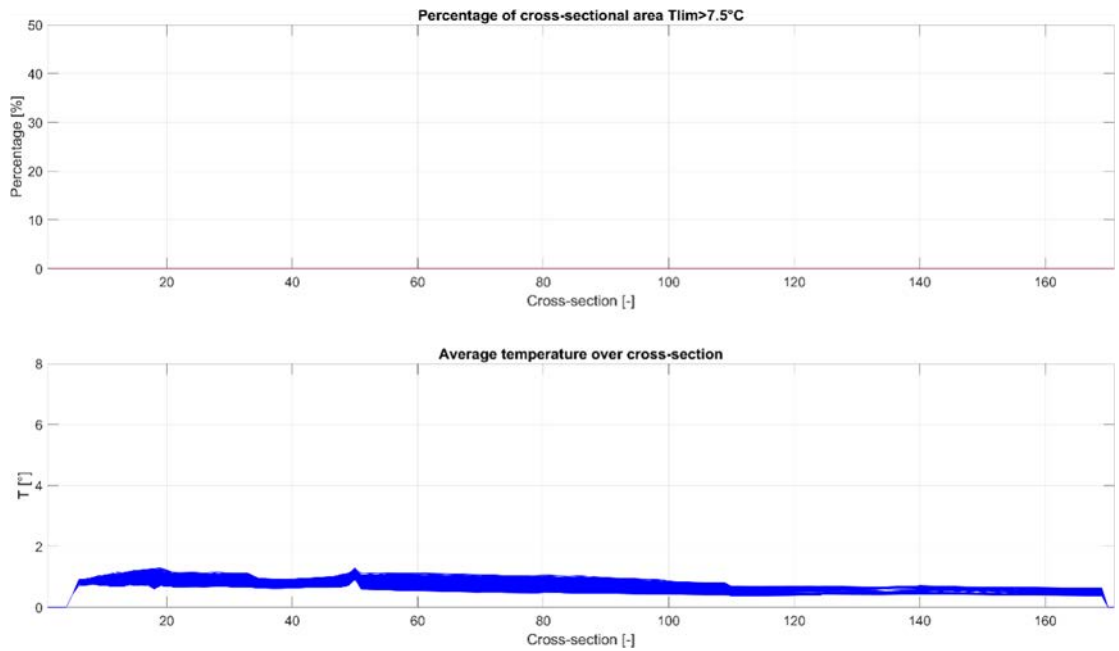
Figuur D.38 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario12).



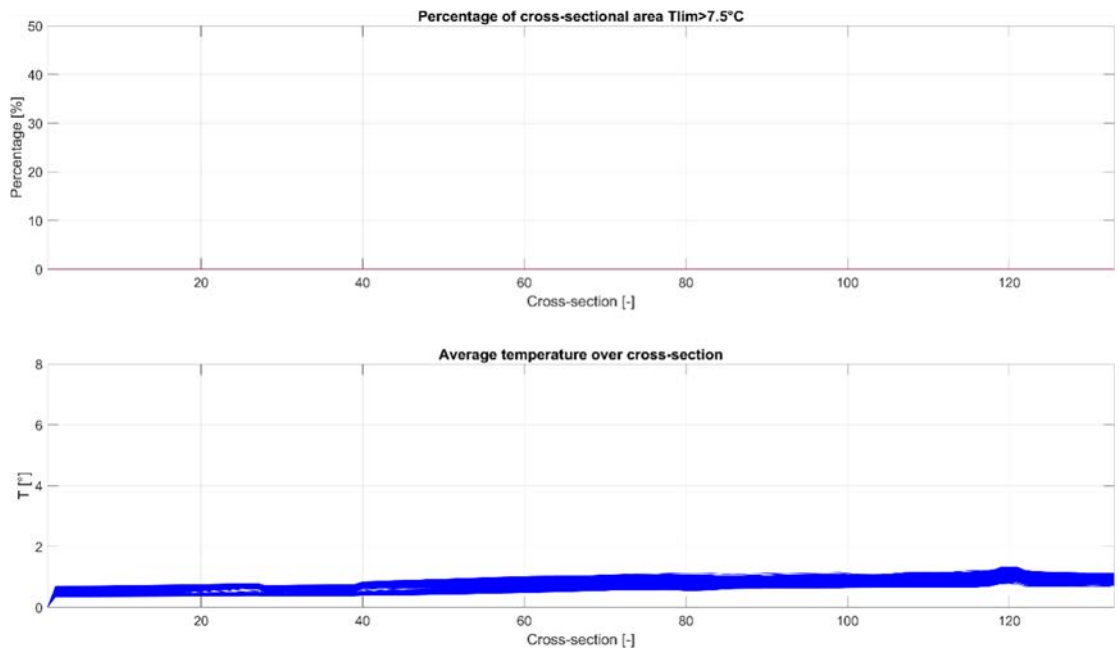
Figuur D.39 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario12).



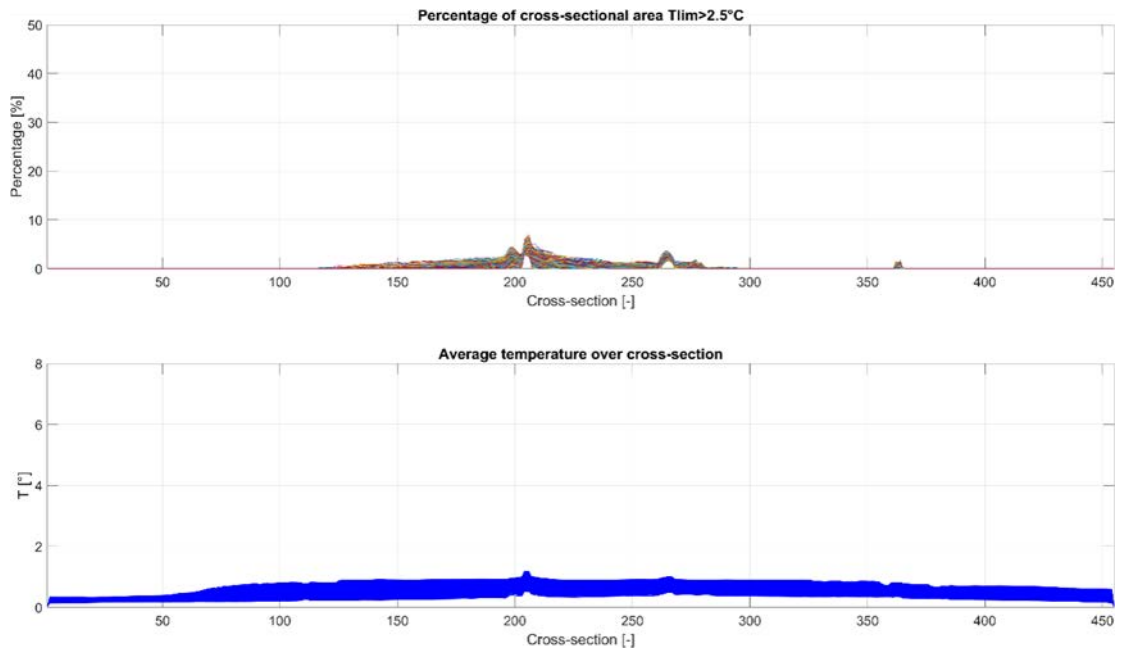
Figuur D.40 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario13).



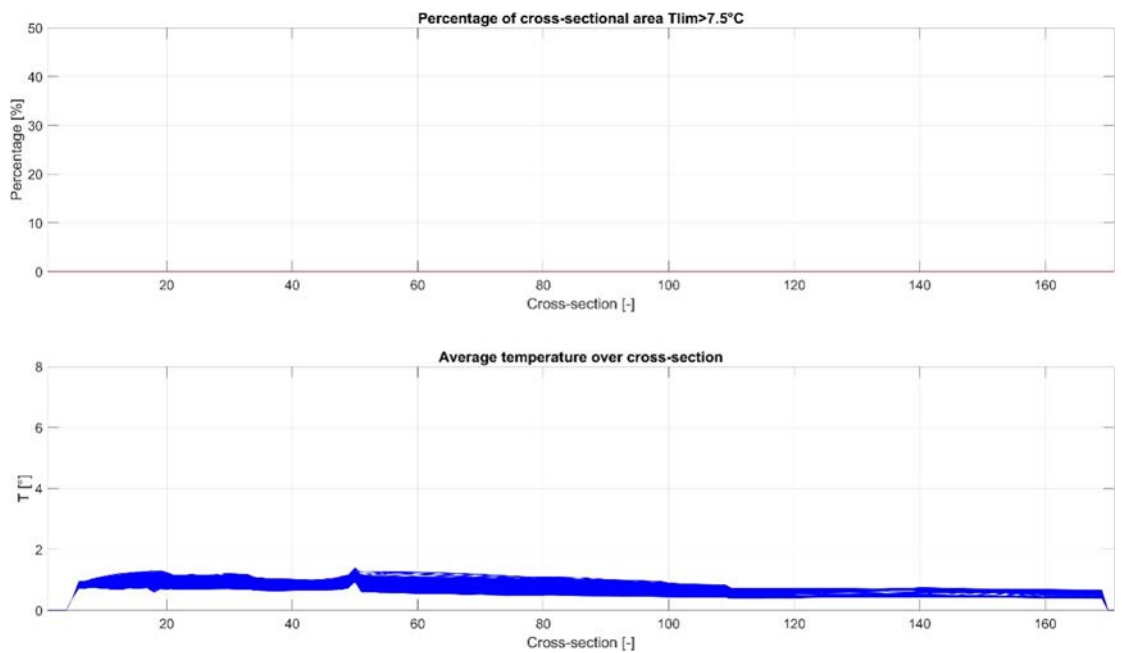
Figuur D.41 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario13).



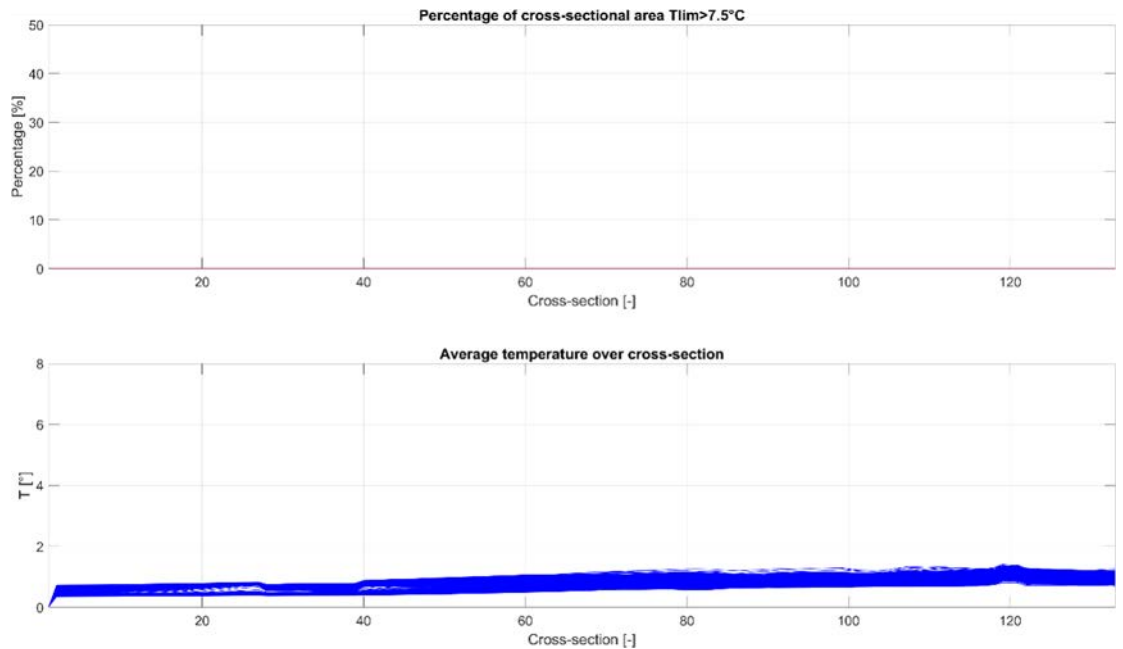
Figuur D.42 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario13).



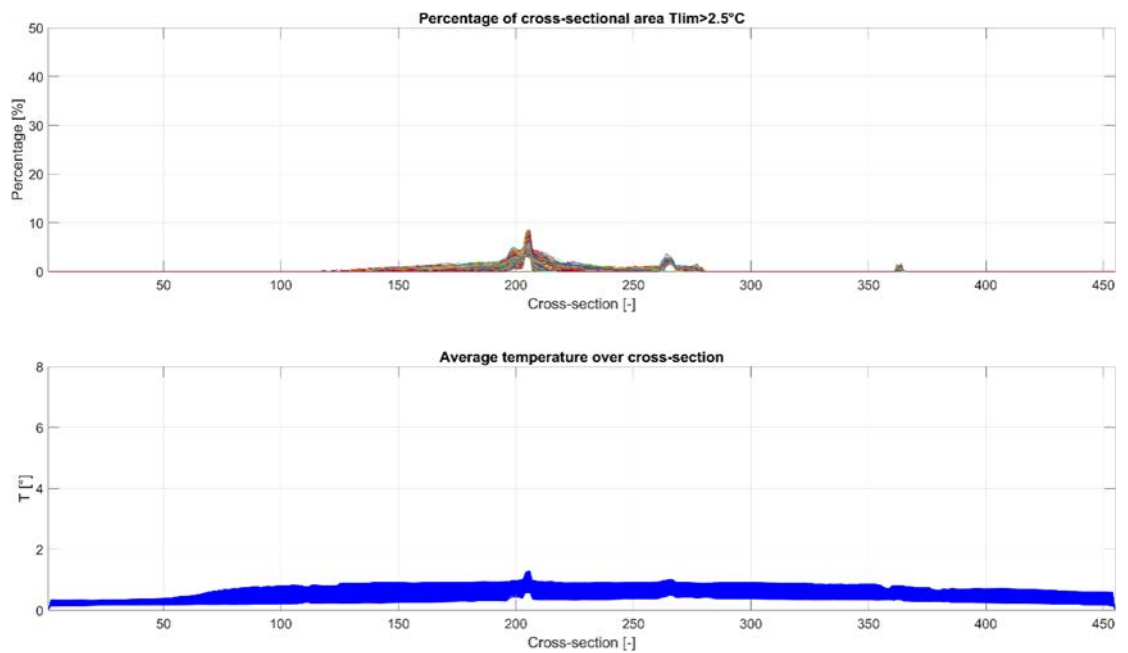
Figuur D.43 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario14).



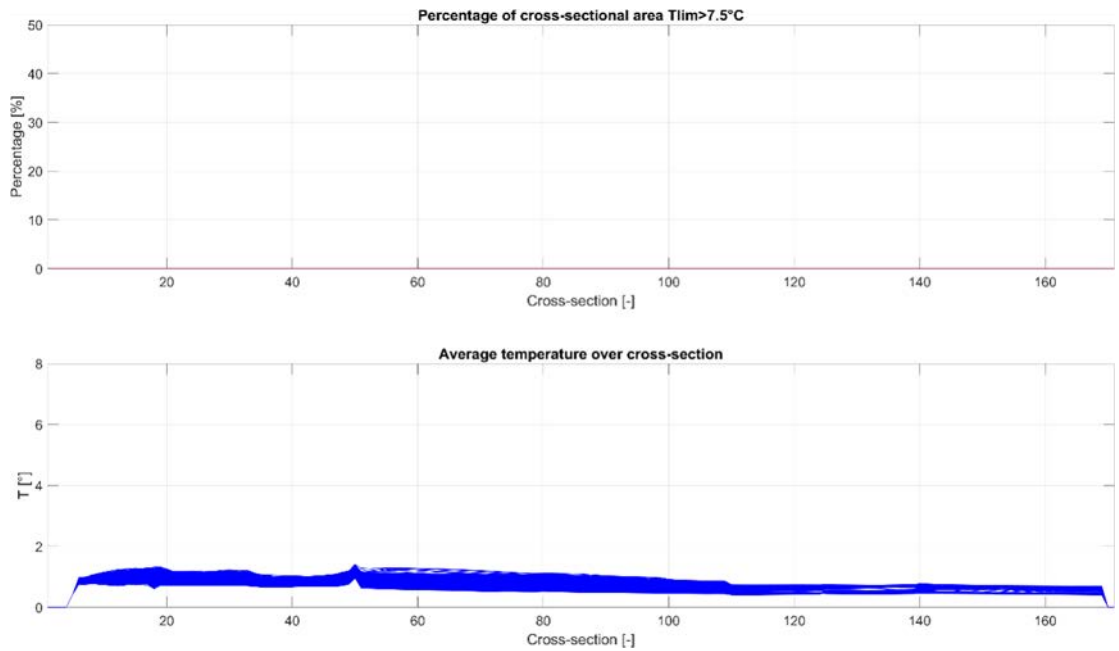
Figuur D.44 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario14).



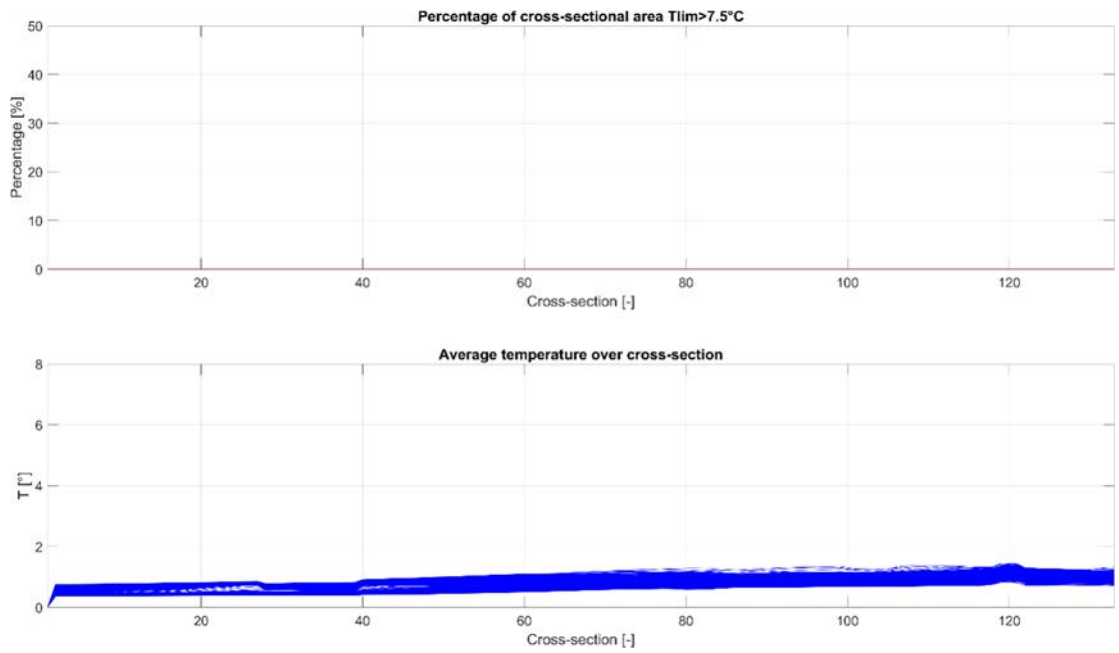
Figuur D.45 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario14).



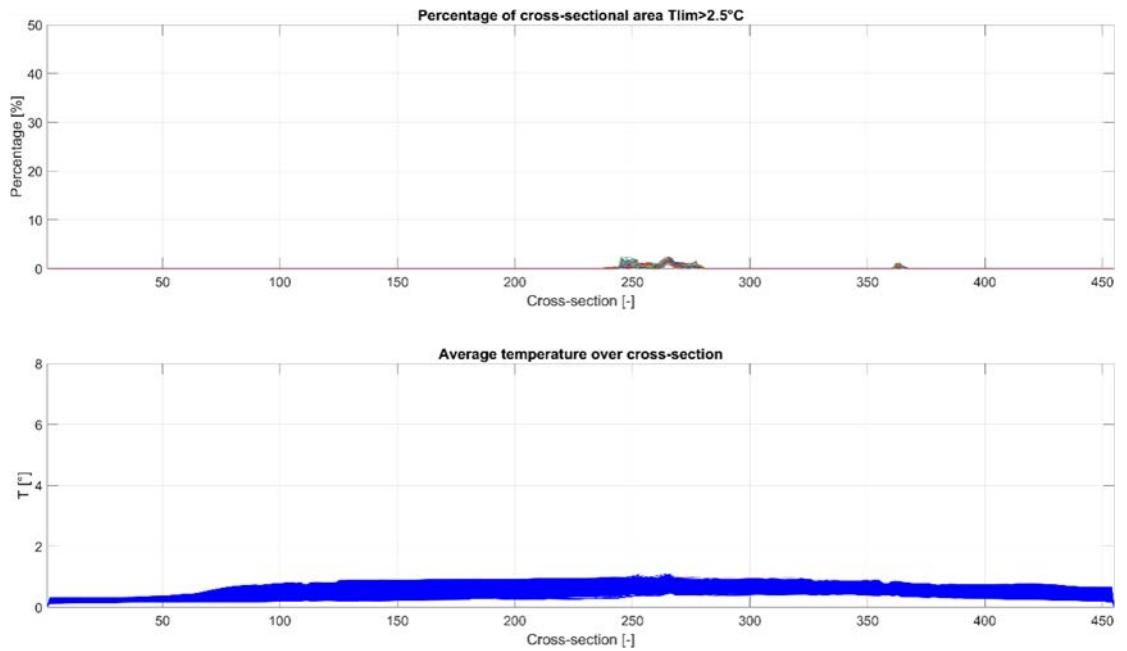
Figuur D.46 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario15).



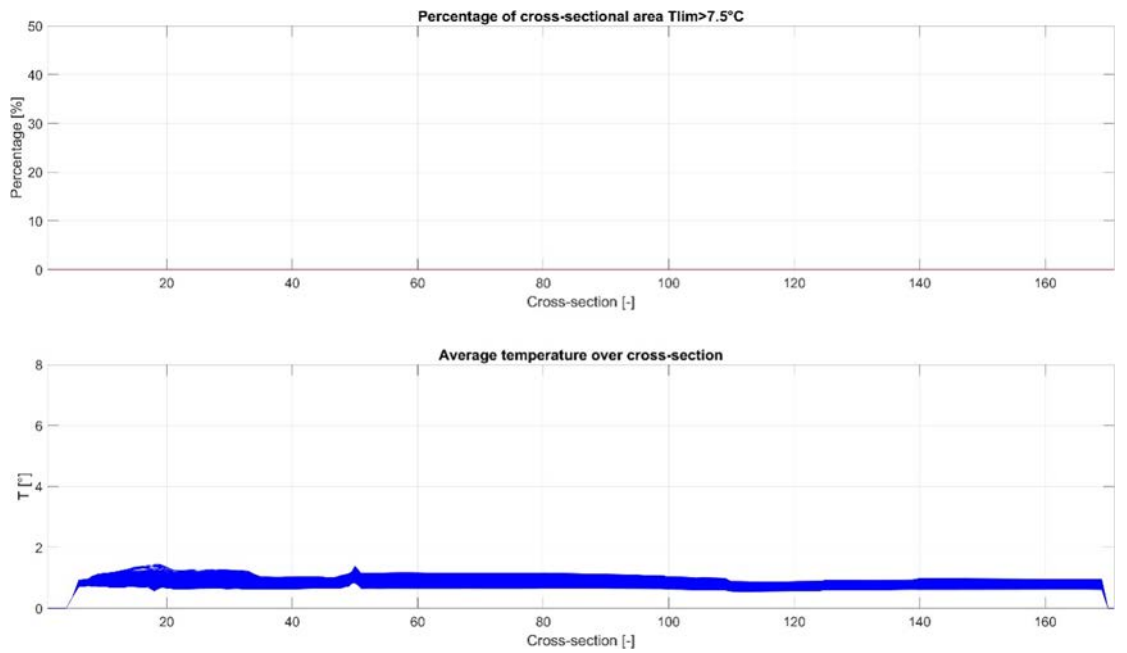
Figuur D.47 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario15).



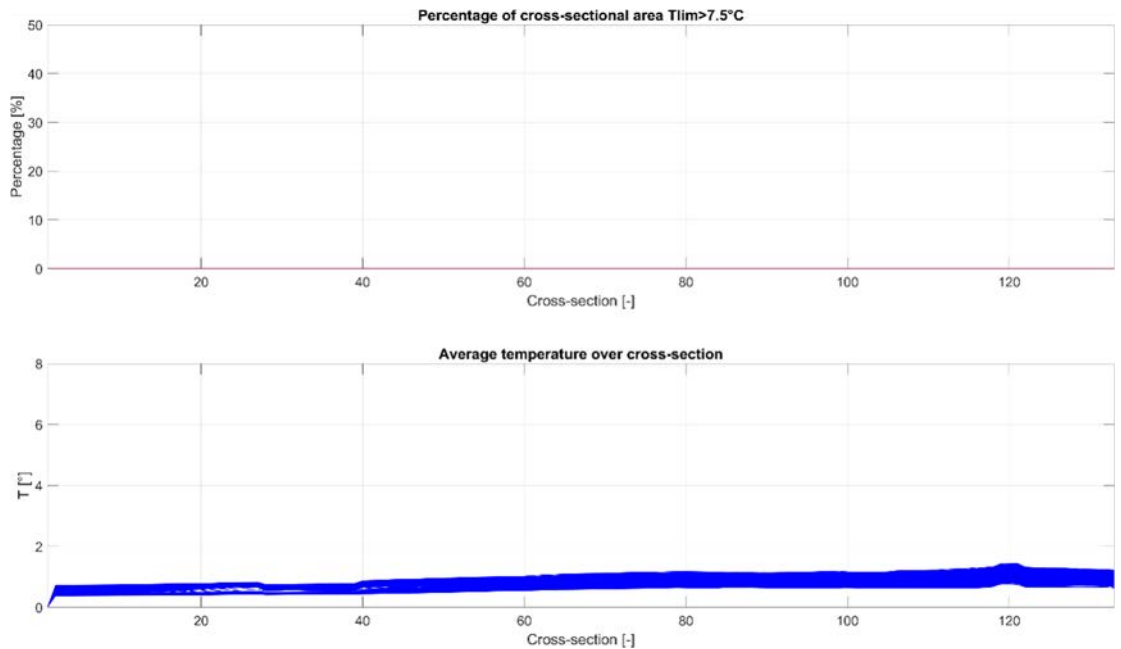
Figuur D.48 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario15).



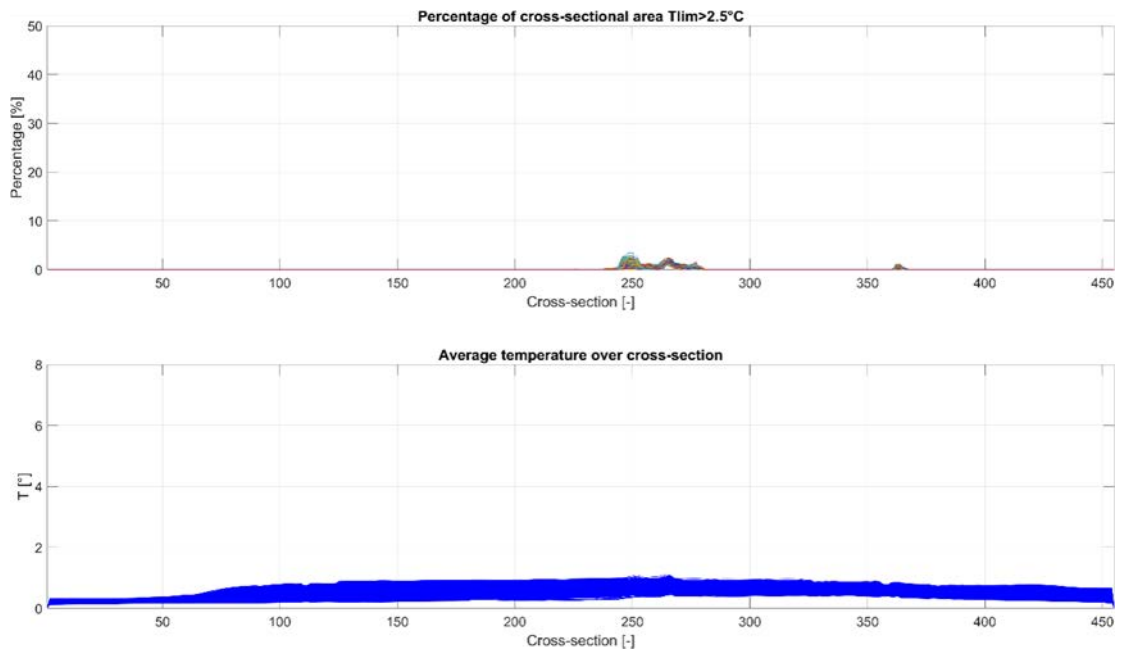
Figuur D.49 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario16).



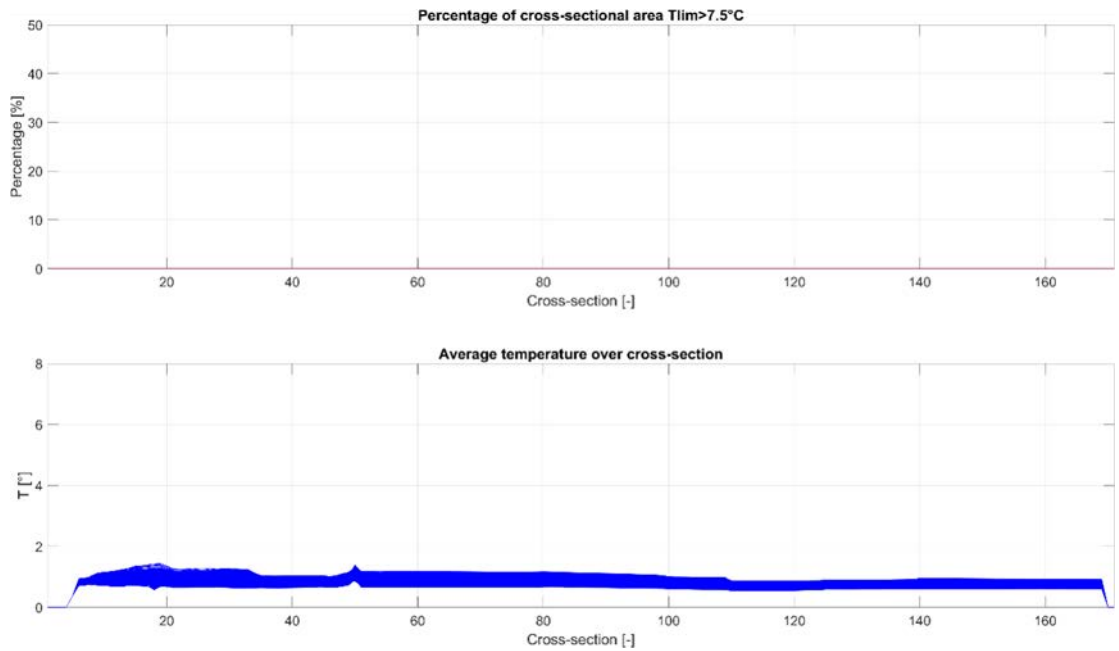
Figuur D.50 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario16).



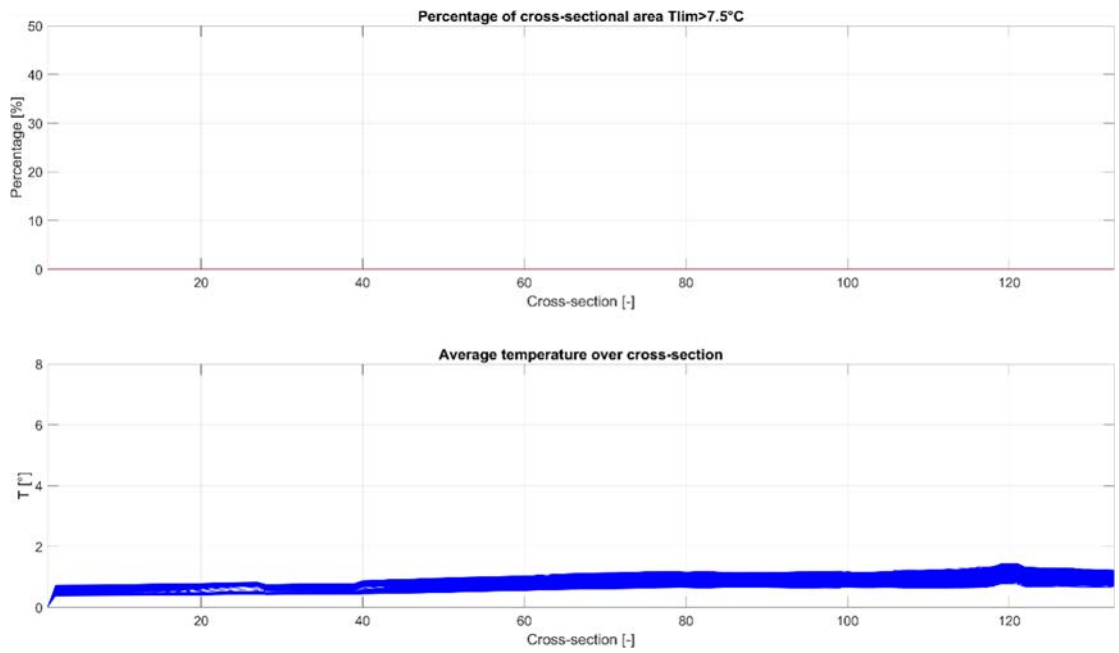
Figuur D.51 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario16).



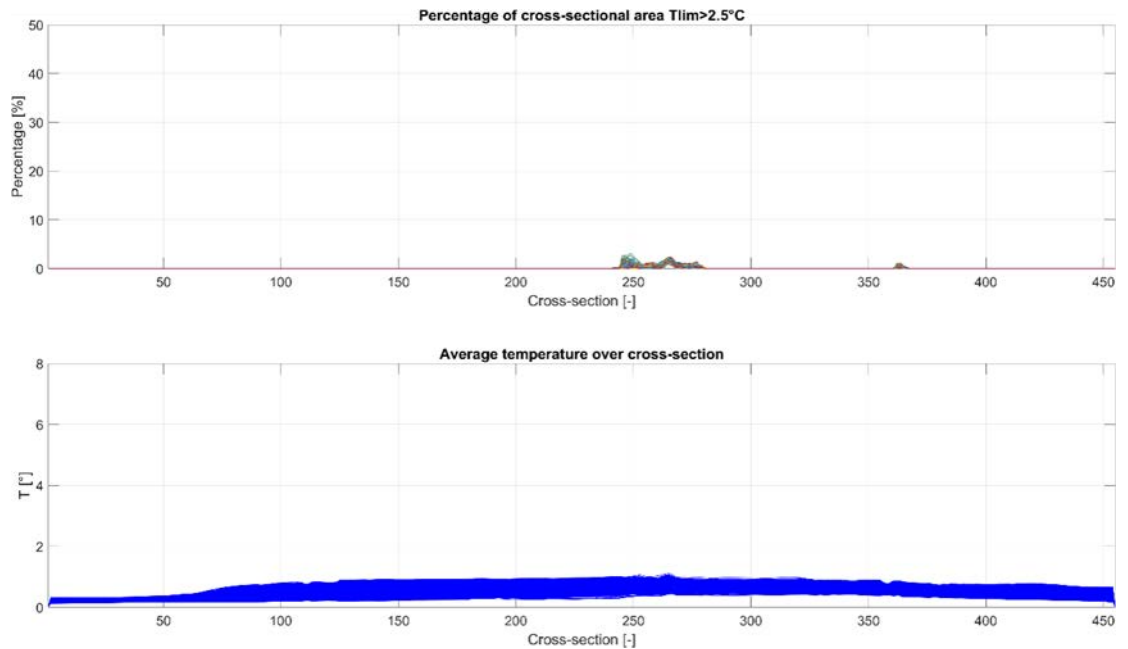
Figuur D.52 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario17).



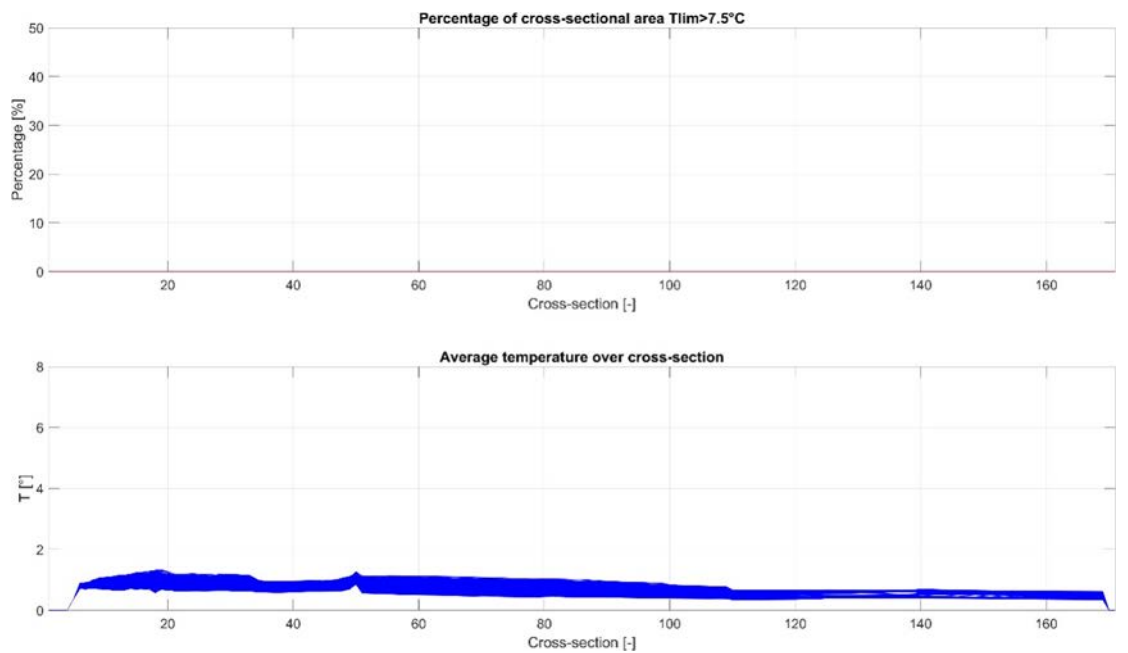
Figuur D.53 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario17).



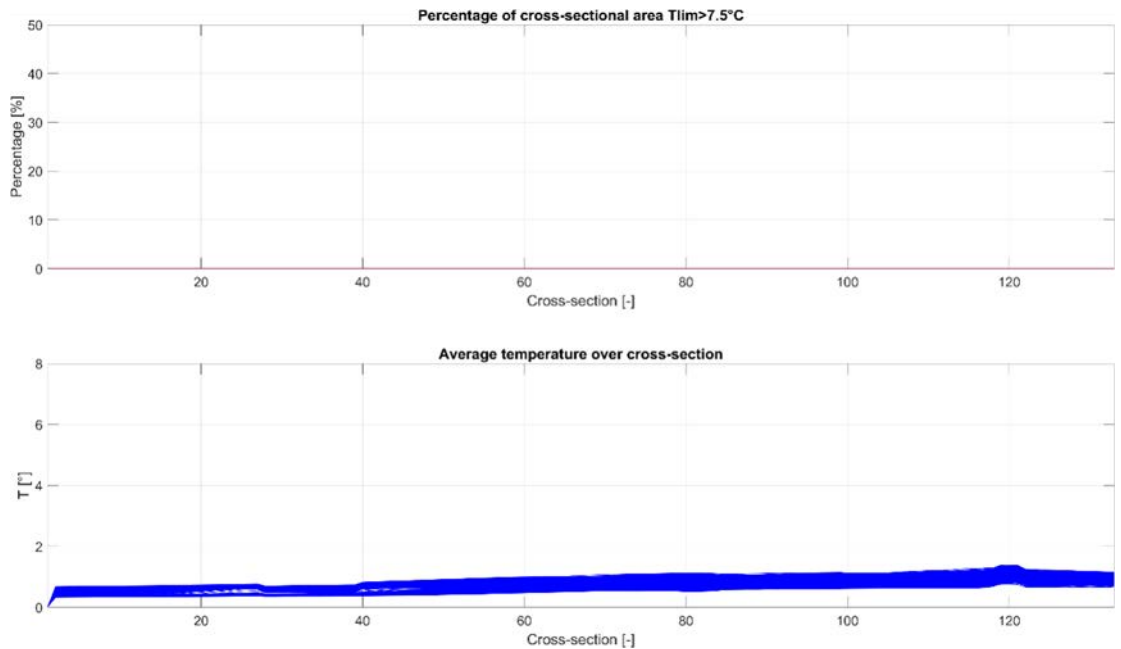
Figuur D.54 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario17).



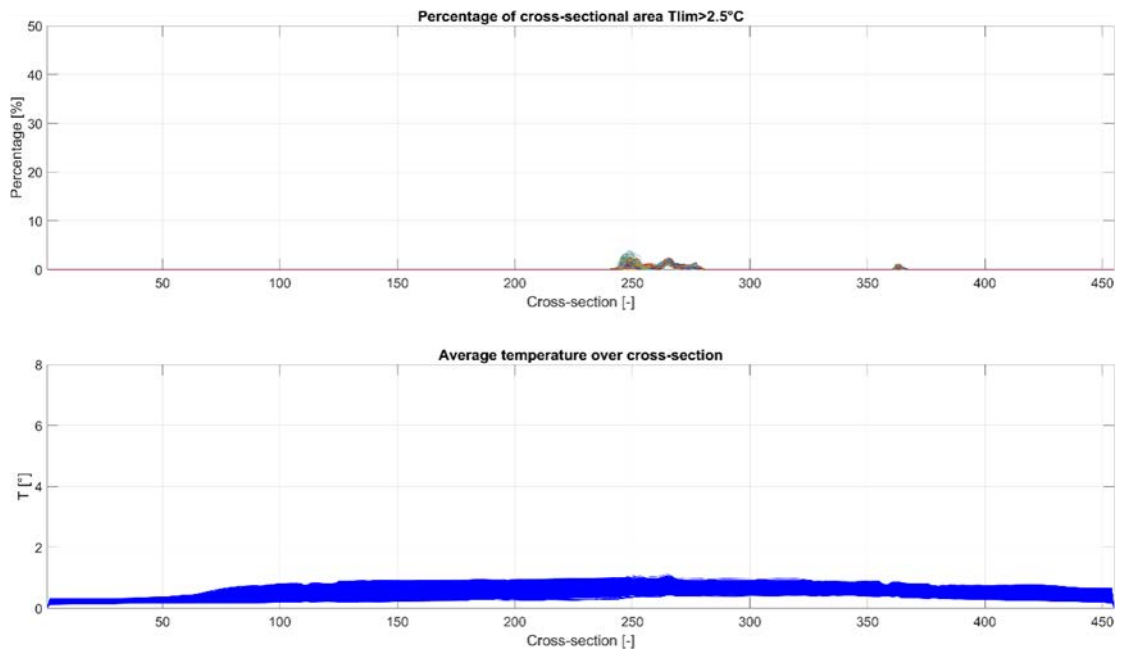
Figuur D.55 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario18).



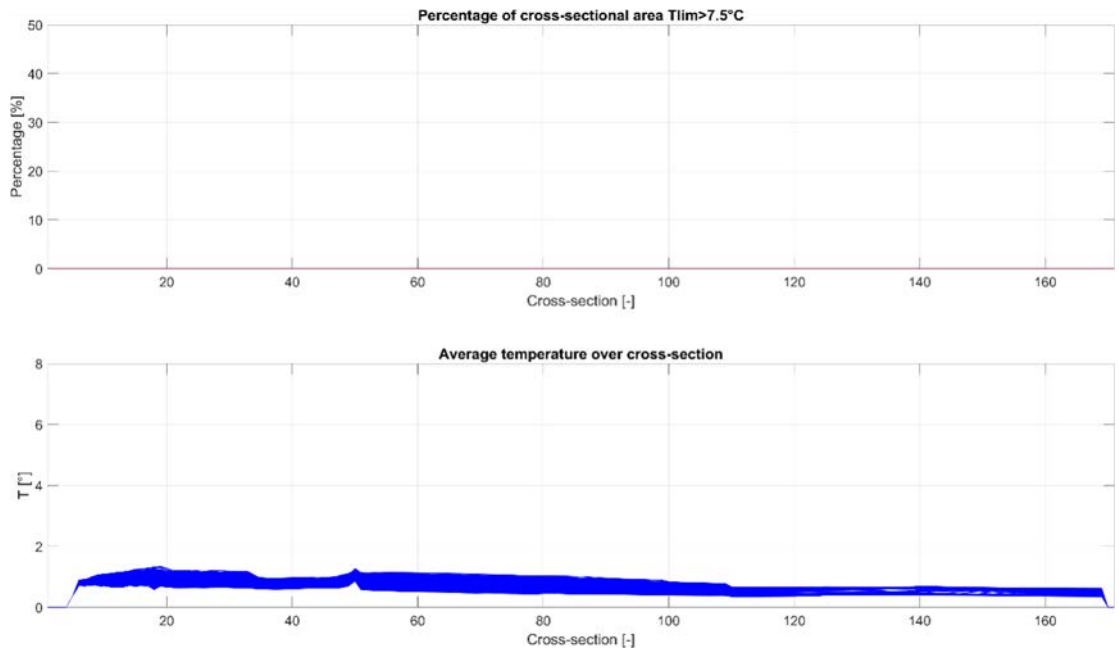
Figuur D.56 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario18).



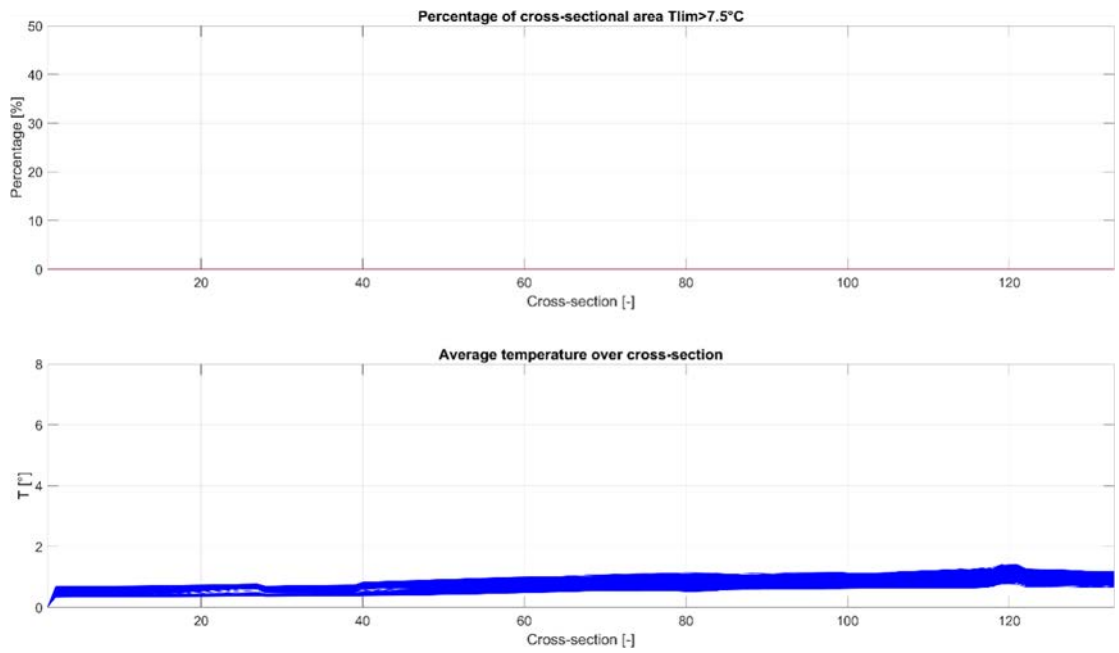
Figuur D.57 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario18).



Figuur D.58 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 1-gebied (Scenario19).



Figuur D.59 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 2-gebied (Scenario19).



Figuur D.60 Gesimuleerd percentage van de dwarsdoorsnede beslagen door de mengzone (boven) en de gemiddelde temperatuurstijging over de dwarsdoorsnede (onder) voor het Dwarsdoorsnede 3-gebied (Scenario19).

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl