



Vlaanderen
is wetenschap

25_086_1
WL rapporten

Modellering van de waterbeweging en het sedimenttransport ter hoogte van de drempel van Hansweert in de voorbije 20 jaar

Deelrapport 1

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Modellering van de waterbeweging en het sedimenttransport ter hoogte van de drempel van Hansweert in de voorbije 20 jaar

Deelrapport 1

Dujardin, A.; Vos, G.; Stark, J.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2026
D/2026/3241/014

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Dujardin, A.; Vos, G.; Stark, J.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y. (2026). Modellering van de waterbeweging en het sedimenttransport ter hoogte van de drempel van Hansweert in de voorbije 20 jaar: Deelrapport 1. Versie 4.0. WL Rapporten, 25_086_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

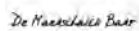
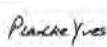
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

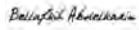
Opdrachtgever:	DMOW - aMT	Ref.:	WL2026R25_086_1
Trefwoorden (3-5):	Westerschelde, stroming, zandtransport, numerieke modellering		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Stroomsnelheden en -patronen > Niet-cohesief sediment > Numerieke modellering		
Tekst (p.):	52	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Dujardin, A.; Vos, G.
------------	-----------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Maerschalck, B.	Getekend door: Bart De Maerschalck (Sig) Getekend op: 2026-02-23 13:17:15 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2026-03-19 14:37:11 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Bellafkih Abdelkarim Getekend op: 2026-02-23 11:20:30 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	---

Abstract

Om de toegankelijkheid tot de Port of Antwerp-Bruges (platform Antwerpen) te garanderen worden er quasi continu onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd in opdracht van de afdeling Maritieme Toegang (dMOW). Eén van de belangrijkste baggerlocaties is de Drempel van Hansweert, gelegen in het centrale deel van de Westerschelde. Deze drempel wordt gekenmerkt door een sterke sedimentatie ter hoogte van de groene boeizijde, aan de oostrand van de platen van Ossensisse.

Binnen deze studie werd de waterbeweging en het sedimenttransport ter hoogte van de Drempel van Hansweert in beeld gebracht over de periode 1999 – 2025 met behulp van het SCALDIS model (Telemac3D). In het interessegebied van de studie werd het rekenrooster lokaal verfijnd. Per stap van 5 jaar werd een nieuwe bathymetrie geïnterpoleerd op het verfijnde rekenrooster en werden hydrodynamica en sedimenttransport doorgerekend.

Morfologische analyse van de verzamelde topo-bathymetriën toont hoe de bocht tussen de Overloop van Hansweert en de Drempel van Hansweert verbreedt. Tegelijkertijd erodeert de ondiepe zone langs het noordelijke en oostelijke deel van de Platen van Ossensisse. Tussen de Platen van Ossensisse en de Drempel van Hansweert ontstaat een nieuwe ondiepte. Deze nieuwe ondiepte en de Platen van Ossensisse worden gescheiden door een geul, die eb-gedomineerd is.

Vanaf 2009 neemt de transportcapaciteit aan de buitenzijde van de bocht van Hansweert stelselmatig toe, terwijl ze aan de binnenzijde van de bocht afneemt. Dit is in overeenstemming met de waargenomen morfologische veranderingen (verbreding van de radius van de bocht). De opeenvolgende simulaties tonen hoe de noordelijke en noordoostelijke rand van de Platen van Ossensisse steeds gekenmerkt worden door een toename van de sedimenttransportcapaciteit. Dit patroon is in overeenstemming met de waargenomen terugschrijding van de plaatrand.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Situering	1
1.2 Doelstelling.....	1
2 Data verzameling en morfologische analyse.....	2
2.1 Databronnen	2
2.2 Analyse	4
3 Referentiemodel.....	8
3.1 Beschrijving	8
3.2 Noot bij het gebruik van het referentiemodel voor deze studie	13
4 Verfijnd model.....	14
4.1 Beschrijving	14
4.2 Validatie	14
4.2.1 Waterstanden	15
4.2.2 Stroomsnelheden	17
5 Scenario-analyse.....	23
5.1 Visualisatie modelresultaten.....	23
5.1.1 1999	24
5.1.2 2004	27
5.1.3 2009	30
5.1.4 2014	33
5.1.5 2019	36
5.1.6 2024	39
5.2 Analyse	42
6 Conclusies en aanbevelingen	51
7 Referenties	52
Bijlage 1 Bathymetrische verschilkaarten	1
Bijlage 2 Methodiek verfijning rekenrooster	4
Bijlage 3 Overzichtskaart Westerschelde	8

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Gebruikte databronnen: SB, MB en LiDAR bestanden.	2
Tabel 2 – Types randvoorwaarden Scaldis-2019	9
Tabel 3 – Instellingen TELEMAC3D.	10
Tabel 4 – Instellingen SISYPHE.....	11
Tabel 5 – Overzicht validatie runs.	14

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Interessegebied ter hoogte van Drempel van Hansweert.	1
Figuur 2 – Foutieve topo-bathymetrie 2024.	3
Figuur 3 – Foutieve topo-bathymetrie 2009.	3
Figuur 4 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; noordelijk profiel.....	5
Figuur 5 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; centraal profiel.	5
Figuur 6 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; zuidelijk profiel.	5
Figuur 7 – Morfologische evolutie Plaat van Ossensisse, noord-zuid profiel.	6
Figuur 8 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; profiel nabij Boei 51.	6
Figuur 9 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; profiel nabij Boei 53.	6
Figuur 10 – Morfologische evolutie bocht Put van Hansweert, profielen langsheen de vaargeul.	7
Figuur 11 – Visualisatie types randvoorwaarden Scaldis-2019.	9
Figuur 12 – Roosterresolutie van het Scaldis-2019 model in het interessegebied.	10
Figuur 13 – Manning’s ruwheidscoëfficiënten in het Scaldis-2019 model (Stark <i>et al.</i> , 2022).	12
Figuur 14 – Mannings ruwheidscoëfficiënten zoals gebruikt in deze studie.	12
Figuur 15 – Bathymetrie ter hoogte van de Bathse spuisluis.	13
Figuur 16 – Ruimtelijke resolutie van het oorspronkelijke Scaldis-2019 rekenrooster (links) en het verfijnde rekenrooster (rechts).	14
Figuur 17 – Uitvoerpunten van de numerieke modellen in het interessegebied.	15
Figuur 18 – Statistiek modelresultaten versus waterstandsmetingen: bias (boven) en RMSE0 (onder).	16
Figuur 19 – Statistiek waterstanden: RMSE0 tussen de modellen onderling.	17
Figuur 20 – Statistiek stroomsnelheden: MAE Vector Difference tussen de modellen onderling.	18
Figuur 21 – Statistiek stroomsnelheden: RMAE Vector Difference tussen de modellen onderling.	18
Figuur 22 – Verschil in bathymetrie tussen het verfijnd model en het referentie model Scaldis-2019.	19
Figuur 23 – Verschil in bathymetrie tussen het verfijnd model en het referentie model Scaldis-2019 t.h.v. Boei 51. Boven: model bathymetrie op Raai 44; onder: verschil in modelbathymetrie.	19
Figuur 24 – Verschil in stroomsnelheid tussen het verfijnd model en het referentie model bij maximale vloedstroming springtij.	21
Figuur 25 – Verschil in stroomsnelheid tussen het verfijnd model en het referentie model bij maximale ebstroming springtij.	22
Figuur 26 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 1999.	24
Figuur 27 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 1999.	25
Figuur 28 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 1999.	26

Figuur 29 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2004.	27
Figuur 30 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2004.	28
Figuur 31 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2004.	29
Figuur 32 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2009.	30
Figuur 33 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2009.	31
Figuur 34 - Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2009.	32
Figuur 35 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2014.	33
Figuur 36 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2014.	34
Figuur 37 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2014.	35
Figuur 38 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2019.	36
Figuur 39 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2019.	37
Figuur 40 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2019.	38
Figuur 41 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2024.	39
Figuur 42 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2024.	40
Figuur 43 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2024.	41
Figuur 44 – Evolutie van het stroompatroon bij hoogwater springtij.	43
Figuur 45 - Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit;	44
Figuur 46 – Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit;	45
Figuur 47 – Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit;	46
Figuur 48 – Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit;	47
Figuur 49 – Evolutie netto sedimenttransportcapaciteit (residueel transport) van 1999 tot 2024.	48
Figuur 50 – Verschil in bruto sediment transport tussen de opeenvolgende jaren.	49
Figuur 51 – Verschil in bruto sediment transport tussen 1999 en 2024.	50

1 Inleiding

1.1 Situering

Om de toegankelijkheid tot de Port of Antwerp-Bruges (platform Antwerpen) te garanderen, worden er quasi continu onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd in opdracht van de afdeling Maritieme Toegang (dMOW). Eén van de belangrijkste baggerlocaties is de Drempel van Hansweert, gelegen in het centrale deel van de Westerschelde. Deze drempel wordt gekenmerkt door een sterke sedimentatie ter hoogte van de groene boeierzijde, ter hoogte van de oostrand van de Platen van Ossensisse (Plancke & Meire, 2025; Vos *et al.*, 2017). Ten behoeve van de optimalisatie van de baggerwerken op deze locatie, wordt momenteel onderzocht hoe de ligging van de vaargeul hier geoptimaliseerd kan worden. Voorliggend onderzoek kadert binnen deze optimalisatie.

1.2 Doelstelling

Het doel van de opdracht is het in beeld brengen van de waterbeweging en het sedimenttransport ter hoogte van de Drempel van Hansweert (tussen B47 en B55, zie Figuur 1 voor interessegebied) over de periode 2009 – 2025, waarbij een tijdsplan van 5 jaren tussen opeenvolgende momenten wordt gehanteerd.

Hiervoor zal aan de hand van het bestaande hydrodynamische numerieke model SCALDIS (Smolders *et al.*, 2016; Stark *et al.*, 2022) de stroming en het sedimenttransport ter hoogte van de drempel gevisualiseerd worden.



Figuur 1 – Interessegebied ter hoogte van Drempel van Hansweert.

2 Data verzameling en morfologische analyse

2.1 Databronnen

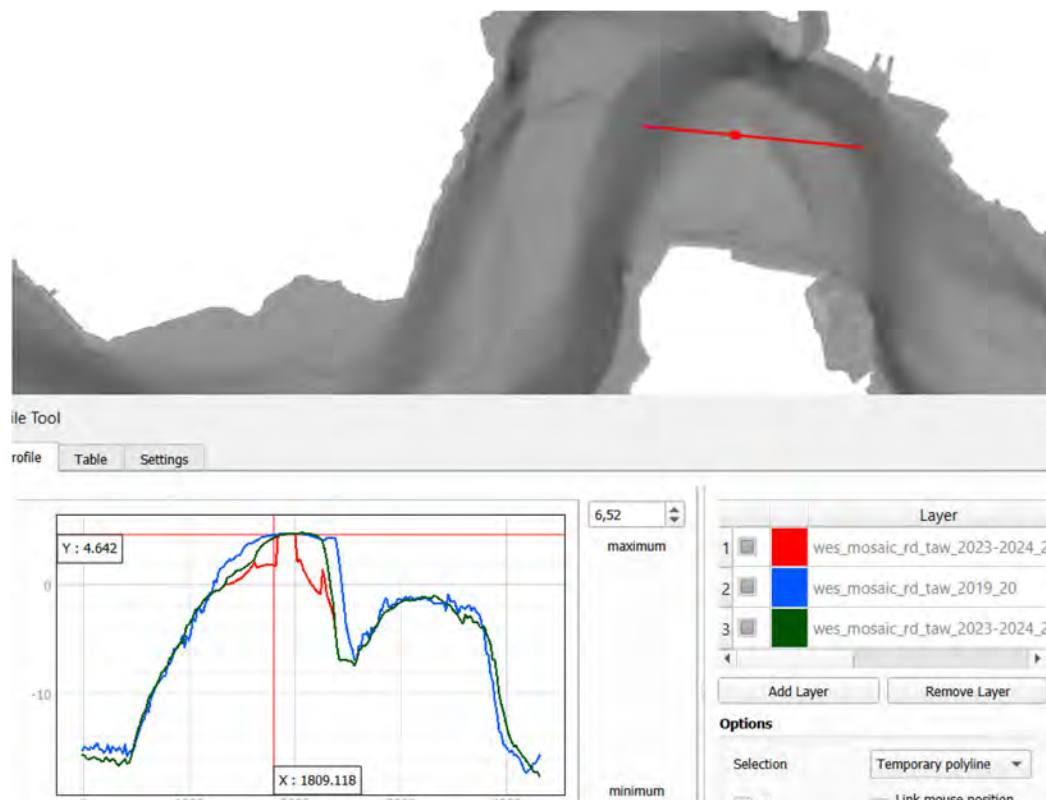
Tabel 1 lijst de gebruikte databronnen en singlebeam (SB), multibeam (MB), en LiDAR bestanden op, gebruikt voor het opstellen van de topo-bathymetriën voor de jaren 1999, 2004, 2009, 2014, 2019 en 2024-2025. Topo-bathymetrische gegevens voor de gehele Westerschelde (van Vlissingen – Breskens tot de Nederlands-Belgische grens) werden bekomen uit de singlebeam vaklodingen van Rijkswaterstaat en LiDAR vluchten. In het interessegebied werd gebruik gemaakt van multibeam peilingen. Op basis van deze files werd voor elk van de zes jaartallen een 20 x 20 m (ascii) raster opgemaakt.

In het beschikbare combi-raster voor het jaar 2024 werd een fout gevonden in de overgang van bathymetrie naar topografie ter hoogte van de noordelijke tip van de Platen van Ossenis (Figuur 2). Omdat er voor het jaar 2024 geen afzonderlijke LiDAR beelden beschikbaar zijn, werd de LiDAR data van het jaar 2023 gebruikt. Volgende methodiek werd toegepast: binnen de omtrek van de LiDAR data van het jaar 2022 (deze info ontbrak/was onbetrouwbaar voor de jaren 2023 en 2024) werd de topografische data binnen het 2024 combi-raster vervangen door de LiDAR data van 2023.

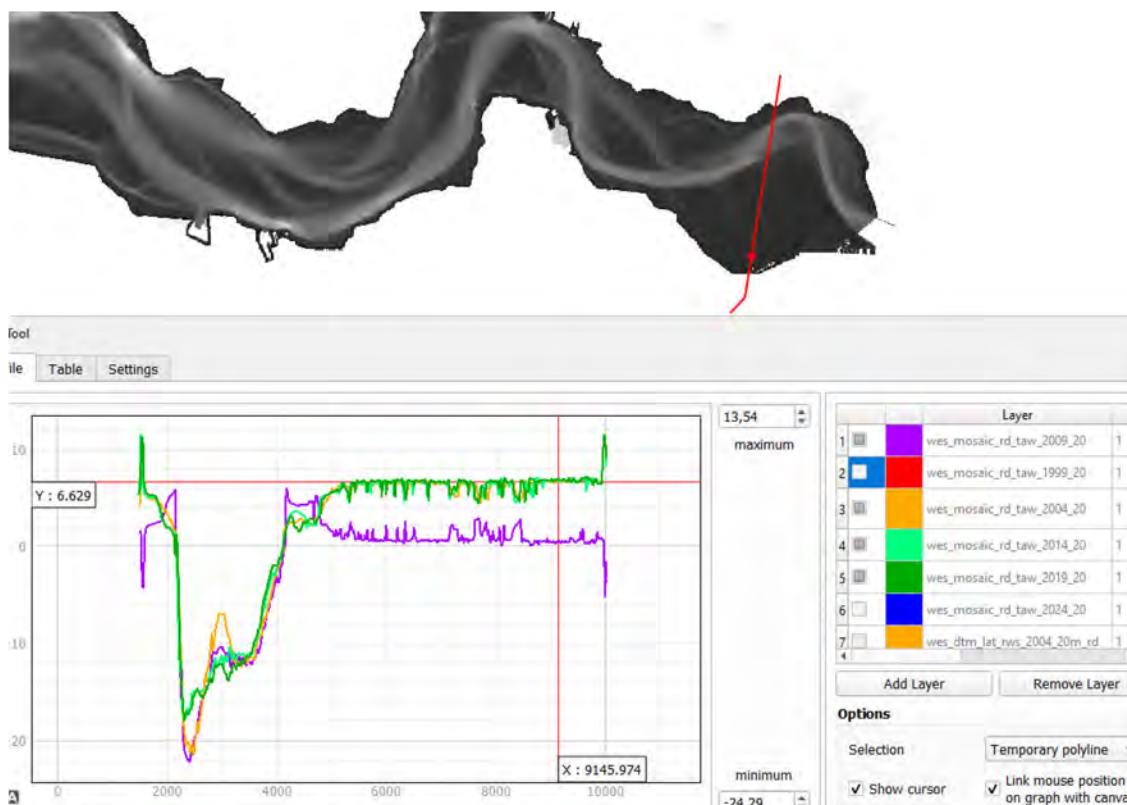
Ook voor het jaar 2009 bleek er een fout te zitten in het beschikbare combi-raster van vaklodingen en LiDAR data. Het lijkt erop dat de LiDAR data horizontaal gespiegeld werd bij het samenvoegen. Om extra werk te vermijden werd gebruik gemaakt van een op het Waterbouwkundig Laboratorium beschikbare puntenwolk, opgemaakt in het kader van eerdere modelleer opdrachten.

Tabel 1 – Gebruikte databronnen: SB, MB en LiDAR bestanden.

Single-beam vaklodingen +LiDAR	Multi-beam peilingen (bron: triton)
1999 (RD TAW => bron: Masterarchief)	990915_DR_HANS_MB_95 (WGS84 GLLWS)
2004 (ETRS89 LAT => bron: aMT)	040308_DR_HANS_MB_300 041100_WALS_B_TO_MB_300 (WGS84 GLLWS)
2009 (RD TAW => bron: Masterarchief)	090300_WALS_A_W37_MB_300 (WGS84 GLLWS)
2014 (ETRS89 LAT => bron: aMT)	140501_PWA_Z_MB_300 140505_DR_HANS_MB_300 (ETRS89 LAT)
2019 (ETRS89 LAT => bron: aMT)	190402_236_STWALSG_MB 190428_262_STHWG_MB (ETRS89 LAT)
2024 (ETRS89 LAT => bron: aMT) /!\ GEEN LIDAR /!\ =>LiDAR 2023	240603_196_STWALSG_MB 240405_178_STHW_MB (ETRS89 LAT)



Figuur 2 – Foutieve topo-bathymetrie 2024. Ter hoogte van de Platen van Ossensisse, op de overgang van bathymetrische (vaklodngen) naar topografische (LiDAR) data vertoont het combi-raster een verdachte sprong.



Figuur 3 – Foutieve topo-bathymetrie 2009. In vergelijking tot alle andere jaren lijkt de LiDAR data voor 2009 horizontaal gespiegeld.

2.2 Analyse

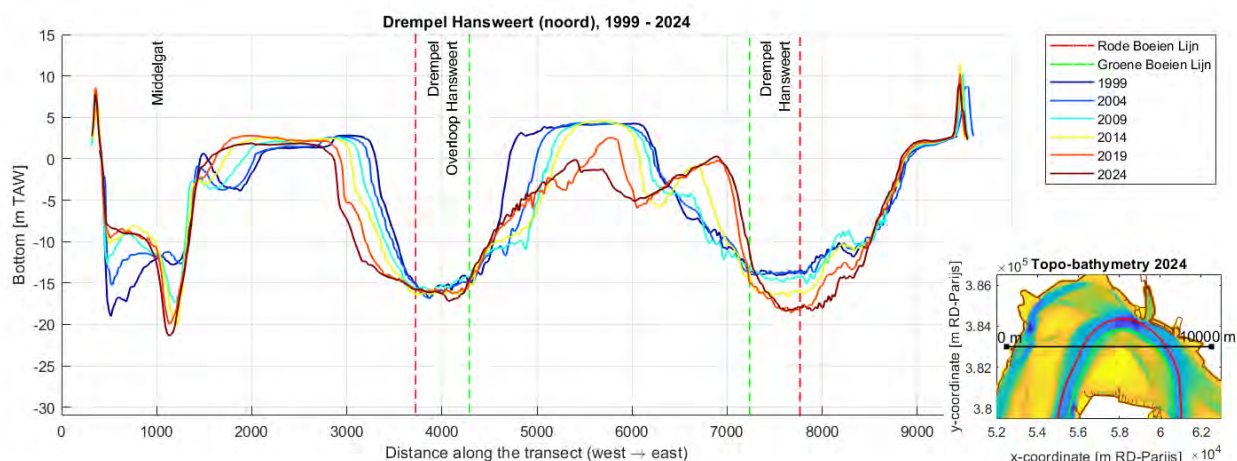
Tussen 1999 en 2024 verschoof het westelijke talud van de vaargeul ter hoogte van de Drempel van Hansweert met ca. 200 m naar het oosten. De grootste verplaatsing (ca. 120 m) gebeurde tussen 1999 en 2004. De twee daaropvolgende periodes van 5 jaar verschoof het talud achtereenvolgens nog ca. 50 m (2009) en 40 m (2014) meer naar het oosten. In 2019 lag het talud tussen de posities van 2014 en 2009, om in 2024 terug op de locatie van 2014 te liggen.

De oostelijke wand van de Plaat van Ossenissee verschuift consistent doorheen de tijd steeds westelijker met ca. 40 m/5 jaar. Tussen de plaatrand en de vaargeul is een nieuwe ondiepte ontstaan: in de periode van 2004 tot 2019 steeg de bodem met 8 m. In de periode 2019 – 2024 lijkt de hoogteligging van het nieuwgevormde plaatje stabiel.

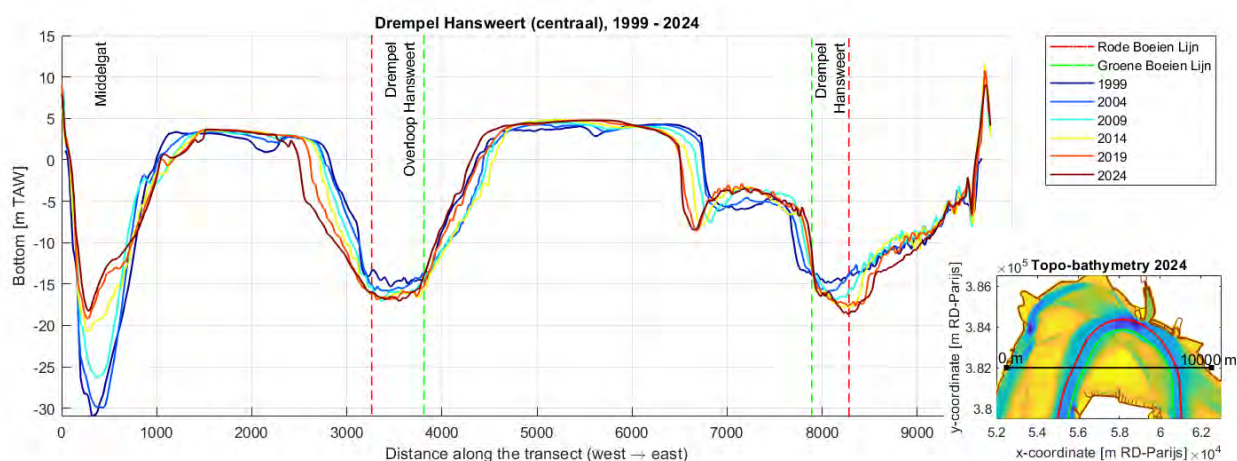
De 3^{de} verruiming van de vaargeul (uitgevoerd in 2010) is duidelijk zichtbaar ter hoogte van de Drempel van Hansweert (Figuur 4 en Figuur 5), en minder uitgesproken in het Zuidergat (enkel het westelijk deel van de vaargeul is ca. 2 m dieper in Figuur 6). Ter hoogte van de Overloop van Hansweert is geen verdieping van de vaargeul te zien ten gevolge van de 3^{de} verruiming (Figuur 5). Wel is de geul duidelijk verbreed; waarbij de westelijke geulwand meer naar het westen is verschoven dan de oostelijke geulwand.

Ook het noord-zuid profiel (Figuur 7) toont het verkleinen van de Platen van Ossenissee en de verschuiving van de zuidelijke geulwand naar het noorden. De erosie van de Platen van Ossenissee wordt nog bevestigd in Figuur 8 en Figuur 9. Figuur 9 toont daarnaast ook nog hoe de buitenzijde van de bocht (buiten de vaargeul) erodeert.

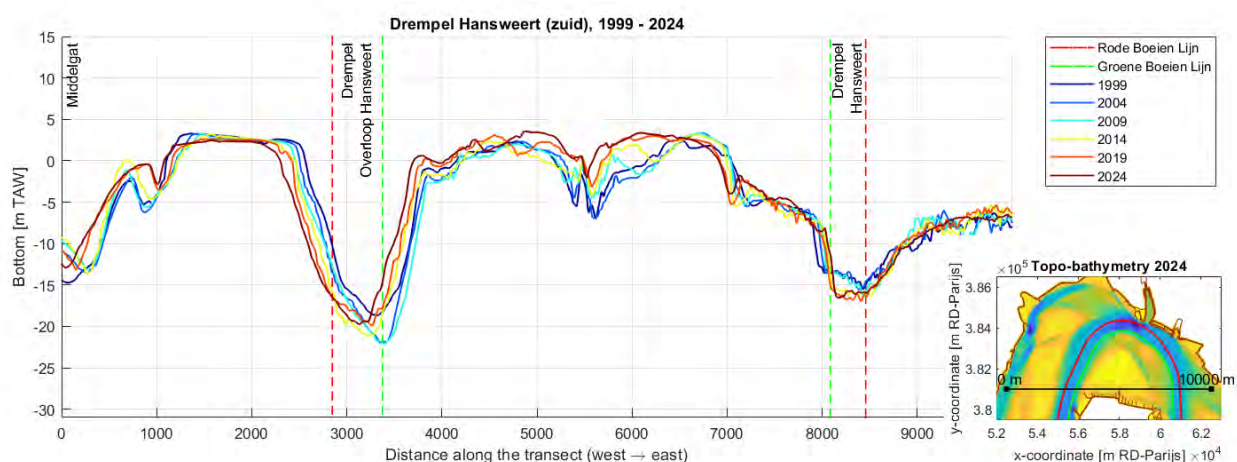
De bocht ter hoogte van de Put van Hansweert verbreedt: tussen de Overloop van Hansweert tot de Drempel van Hansweert erodeert de buitenzijde (rode boeien lijn), terwijl sedimentatie optreedt in de binnenbocht (groene boeien lijn). Tegelijkertijd eroderen het noordelijke en oostelijke deel van de Platen van Ossenissee. Tussen de Platen van Ossenissee en de Drempel van Hansweert ontstaat een nieuwe ondiepte.



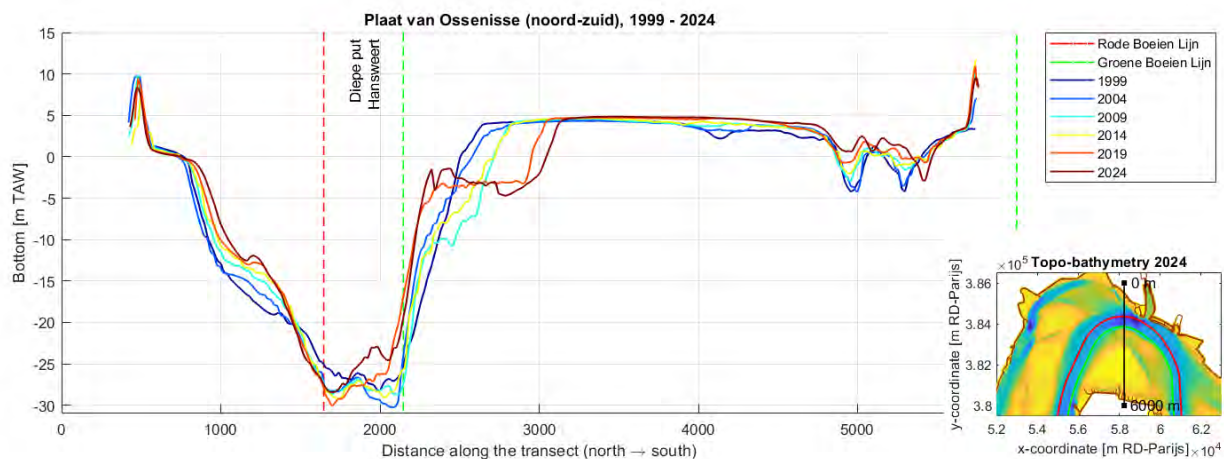
Figuur 4 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; noordelijk profiel



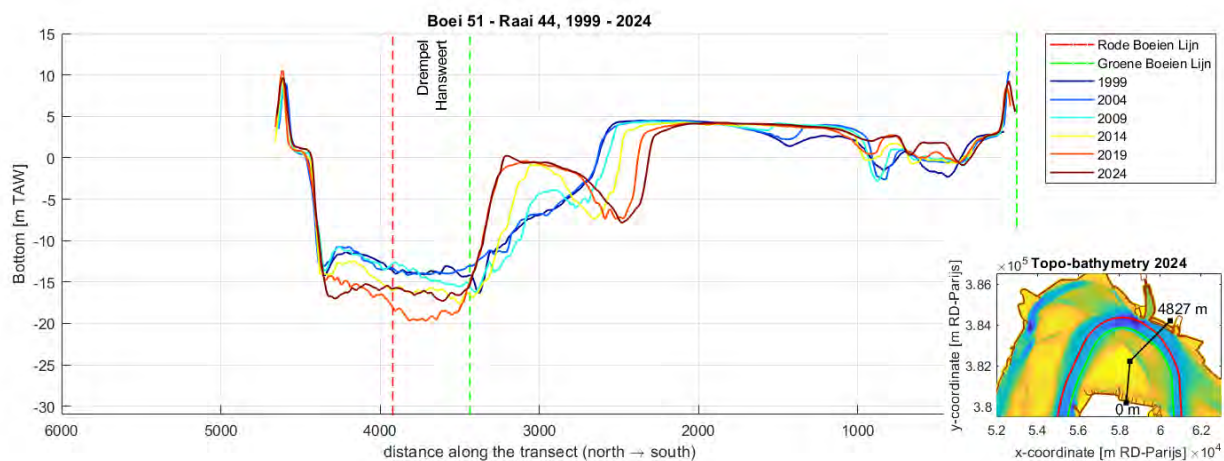
Figuur 5 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; centraal profiel.



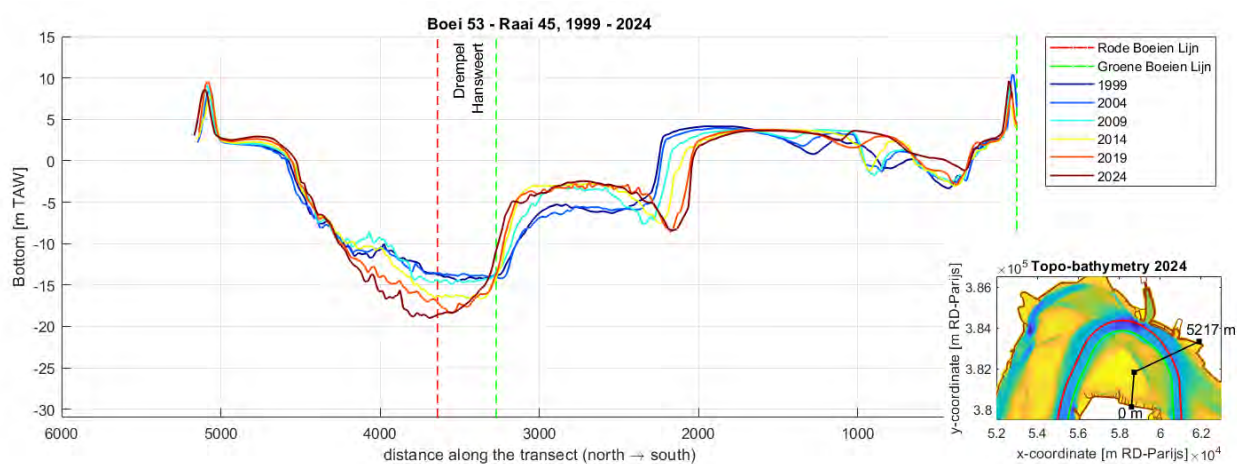
Figuur 6 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; zuidelijk profiel.



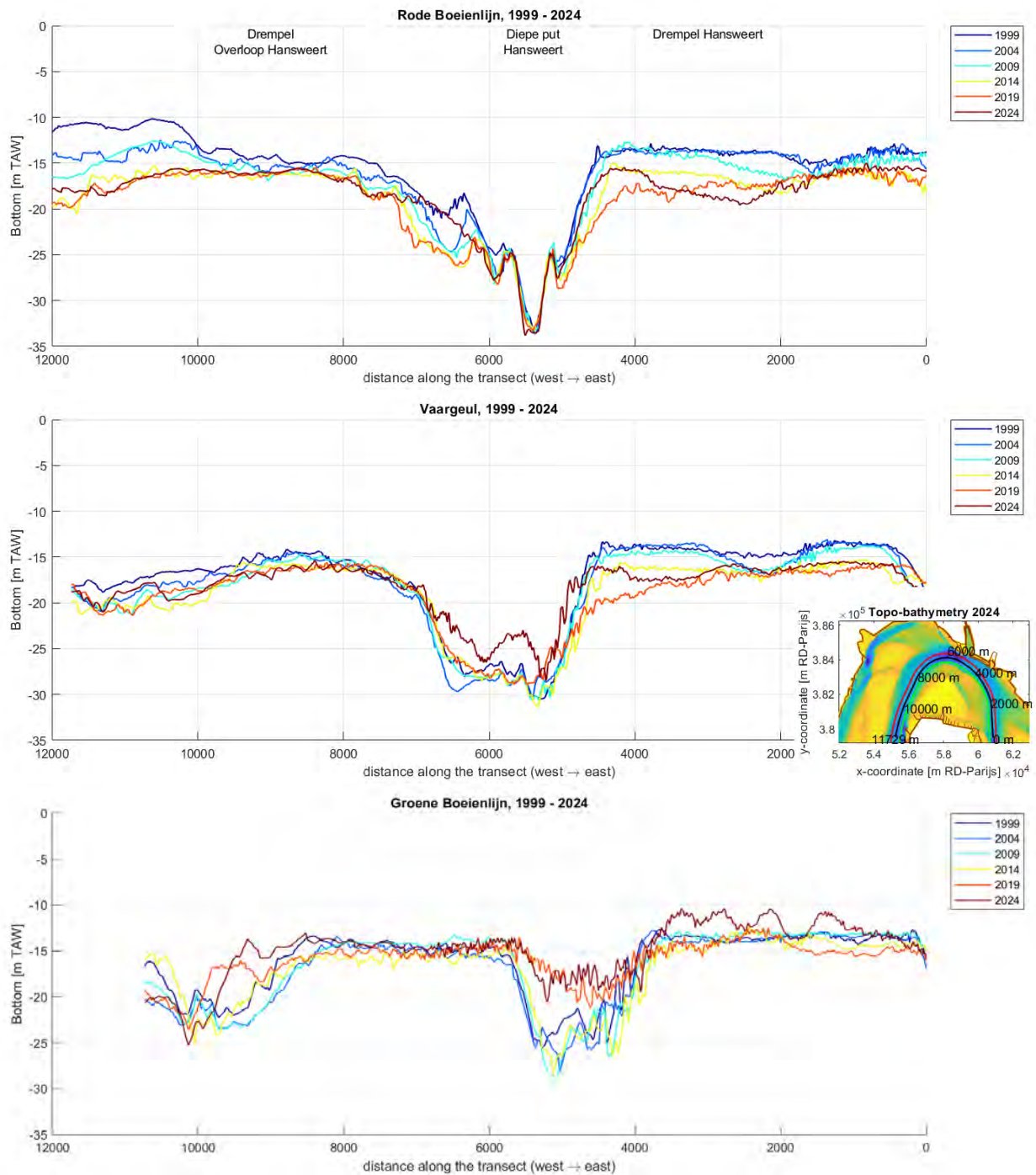
Figuur 7 – Morfologische evolutie Plaat van Ossensisse, noord-zuid profiel.



Figuur 8 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; profiel nabij Boei 51.



Figuur 9 – Morfologische evolutie Drempel van Hansweert; profiel nabij Boei 53.



Figuur 10 – Morfologische evolutie bocht Put van Hansweert, profielen langsheen de vaargeul.

3 Referentiemodel

3.1 Beschrijving

Het SCALDIS model, ontwikkeld door Smolders *et al.* (2016), omvat het volledige Schelde-estuarium, inclusief getijgeboden zijrivieren en het mondingsgebied. Ook bevat het modeldomein de Belgische kustzone en de Oosterschelde. De resolutie van het model varieert van enkele honderden meters buiten de kust over 100 à 150 meter in de Westerschelde tot 20 à 10 meter in de Boven-Zeeschelde. Speciale aandacht is bij de ontwikkeling van het model besteed aan de implementatie van de gereduceerde getijgebieden (GGG's) en gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's). Het model is opgemaakt in Rijksdriehoeks coördinaten (RD-Parijs, EPSG-code 28992), heeft als verticale referentie TAW, en beschrijft de toestand anno 2013.

In het kader van de Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium werden bijkomende modelsimulaties voor het bepalen van de sedimenttransportcapaciteit opgemaakt voor de jaren 2011, 2013, 2016 en 2019 (Stark *et al.*, 2022). Het is de modelopzet anno 2019^{1&2} die in deze studie wordt gebruikt als referentie model.

Figuur 11 en Tabel 2 tonen de types randvoorwaarden opgelegd aan het model. Op de zeewaartse rand (9) wordt een tijdserie opgelegd van ruimtelijk variërende waterstand en een constante saliniteit van 32 ppt. Op de afwaartse randen (2 – 8) worden debiettijdseries opgelegd. Voor Terneuzen (1) wordt een constante waarde gebruikt.

De randvoorwaarden tijdseries beschrijven twee volledige doottij – springtij cycli (+ inspeelperiode) van 20/03/2019 03:30 tot 20/04/2019 03:30. De springtij -doottij cyclus die wordt gebruikt voor de analyse loopt van 30/03/2019 12:30 tot 14/04/2019 06:30.

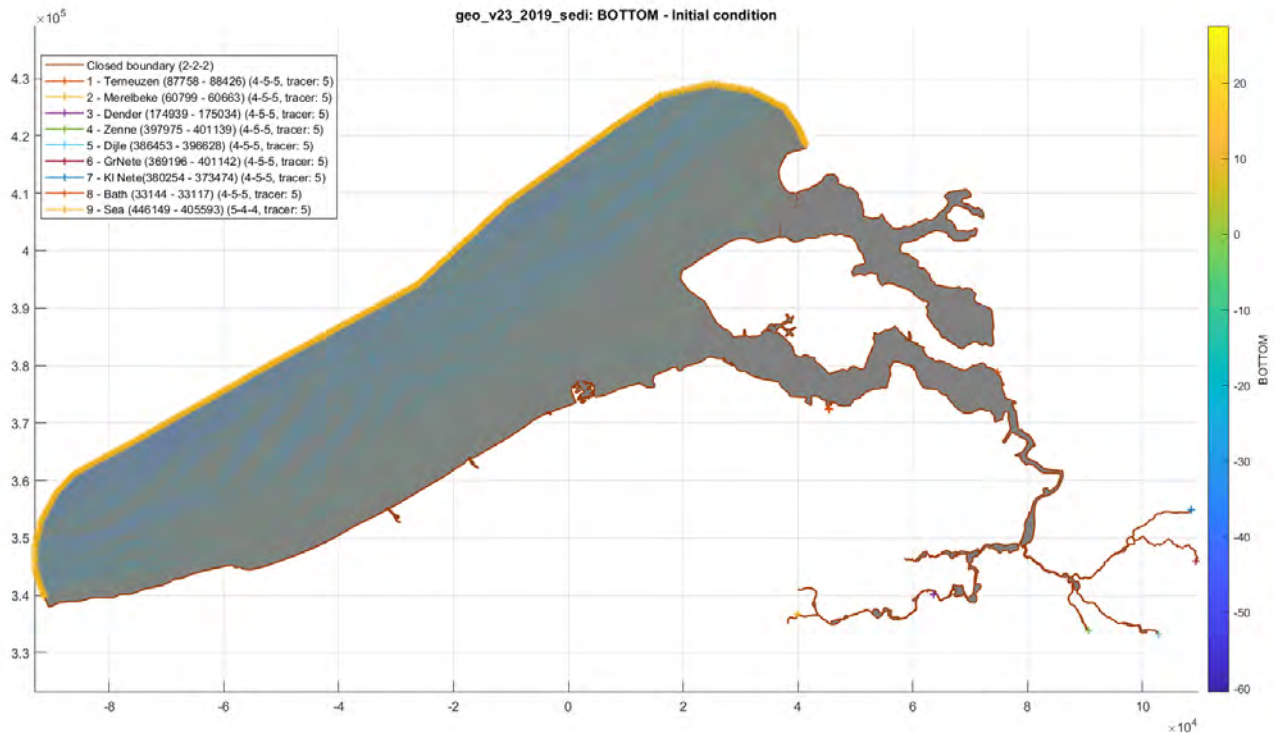
Figuur 12 toont de roosterresolutie in de omgeving van de Plaat van Ossenis en de Drempel van Hansweert. De afstand tussen de knopen bedraagt hier 125 à 160 m; enkel in de toegangseul tot de sluizen van Hansweert is de resolutie wat hoger (40 – 60 m). De kribben en strekdam in de Schaar van Ossenis zijn niet opgenomen in het model.

Figuur 13 toont het bodemruwheidsveld van het Scaldis-2019 model (Stark *et al.*, 2022). In de sedimenttransport-module SISYPHE wordt een ruimtelijk uniforme bodemruwheid van $n = 0,022 \text{ s.m}^{-1/3}$ toegepast door middel van een aanpassing in de broncode van SISYPHE (i.e., in subroutine *coefro_sisyphe.f*). Op die manier zijn de berekende sedimenttransporten niet afhankelijk van variaties in het (gekalibreerde) ruwheidsveld. De bodemruwheid voor de sedimenttransportmodule is daarmee wel verschillend van de bodemruwheid voor de hydrodynamische module (TELEMAC3D).

Wind forcing is uitgeschakeld, net zoals culverts. Tabel 3 geeft een overzicht van de numerieke instellingen van de hydrodynamische module TELEMAC3D.

¹ Afhankelijk van de beschikbaarheid van de data werd de bathymetrie door Stark *et al.* (2022) steeds geüpdatet van de lijn Westkapelle – Cadzand (afwaarts) tot en met Boom (opwaarts Rupel), Hamme (opwaarts Durme) en Merelbeke (opwaarts Schelde). De bathymetrische data in de overige delen van het modeldomein, inclusief de getij-arm Gentbrugge-Melle, bleef identiek aan het originele Scaldis-2013 model (Smolders *et al.*, 2016).

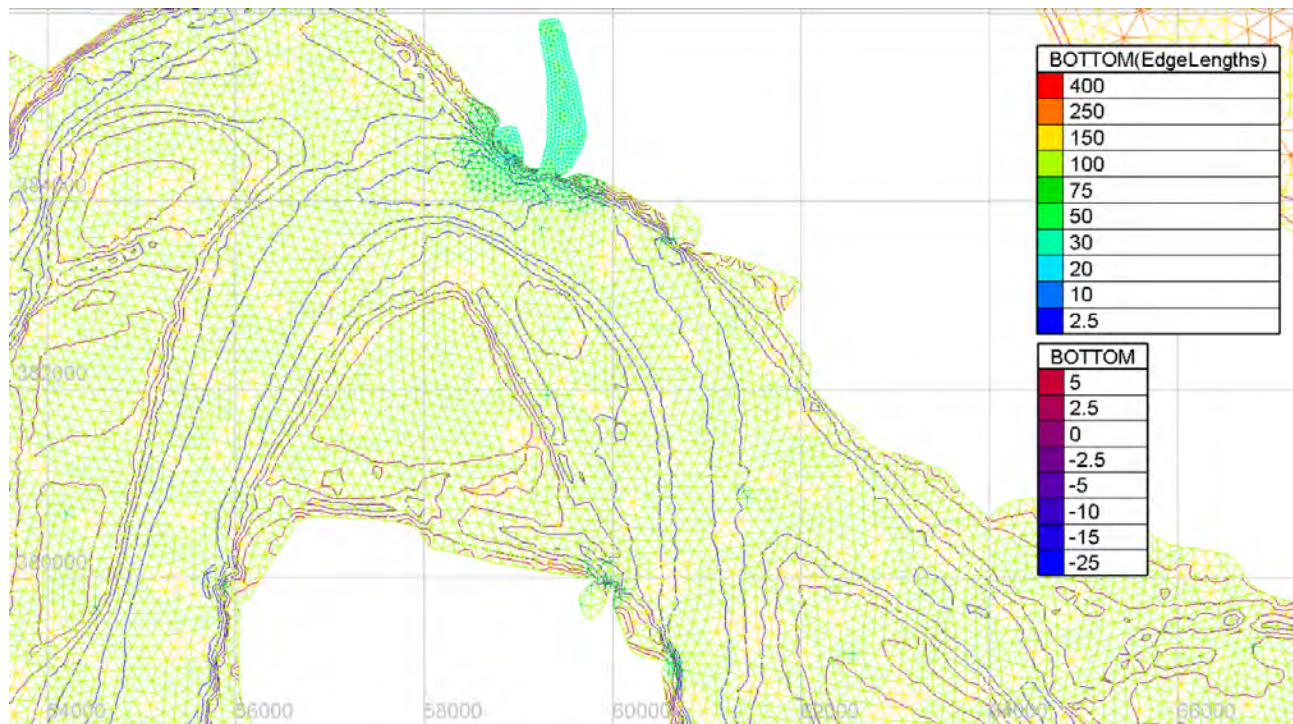
² https://wl-subversion.vlaanderen.be/svn/repoSpNumMod/TELEMAC/Scaldis/21_106_Update/Evaluatie/methodiek/Sedimenttransportcapaciteit/scaldis_run2019



Figuur 11 – Visualisatie types randvoorwaarden Scaldis-2019.

Tabel 2 – Types randvoorwaarden Scaldis-2019

Rand nummer	Naam	Type hydrodynamica	Type tracer (saliniteit)
1	Terneuzen	$Q = 37,8 \text{ m}^3/\text{s}$	$S = 0 \text{ ppt}$
2	Merelbeke	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
3	Dender	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
4	Zenne	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
5	Dijle	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
6	Grote Nete	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
7	Kleine Nete	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
8	Bath	Variabel debiet $Q(t)$	$S = 0 \text{ ppt}$
9	Zeeland	Variabele waterstand $H(t)$	$S = 32 \text{ ppt}$



Figuur 12 – Roosterresolutie van het Scaldis-2019 model in het interessegebied.

Tabel 3 – Instellingen TELEMAC3D.

Parameter	Waarde
Time step	4 s
Initial condition	Constance waterhoogte en start met inspeeltijd
Number of layers in the vertical	5 (3D model)
Salt transport	On
Wind	Off
Bottom friction formula	Manning
Bed roughness value	Ruimtelijk variërend
Friction formula for lateral boundaries	Nikuradse Law
Friction coefficient for lateral boundaries	0.054848
Option for the treatment of tidal flats	1: equations solved everywhere with correction on tidal flats
Treatment of negative depths	2: flux control
Free surface gradient compatibility	0.9
Vertical turbulence model	2: mixing length
Mixing length model	3: Nezu and Nakagawa
Horizontal turbulence model	4: Smagorinsky
Coefficient for vertical diffusion of velocities	0.01
Coefficient for horizontal diffusion of velocities	0.01
Scheme for advection of velocities	1: characteristics
Scheme for advection of depth	5: conservative scheme
Scheme for advection of tracers	13: Leo Postma for tidal flats
Scheme for diffusion of velocities	1: implicit (1 is default; 0 cancels the diffusion)
Scheme for diffusion of tracers	1: implicit
Solver	7: GMRES

In de sediment module SISYPHE wordt het totale sedimenttransport uitgerekend met de formule van Engelund-Hansen (1967). De formule wordt uitgedrukt in volgende vergelijking, en maakt geen onderscheid tussen bodem- en suspensietransport:

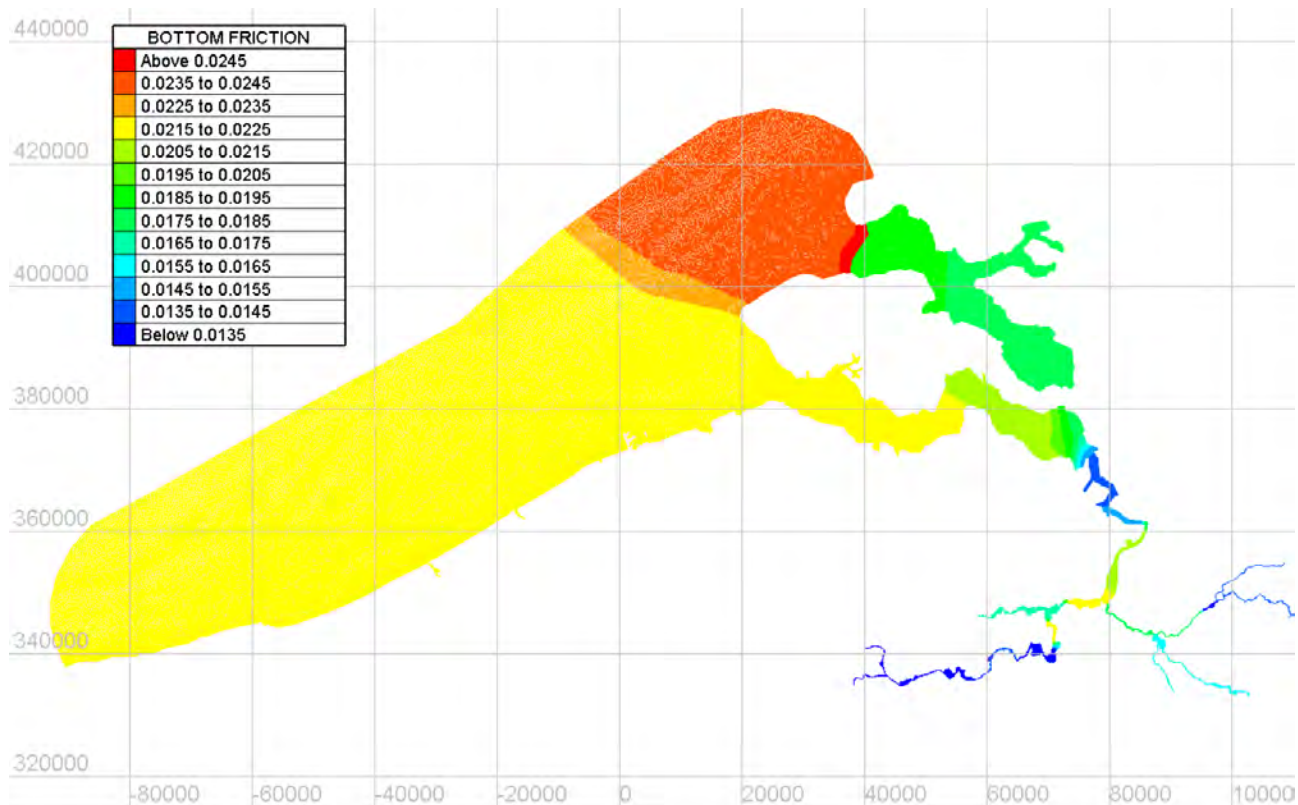
$$\vec{q}_s = \frac{0,05 |u^4| \cdot \vec{u}}{\sqrt{g} \cdot C^3 \cdot \Delta^2 \cdot D_{50}}$$

U	[m/s]	Diepte-gemiddelde stroomsnelheid
$\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$	[-]	Relatieve dichtheid sedimentdeeltjes
g	[m/s ²]	Valversnelling
D_{50}	[m]	Mediane korrelgrootte
C	[m ^{1/2} /s]	Chézy coëfficiënt (i.e., met $C = 1/n R_h^{1/6}$)
n	[s/m ^{1/3}]	Manning coëfficiënt
R_h	[m]	Hydraulische straal (~waterdiepte)

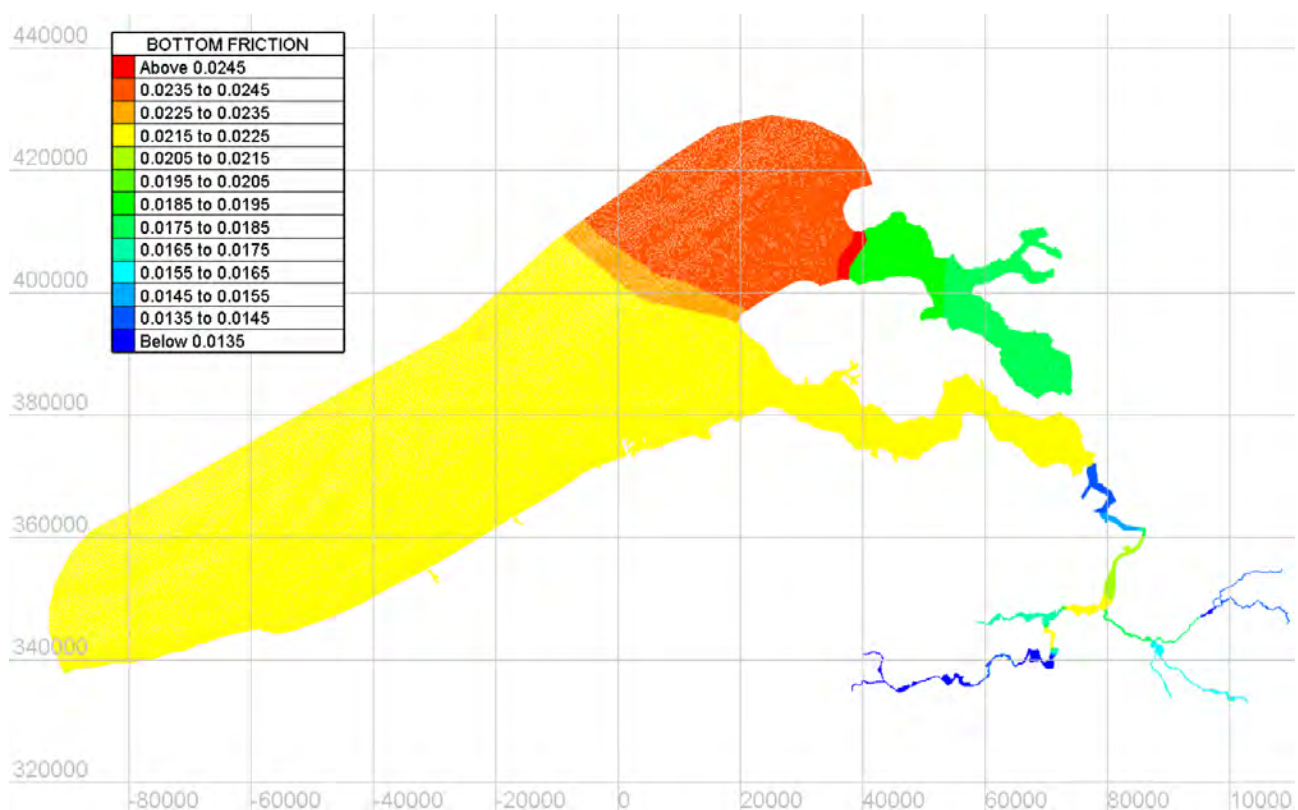
Bodemupdate is uitgezet (hard-coded in *Scaldis_SIS_V7P2R1.f*: de in SISYPHE berekende ZF wordt niet teruggekoppeld naar TELEMAC-2D/3D). Tabel 4 geeft een overzicht van de numerieke instellingen van de sediment module SISYPHE.

Tabel 4 – Instellingen SISYPHE.

Parameter	Waarde
Sediment diameter	200 µm
Morphological Factor	1
Option for the treatment of tidal flats	1: equations solved everywhere with correction on tidal flats
Option for the treatment of non-erodible beds	3: minimization of the solid discharge
Bed roughness value	$n = 0.02 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ (i.e., ruimtelijk constant door aanpassing in Sisyph subroutine <i>coefro_sisyph.f</i>)
Bed load	Yes
Bed load transport formula	3: (Engelund & Hansen, 1967)
Minimum value for bed load	0.01 m
Slope effect	Yes
Skin friction correction	1: (yes)
Ratio between skin friction and mean diameter	$\alpha_{ks} = 3$ (i.e., $k_s' = \alpha_{ks} \cdot d_{50}$)
Formula for slope effect	1: (Koch & Flokstra, 1981)
Beta	1.3
Friction angle of the sediment	n/a (i.e., only for Soulsby, 1997)
Formula for deviation	1: (Koch & Flokstra, 1981)
Parameter for deviation	n/a (only for Talmon et al., 1995)
Secondary currents	No
Secondary currents alpha coefficient	n/a
Suspension	No (Engelund & Hansen, 1967)
Type of advection	1: (method of characteristics)
Non cohesive bed porosity	0.4



Figuur 13 – Manning's ruwheidscoëfficiënten in het Scaldis-2019 model (Stark *et al.*, 2022).



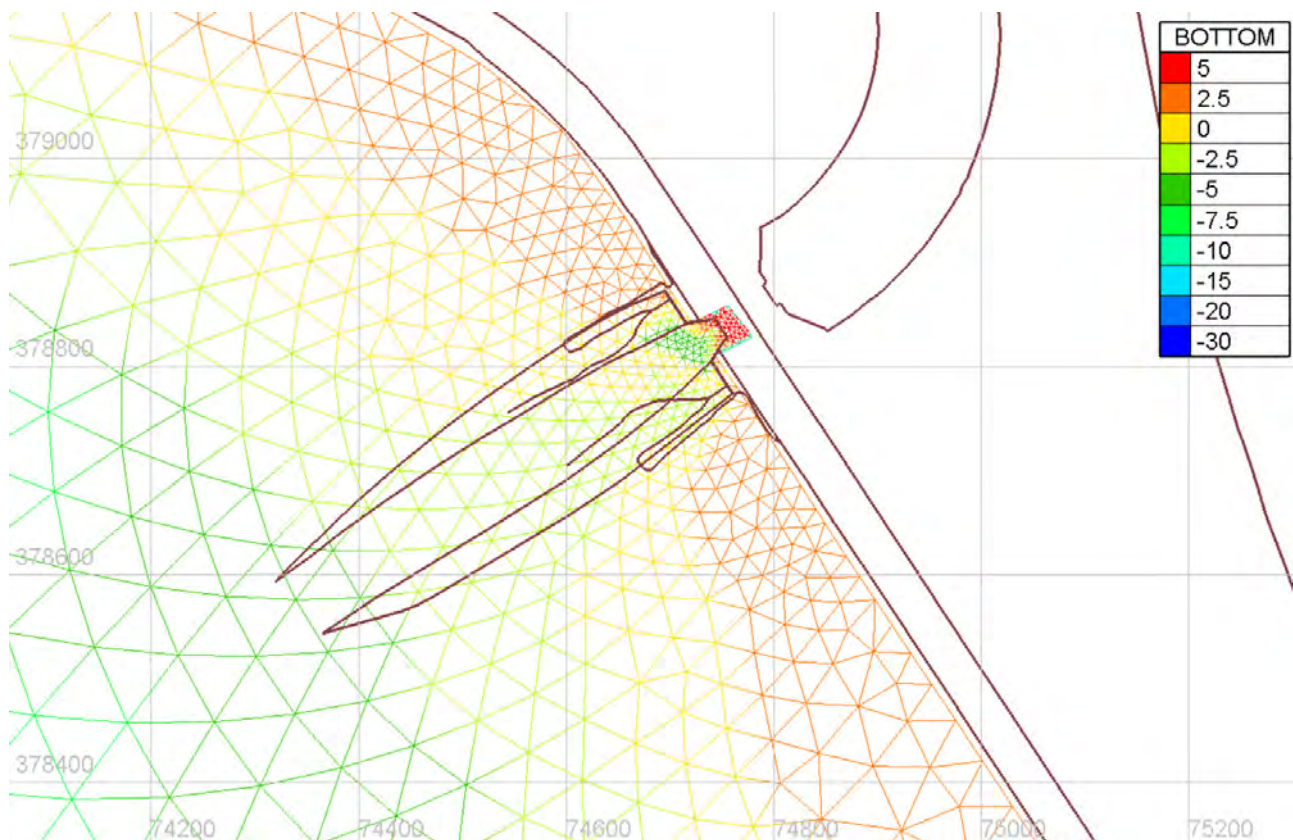
Figuur 14 – Mannings ruwheidscoëfficiënten zoals gebruikt in deze studie.

3.2 Noot bij het gebruik van het referentiemodel voor deze studie

Het referentiemodel gedownload van de WL SVN-repository³, bleek bij het re-runnen op de Bernoulli queue van het WL rekencluster onstabiel. Ter hoogte van de Bathse spuisluis traden extreme waterstandsvariaties en stroomsnelheden op, die niet konden verklaard worden aan de hand van de opgelegde debietstijdsreeks. Daarom werd voor alle simulaties gebruikt binnen deze studie het debiet ter hoogte van de Bathse spuisluis op nul ingesteld.

Vermoedelijk wordt het probleem veroorzaakt door onvoldoende diepte in de spuikom (Figuur 15). Er wordt aangeraden in volgende versies van het model hier voldoende diepte te verzekeren (bv. -5 m TAW).

In het ruwheidsveld van het SCALDIS-2019 model (Figuur 13) is er ter hoogte van de Overloop van Hansweert een overgang van waarde $0,022 \text{ s.m}^{-1/3}$ (afwaarts) naar $0,021 \text{ s.m}^{-1/3}$ (opwaarts). Om mogelijke invloeden van het ruwheidsveld op de hydrodynamica in het interessegebied uit te sluiten, werd een uniforme ruwheidswaarde van $0,022 \text{ s.m}^{-1/3}$ ingesteld voor de volledige Westerschelde (Figuur 14). Hiermee wordt tegemoetgekomen aan de aanbevelingen uit de vergelijkende studie tussen sedimenttransportmodellen van Deltares en het Waterbouwkundig Laboratorium door Meijers *et al.* (2024) om met een zo uniform mogelijke ruwheid te werken.



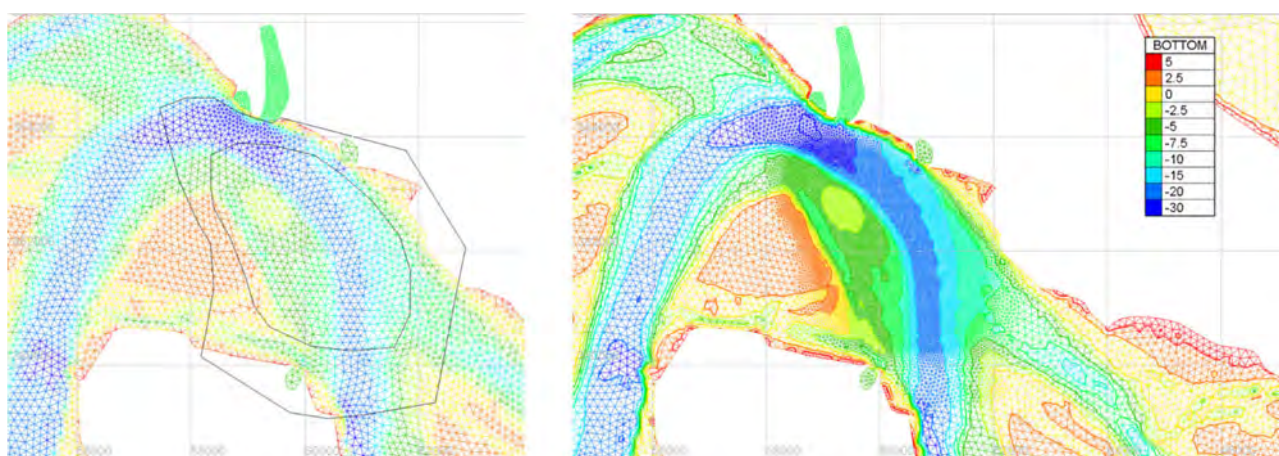
Figuur 15 – Bathymetrie ter hoogte van de Bathse spuisluis.

³ https://wl-subversion.vlaanderen.be/svn/repoSpNumMod/TELEMAC/Scaldis/21_106_Update/Evaluatie/methodiek/Sedimenttransportcapaciteit/scaldis_run2019

4 Verfijnd model

4.1 Beschrijving

De analyse in §2.2 toont aan dat een rooster verfijning noodzakelijk is om de mogelijke invloeden van de morfologische veranderingen op de hydrodynamica en het sedimenttransport in het model te kunnen vatten. Figuur 16 toont hoe in twee stappen wordt overgegaan van een ruimtelijke resolutie van 130 à 150 m naar een verfijnde resolutie van ca. 30 m met behulp van de Blue Kenue software. Dezelfde software werd gebruikt om de bathymetrie van het oorspronkelijke Scaldis-2019 model lineair te interpoleren op het nieuwe rekenrooster. De werkwijze wordt beschreven in Bijlage 2 Methodiek verfijning rekenrooster.



Figuur 16 – Ruimtelijke resolutie van het oorspronkelijke Scaldis-2019 rekenrooster (links) en het verfijnde rekenrooster (rechts).

4.2 Validatie

Met behulp van de VIMM toolbox wordt nagegaan in hoeverre de hydrodynamische resultaten van het verfijnde model afwijken van het referentiemodel. Naast de vijf HMCZ waterstand meetstations Terneuzen, Overloop Hansweert, Hansweert, Walsoorden en Bath, werden 3 uitvoerpunten in de vaargeul rondom de Drempel van Hansweert gedefinieerd, en 5 uitvoerpunten op de Platen van Ossensisse (Figuur 17).

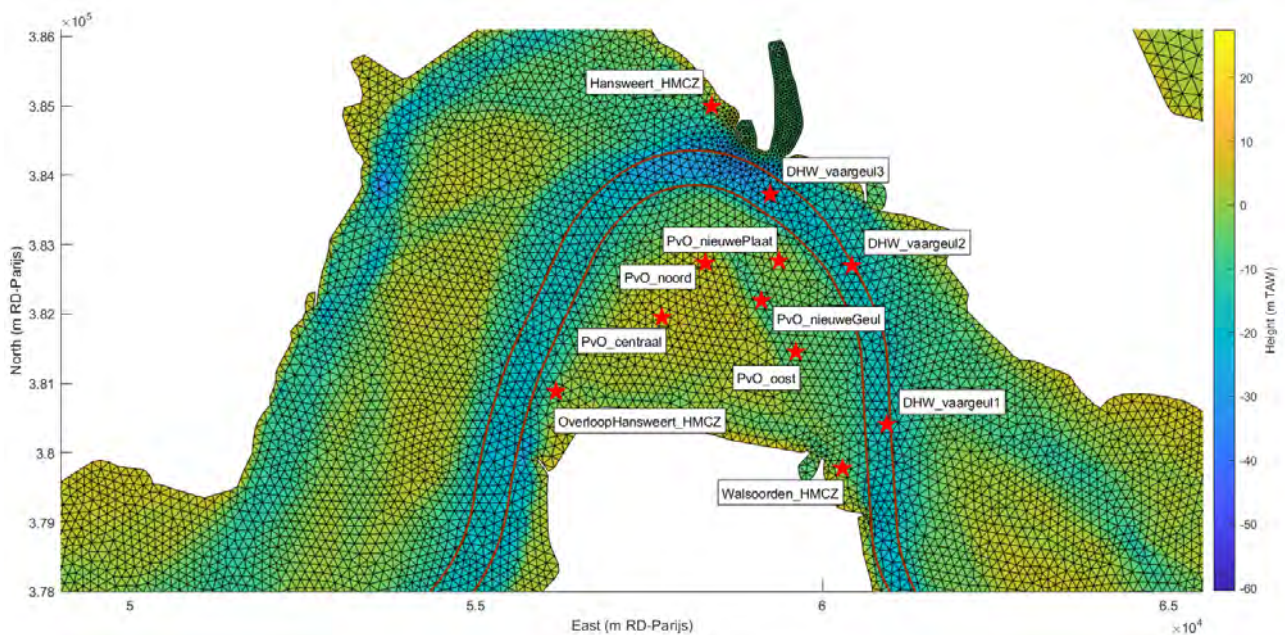
De beschouwde validatieperiode is de springtij -doodtij cyclus van 30/03/2019 12:30 tot 14/04/2019 06:30.

Vier simulaties worden vergeleken (Tabel 5):

Tabel 5 – Overzicht validatie runs.

Naam	Rekenrooster	Bodemruwheid	Debiet Bathse spuisluis
Stark <i>et al.</i> (2022) ⁽⁴⁾	geo_v23_2019_sedi.slf	cfr. Figuur 13	$Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁽⁴⁾
Meijers <i>et al.</i> (2024)	geo_v23_2019_n0022.slf	cfr. Figuur 14	$Q(t)$
Referentie	geo_v23_2019_n0022.slf	cfr. Figuur 14	$Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$
Verfijnd	geo_v24_2019_n0022.slf	cfr. Figuur 14	$Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$

⁴ Deze simulatie verschilt lichtjes van de run gerapporteerd in Stark *et al.* (2022): het debiet door de Bathse spuisluis werd voor stabiliteitsdoeleinden op nul gezet (zie §3.2).

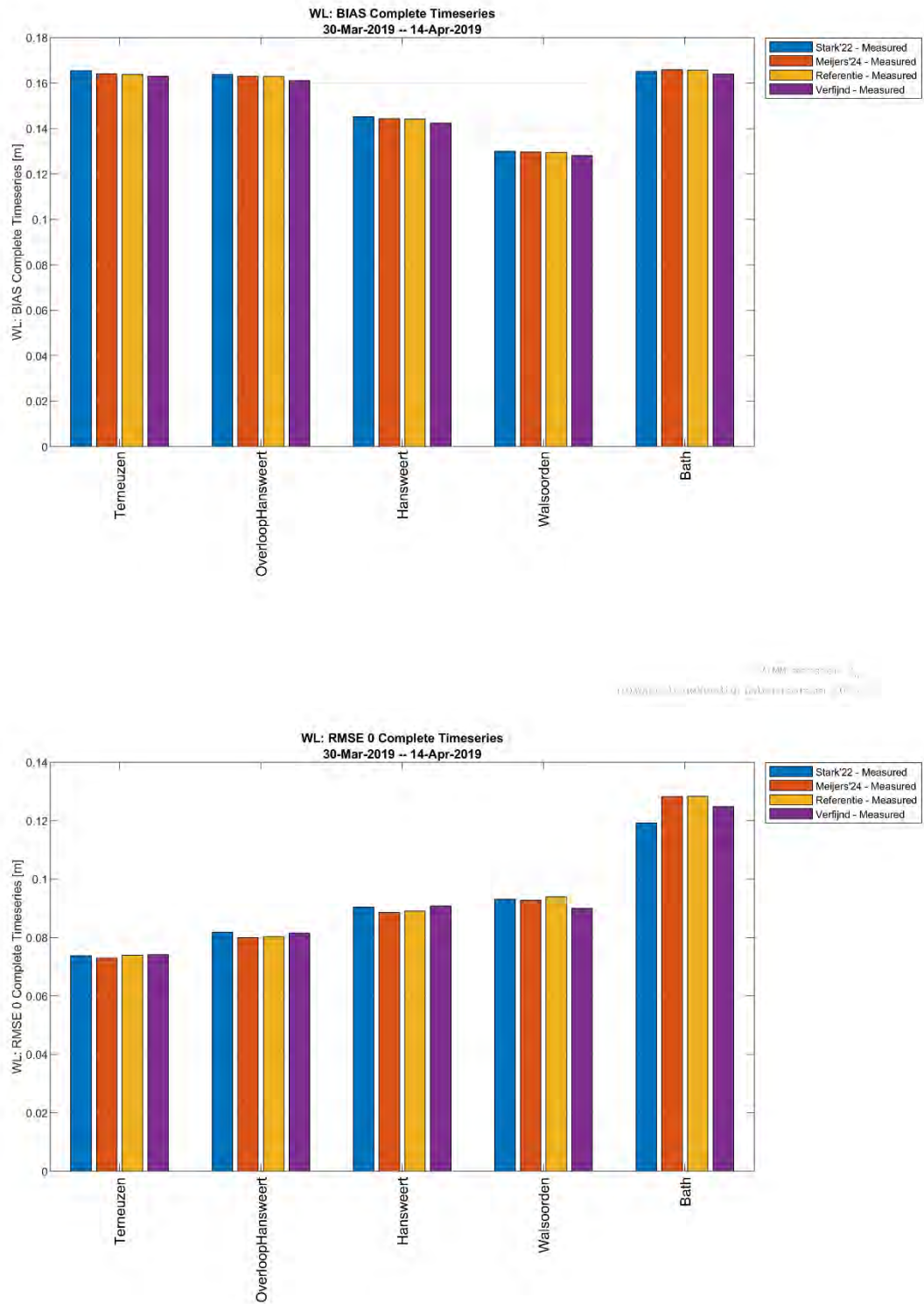


Figuur 17 – Uitvoerpunten van de numerieke modellen in het interessegebied.

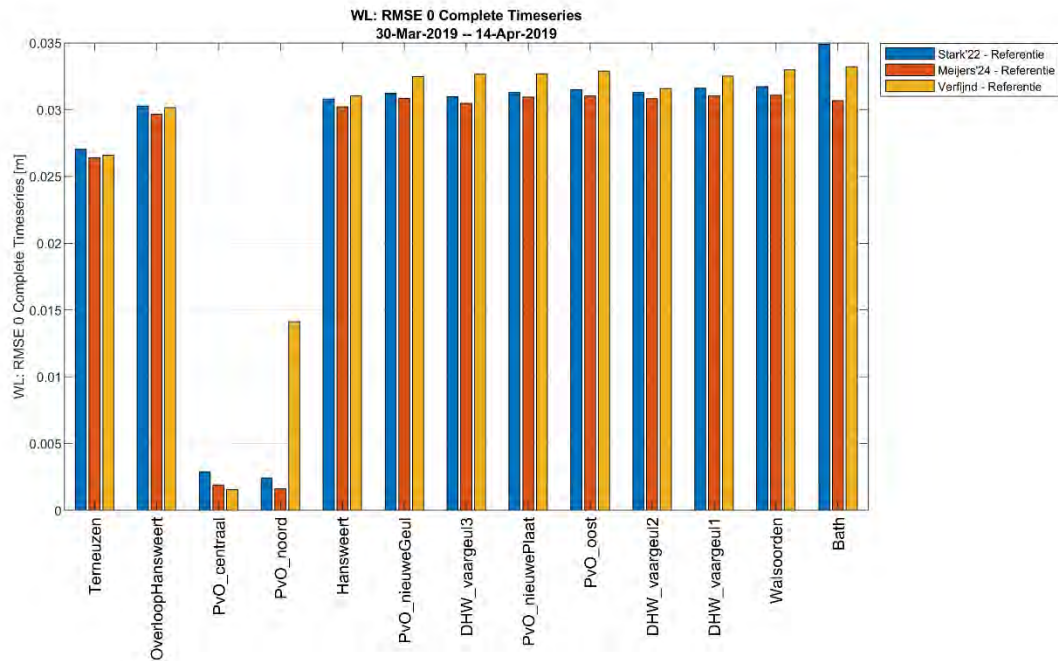
4.2.1 Waterstanden

Figuur 18 toont de bias en RMSE0 tussen model resultaten en waterstandsmetingen voor de volledige validatie periode. De gemiddelde afwijking tussen modelresultaat en meting (bias) is steeds kleiner dan 17 cm; de spreiding rond de afwijking (RMSE0) varieert van 7 tot 13 cm. De individuele hoog- en laagwaters vertonen eenzelfde afwijking in hoogte. De fout op de timing van de hoog- en laagwaters is kleiner dan het tijdsinterval van zowel de metingen als de modeloutput (10 minuten), en dus niet significant.

Over de volledige validatie periode is zowel de onderlinge afwijking, als de spreiding rond de afwijking van de gemodelleerde waterstanden onderling, steeds kleiner dan 3,5 cm (Figuur 19). De verticale afwijkingen tussen de individuele hoog- en laagwaters is nog kleiner. Ter hoogte van de meetpunten Platen van Ossenissee centraal en noord (PvO_centraal en PvO_noord) wijken de statistieken voor de modellen onderling af ten opzichte van de andere uitvoerpunten. Dit is te wijten aan de hoogteligging van deze punten ($> +4,5$ m TAW), waardoor deze enkel bij hoogwater springtij overstromen. Kleine afwijkingen in zowel de geïnterpoleerde diepte in het model als de berekende waterstand kunnen ervoor zorgen dat bepaalde hoogwaters niet of net wel gedetecteerd worden door de VIMM toolbox. Deze droogvallende punten zullen niet meegenomen worden in de analyse van de stroomsnelheden.



Figuur 18 – Statistiek modelresultaten versus waterstandsmetingen: bias (boven) en RMSE0 (onder).



Figuur 19 – Statistiek waterstanden: RMSE0 tussen de modellen onderling.

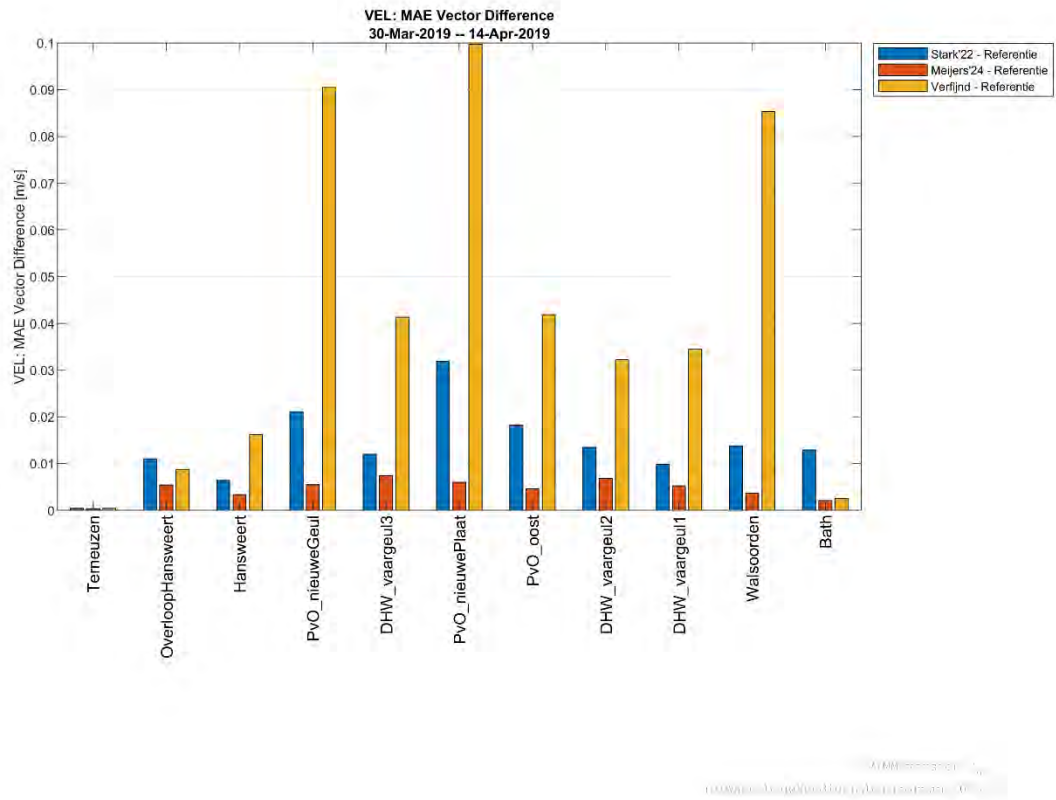
4.2.2 Stroomsnelheden

Door het ontbreken van systematische metingen van de stroomsnelheid, wordt de vergelijking gedaan tussen het referentiemodel en de andere simulaties. Het betreft hier dus een model-model vergelijking, waardoor er geen uitspraak gedaan kan worden welke simulatie te realiteit het best weergeeft.

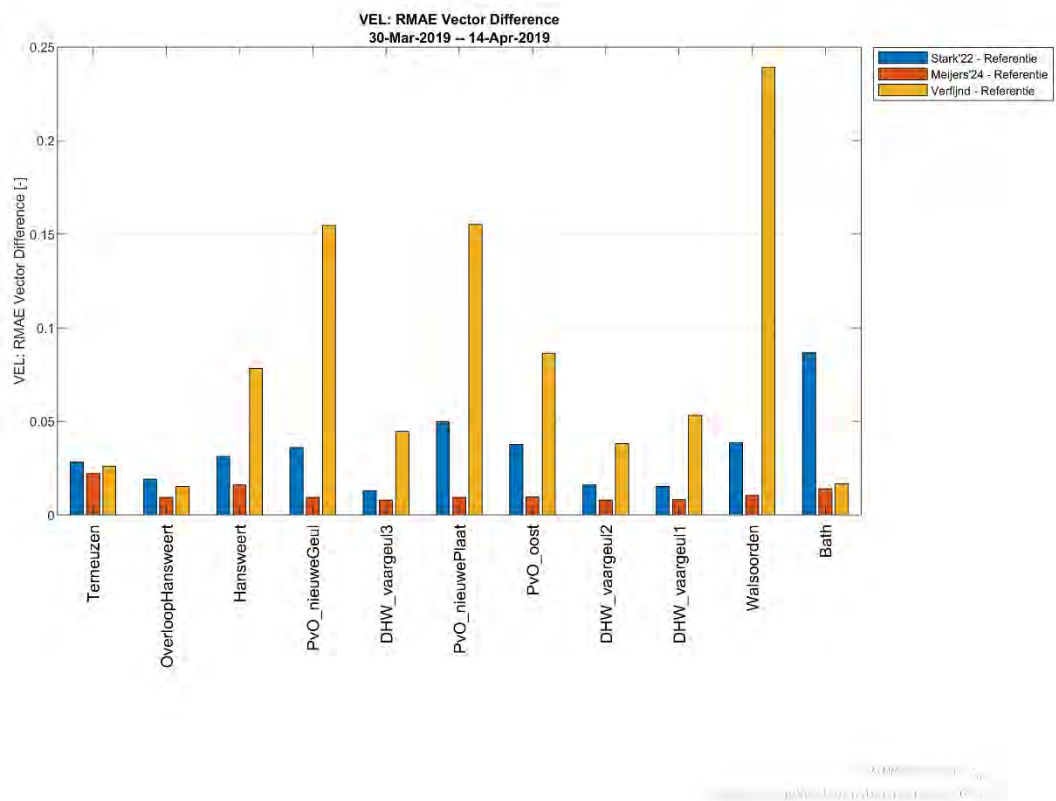
Figuur 20 toont dat aanpassingen aan het ruwheidsveld of de debietstijdreeks voor de Bathse spuisluis slechts een geringe invloed hebben op de statistiek van de stroomvectoren. De verfijning van het rekenrooster heeft lokaal (tussen locaties Hansweert en Walsoorden) wel een duidelijke invloed. Bij gebrek aan vergelijking met metingen kan niet besloten worden of het verfijnd model de stroomsnelheden en -patronen beter of slechter simuleert. Mogelijks zorgt het verfijnde rekenrooster voor een betere representatie van de bathymetrie (positie plaatrand, geultje, nieuw plaatje, talud vaargeul) en dus van de stroompatronen. Het kan echter niet uitgesloten worden dat de stroomveranderingen zuiver numeriek zijn.

Ter hoogte van het zich ontwikkelende plaatje ten noordoosten van de Platen van Ossensisse, en in de geul die het nieuwe plaatje scheidt van de Platen van Ossensisse liggen de stroomsnelheden in het verfijnde model tot 0,1 m/s hoger dan in het Scaldis-2019 referentie model met uniforme ruwheid in de Westerschelde. Relatief is dit een afwijking van 15% (Figuur 21).

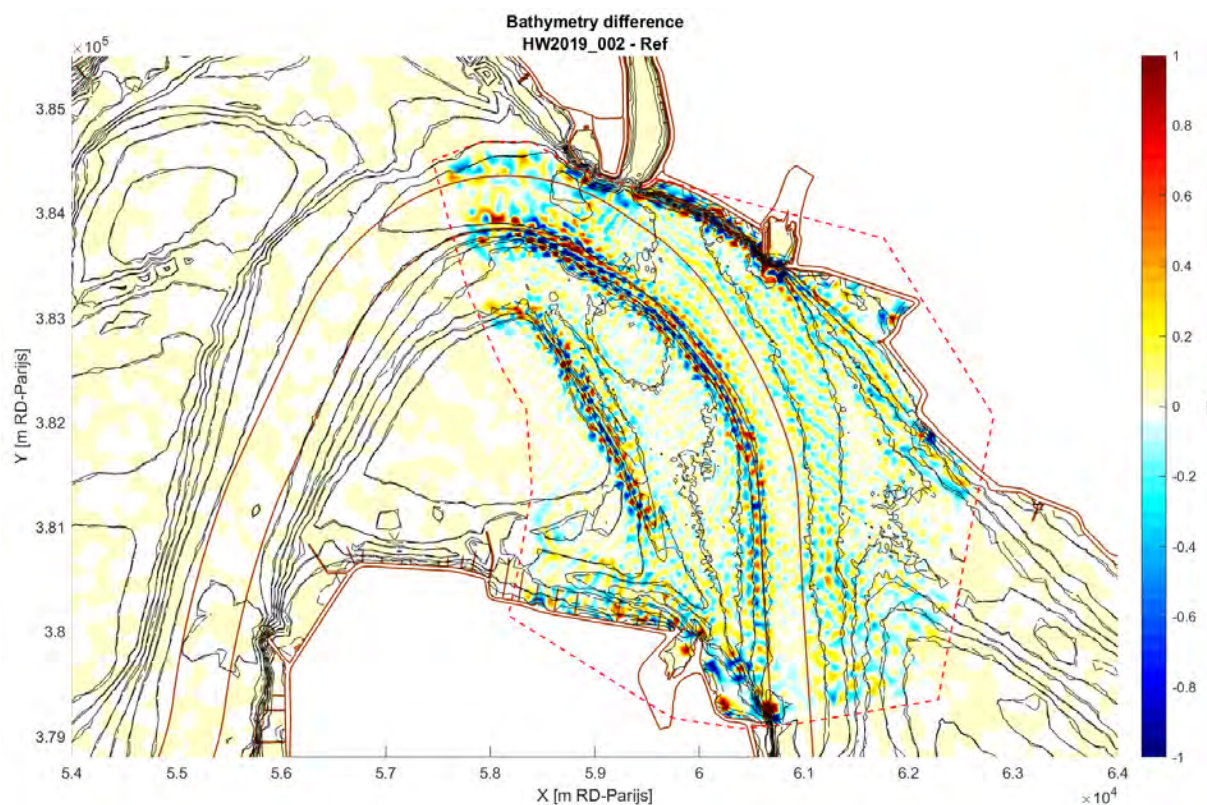
Figuur 22 toont het verschil in bathymetrie tussen het verfijnde model en het SCALDIS-2019 referentiemodel. Het gespikkelde patroon wijst erop dat er geen systematische afwijking is in de interpolatie van de topobathymetrische brondata. Waar de bodemgradiënten groter zijn (geulwand en oostelijke rand Platen van Ossensisse) zijn de afwijkingen groter. Dit wordt bevestigd door het transect getoond in Figuur 23. Op dit transect ligt de bodem van het verfijnde model gemiddeld 2 cm hoger dan in het referentie model; de RMSE bedraagt 29 cm. Lokaal, op de steile taluds van de geulwand en plaatrand tot maximaal 1 à 1,5 m.



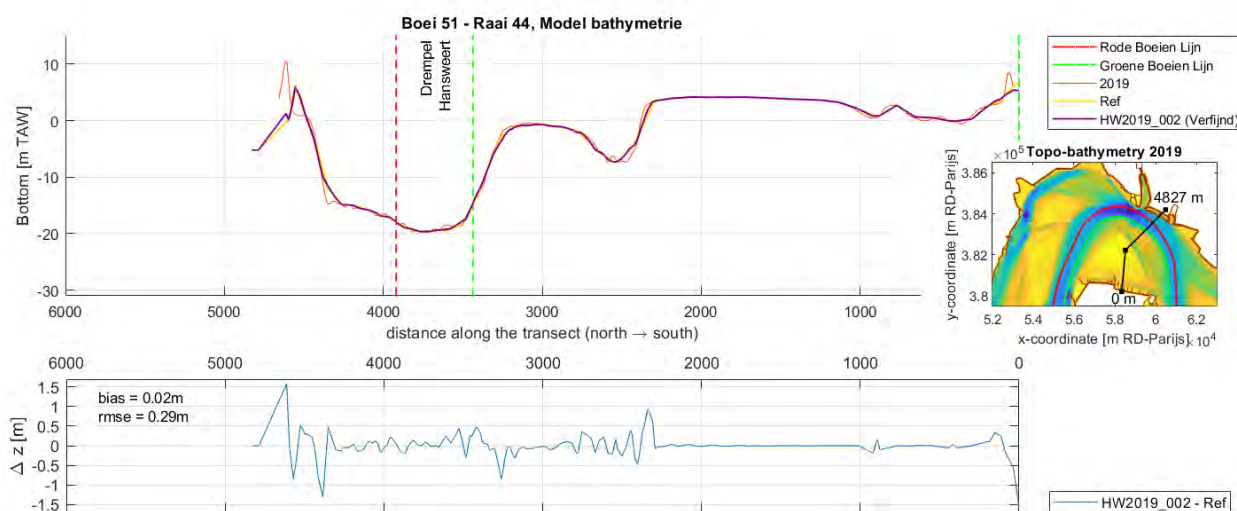
Figuur 20 – Statistiek stroomsnelheden: MAE Vector Difference tussen de modellen onderling.



Figuur 21 – Statistiek stroomsnelheden: RMAE Vector Difference tussen de modellen onderling.



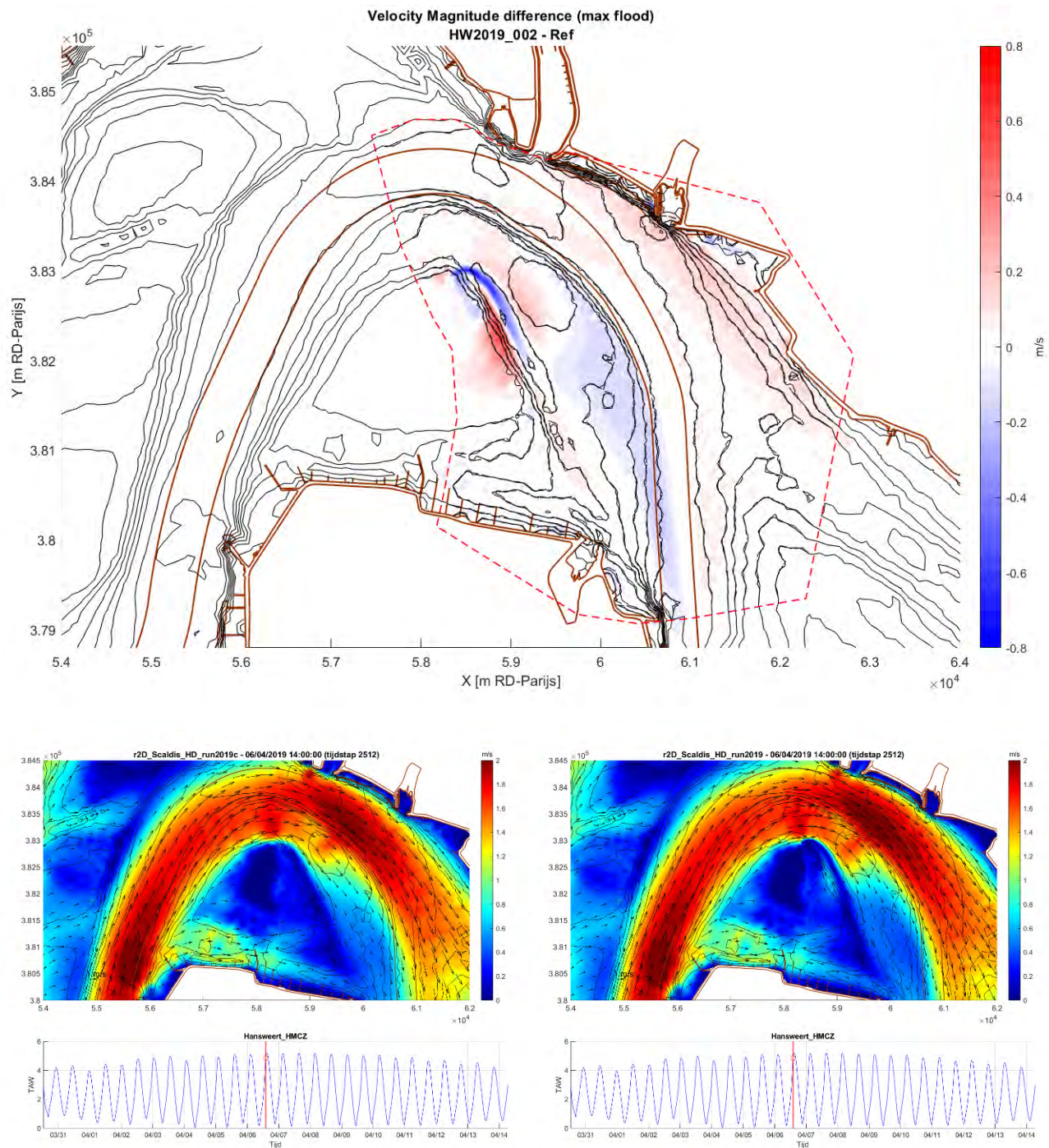
Figuur 22 – Verschil in bathmetrie tussen het verfijnd model en het referentie model Scaldis-2019. De rode onderbroken lijn toont het gebied waar het modelrooster verfijnd is.



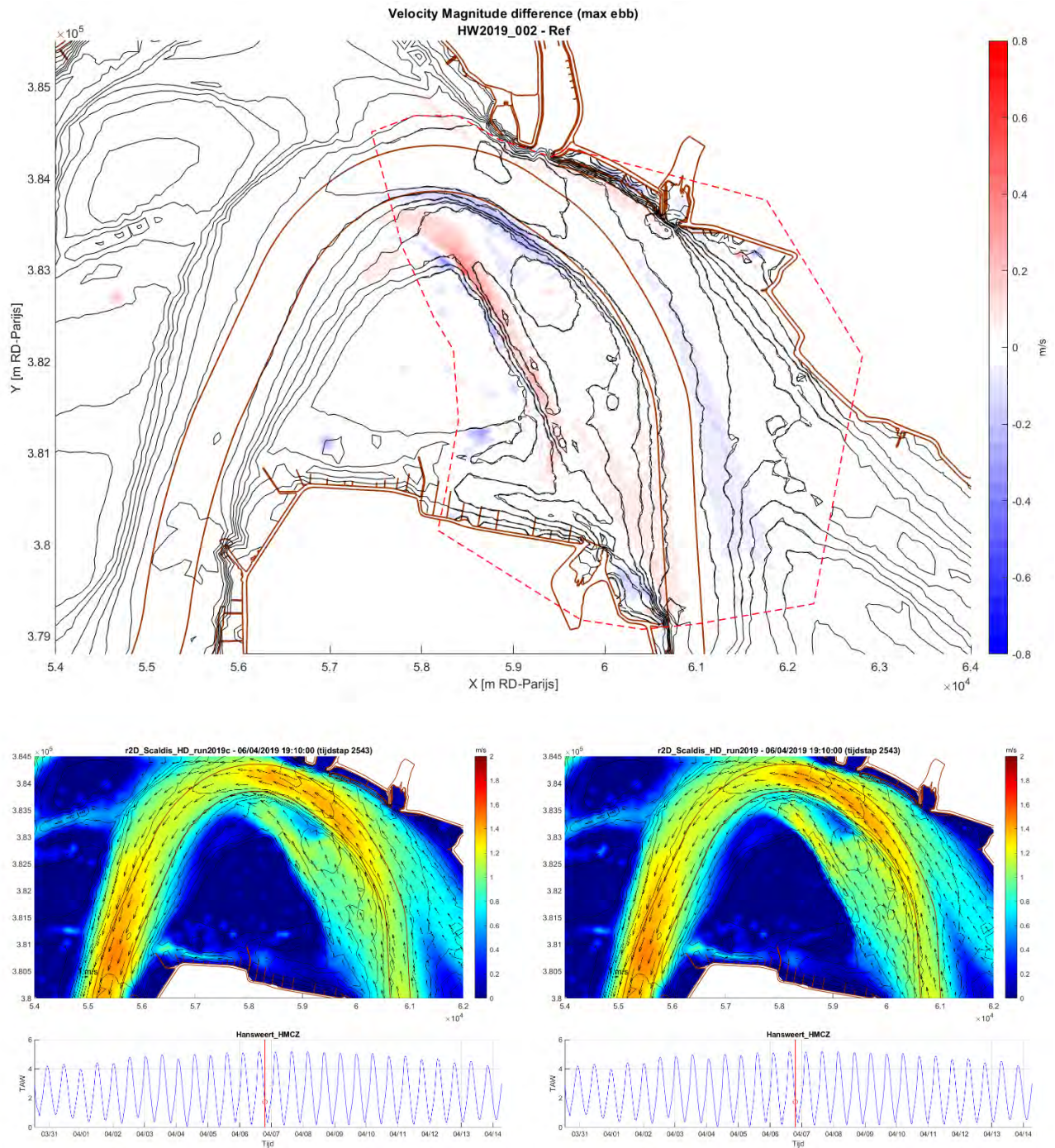
Figuur 23 – Verschil in bathmetrie tussen het verfijnd model en het referentie model Scaldis-2019 t.h.v. Boei 51.
Boven: model bathymetrie op Raai 44; onder: verschil in modelbathymetrie.

Figuur 24 toont het verschil in stromingsmagnitude tussen beide modellen op het moment van maximale vloedstroming. Een kleine ruimtelijke verschuiving van de vloedstroom, waarschijnlijk ten gevolge van betere representatie van de bathymetrie aan de noordelijke tip van de Platen van Ossensisse, zorgt voor een afname van de stroming op de oostelijke wand van de nieuwe geul. Hierdoor neemt de eb-gerichte stroming op de westelijke wand van het geultje (oostelijke rand Platen van Ossensisse) toe. Ook de verhoging van de stroomsnelheid over de nieuwe ondiepte (plaatje), en de verlaging van de stroomsnelheid bij vloed in de schaduw ervan, kunnen het gevolg zijn van een betere representatie van de bathymetrie. Eenzelfde verhoging van de stroomsnelheid over de ondiepte, en verlaging in de schaduw ervan, wordt waargenomen bij maximale eb stroming (Figuur 25). In het verfijnde model is de eb stroming in de nieuwe geul sterker en ruimtelijk beperkt tot de geul zelf, en minder sterk op de oostelijke plaatrand.

Ter hoogte van de Drempel van Hansweert neemt in het verfijnde model de vloedstroming in de vaargeul toe (Figuur 24). Voorbij de Bocht van Hansweert verschuift de vloedstroming meer naar het oosten (afname stroming op de westelijke geulwand en toename stroming op de oostelijke geulwand). Beiden kunnen het gevolg zijn van een verschillende aanstroming vanuit de Diepe put van Hansweert, en/of een betere representatie van de bochtstroming in het verfijnde model. Het valt echter niet uit te sluiten dat dit een zuiver numeriek effect is. Eenzelfde fenomeen kan spelen bij maximale ebstroming voor de aanstroming vanuit het Zuidergat, waarbij de stroming toeneemt op de westelijke geulwand en afneemt op de oostelijke geulwand (Figuur 25).



Figuur 24 – Verschil in stroomsnelheid tussen het verfijnd model en het referentie model bij maximale vloedstroming springtij. Boven: Verschil in stromingsmagnitude; de rode onderbroken lijn toont het gebied waar het modelrooster verfijnd is. Linksonder: stroombeeld in het referentie model; rechtsonder: stroombeeld in het verfijnd model.



Figuur 25 – Verschil in stroomsnelheid tussen het verfijnd model en het referentie model bij maximale ebstroming springtij. Boven: Verschil in stromingsmagnitude; de rode onderbroken lijn toont het gebied waar het modelrooster verfijnd is. Linksonder: stroombeeld in het referentie model; rechtsonder: stroombeeld in het verfijnd model.

5 Scenario-analyse

5.1 Visualisatie modelresultaten

Voor elk van de jaren (1999, 2004, 2009, 2014, 2019 en 2024), werden de in Hoofdstuk 2 aangemaakte GIS-rasters (zie Tabel 1) geïnterpoleerd op het verfijnde rekenrooster (§4.1). Na doorrekenen van het model werden stroom- en sedimenttransportkaarten per 10 minuten aangemaakt, alsook kaarten van de bruto en netto sedimenttransportcapaciteit, en het sedimenttransport geïntegreerd over de vloed- en eb fase, telkens voor gemiddeld springtij, gemiddeld tij en gemiddeld doottij.

In de paragrafen hieronder worden enkel de stroombeelden voor maximale vloed- en ebstroming getoond, alsook de geïntegreerde sedimenttransport kaarten. Voor de volledige reeksen van 10 minuten stroombeelden en sedimenttransport kaarten wordt verwezen naar de respectievelijke mappen per kaarttype⁵ en simulatie op project-schijf: [p:\25_086-VerlVaargHansw\3_Uitvoering\Modellering\PostPro\](p:\25_086-VerlVaargHansw\3_Uitvoering\Modellering\PostPro\).

De geïntegreerde sedimenttransportkaarten zijn ook beschikbaar gemaakt als ASCII-rasters voor GIS software in de folder [p:\25_086-VerlVaargHansw\3_Uitvoering\Modellering\PostPro\ASCII raster SED](p:\25_086-VerlVaargHansw\3_Uitvoering\Modellering\PostPro\ASCII raster SED)⁶.

De bathymetrie van het jaar

- 1999 werd gesimuleerd met run HW1999_001;
- 2004 met run HW2004_001;
- 2009 met run HW2009_001;
- 2014 met run HW2014_001;
- 2019 met run HW2019_003;
- 2024 met run HW2024_001.

De modellen werden gerund zonder bodem update; er werden dus binnen een simulatie geen morfologische veranderingen doorgerekend. Ook is er onbeperkt sediment beschikbaar in de modelbodem (i.e., er zijn geen harde lagen). Vanwege deze twee model instellingen geven de modelresultaten een beeld van de (theoretische) sedimenttransport-capaciteit, en niet noodzakelijk van de werkelijk opgetreden sediment-transporten.

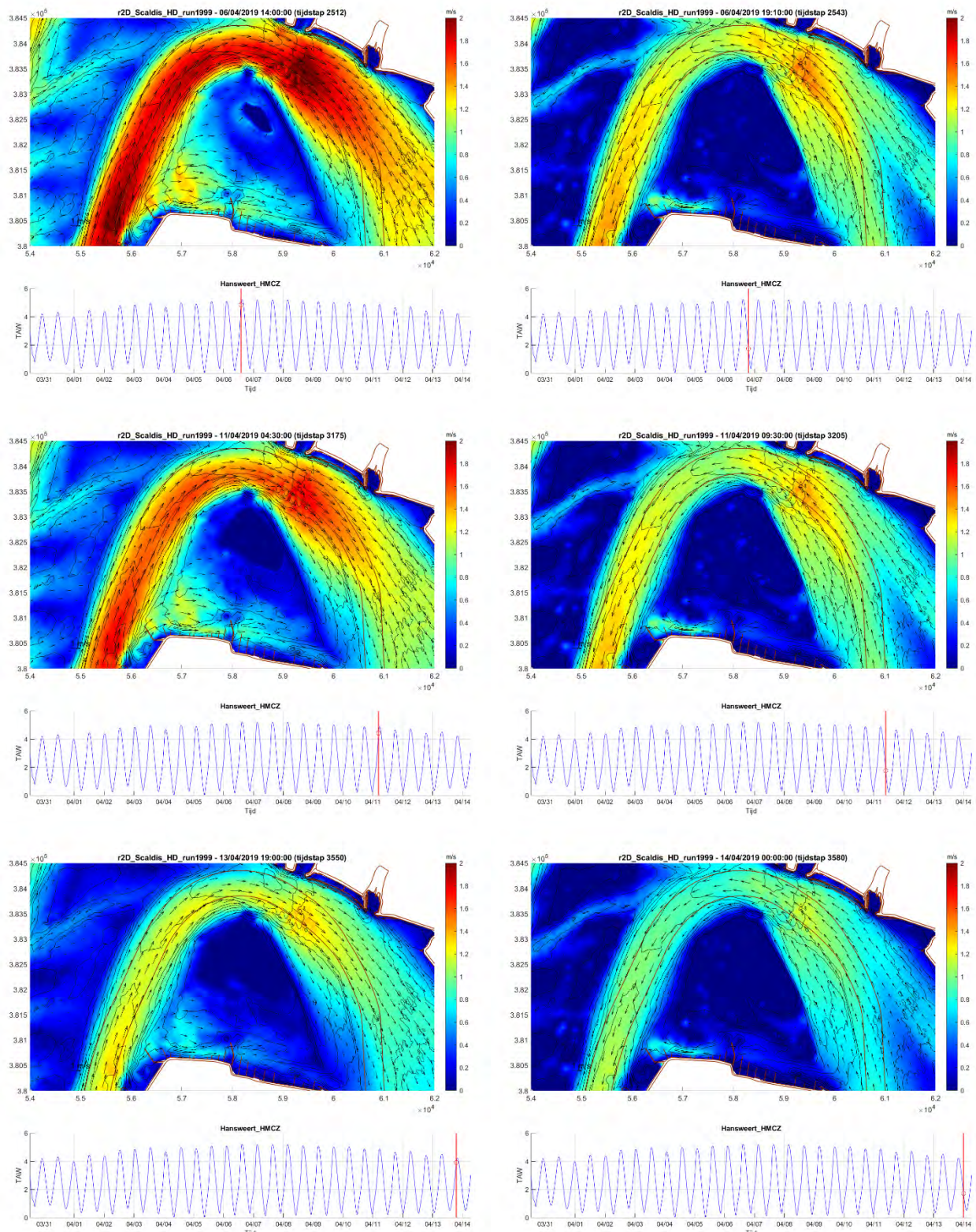
De bruto transportcapaciteit representeert het totale sedimenttransport over de gehele getijcyclus en is de som van het bij vloed opwaarts gerichte en bij eb afwaarts gerichte transport. De netto transportcapaciteit geeft het verschil tussen het sedimenttransport tijdens de vloedfase en tijdens de eb fase. Hiermee wordt dus een richting van het residuele sedimenttransport voorgesteld.

Voor de interpretatie van de modelresultaten is het belangrijk zich te realiseren dat niet de absolute waarde van het sedimenttransport aangeeft waar er erosie of depositie kan optreden. Hiervoor moet de gradiënt in sedimenttransport beschouwd worden. Immers, waar de sedimenttransportcapaciteit toeneemt, zal er erosie optreden, en waar de sedimenttransportcapaciteit afneemt, zal er sediment afgezet worden.

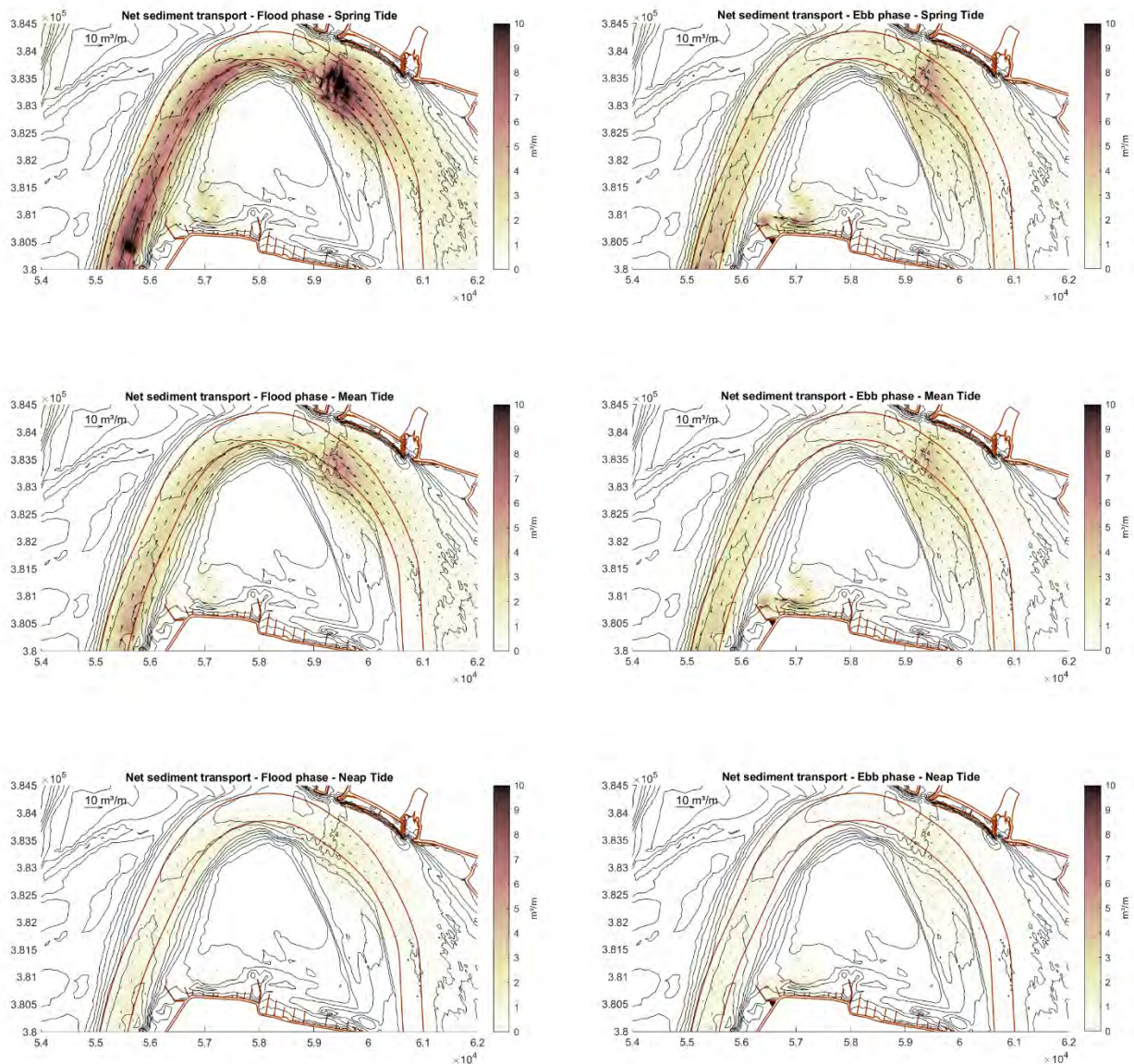
⁵ Stroombeelden in “_Vectormaps” en sedimenttransportcapaciteitskaarten in “_Sedmaps”.

⁶ Op basis van de ASCII-rasters met x- en y-componenten van het netto (residueel) sedimenttransport kan in QGIS, met behulp van de SAGA tool “Gradient vectors from directional components”, een shape-file aangemaakt worden om de residuele stroomvectoren weer te geven.

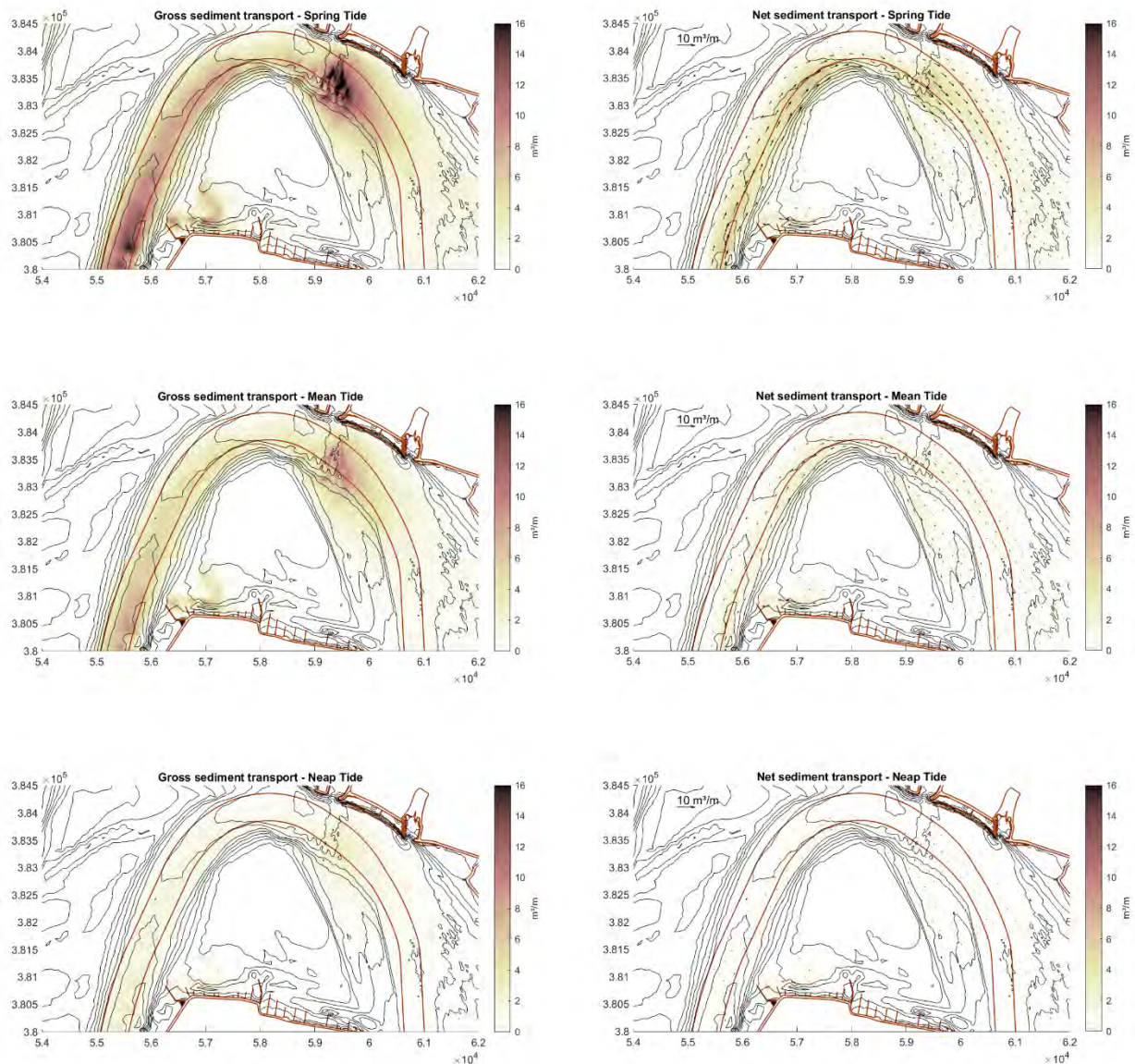
5.1.1 1999



Figuur 26 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 1999.

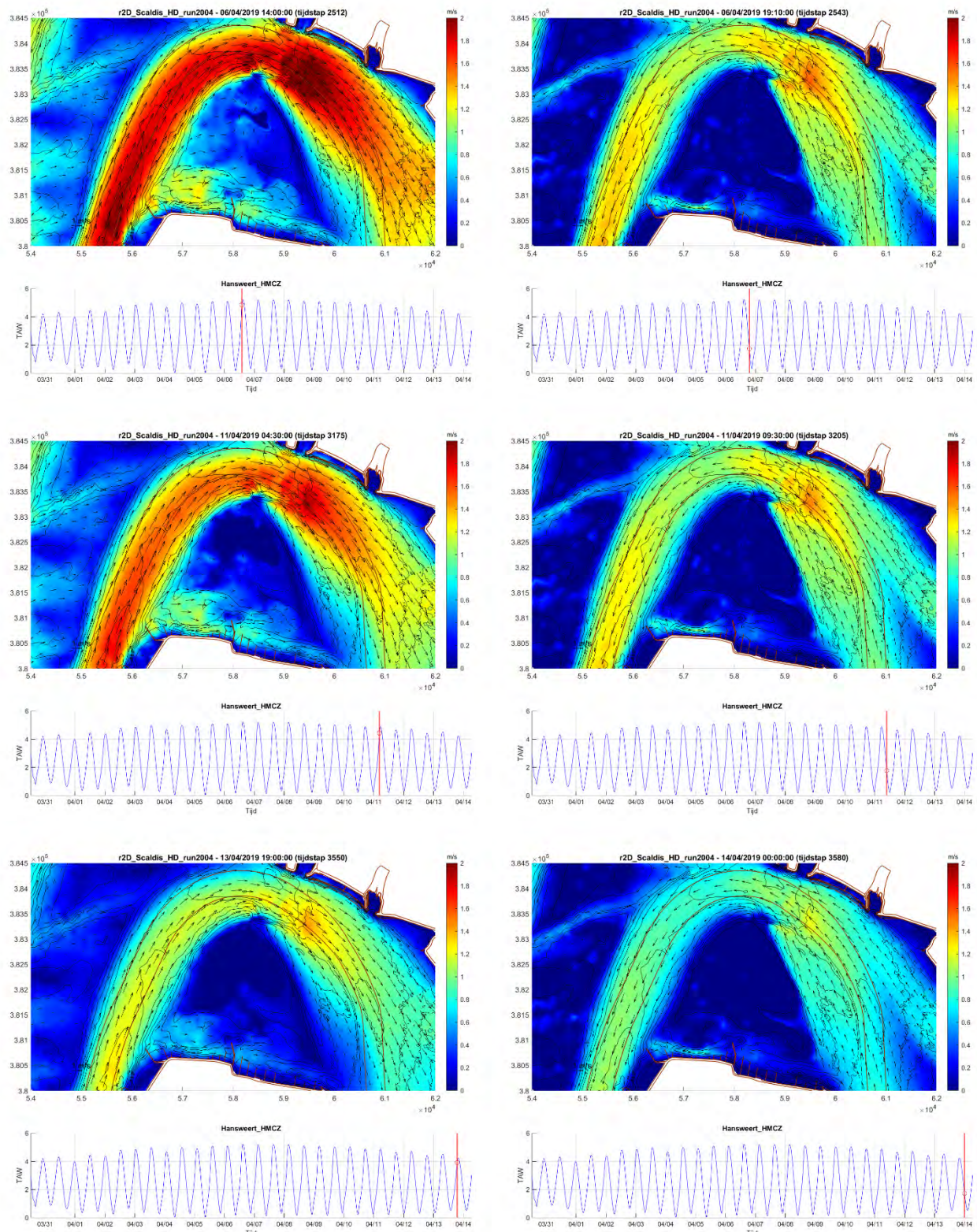


Figuur 27 –Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 1999.

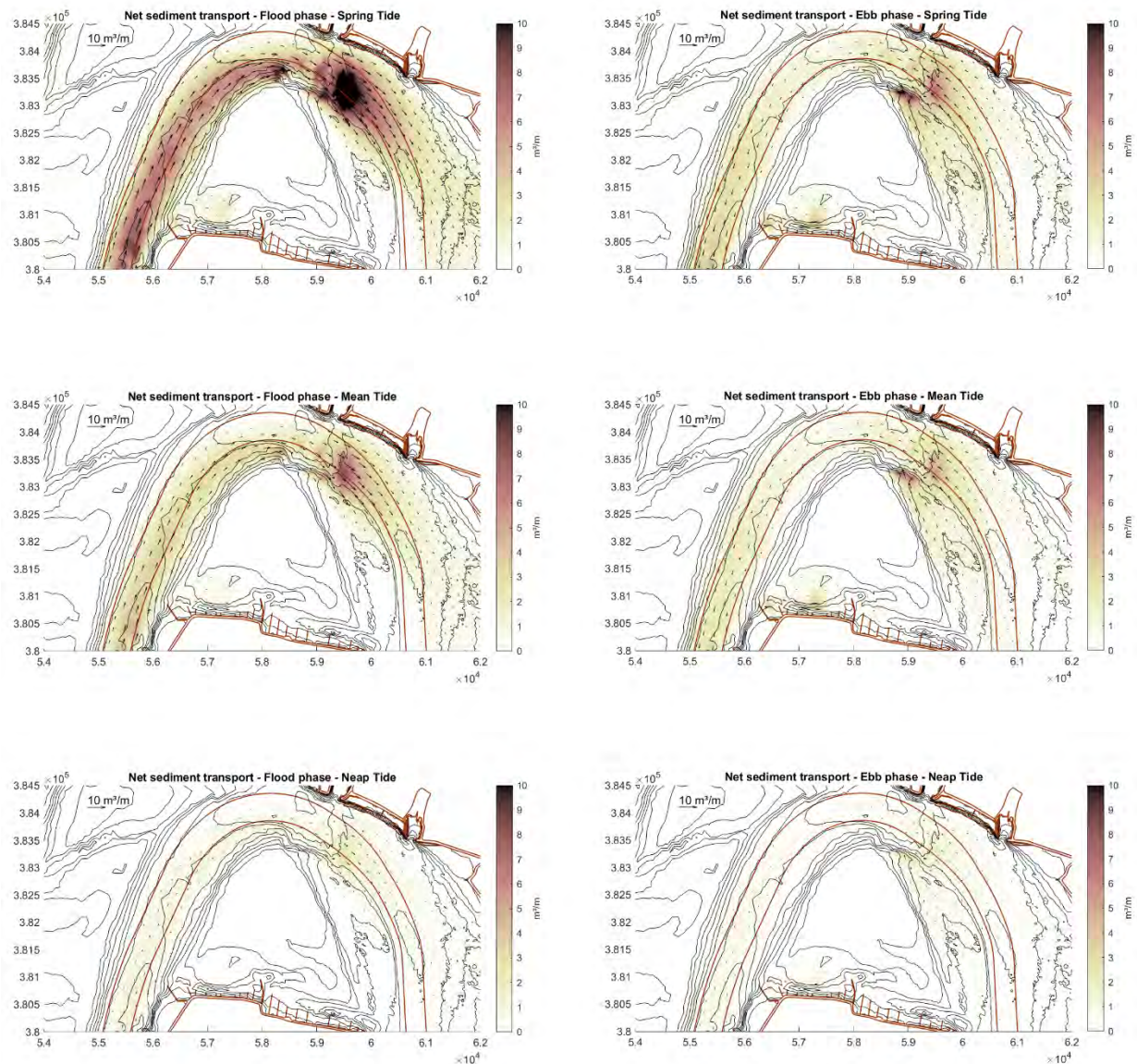


Figuur 28 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 1999.

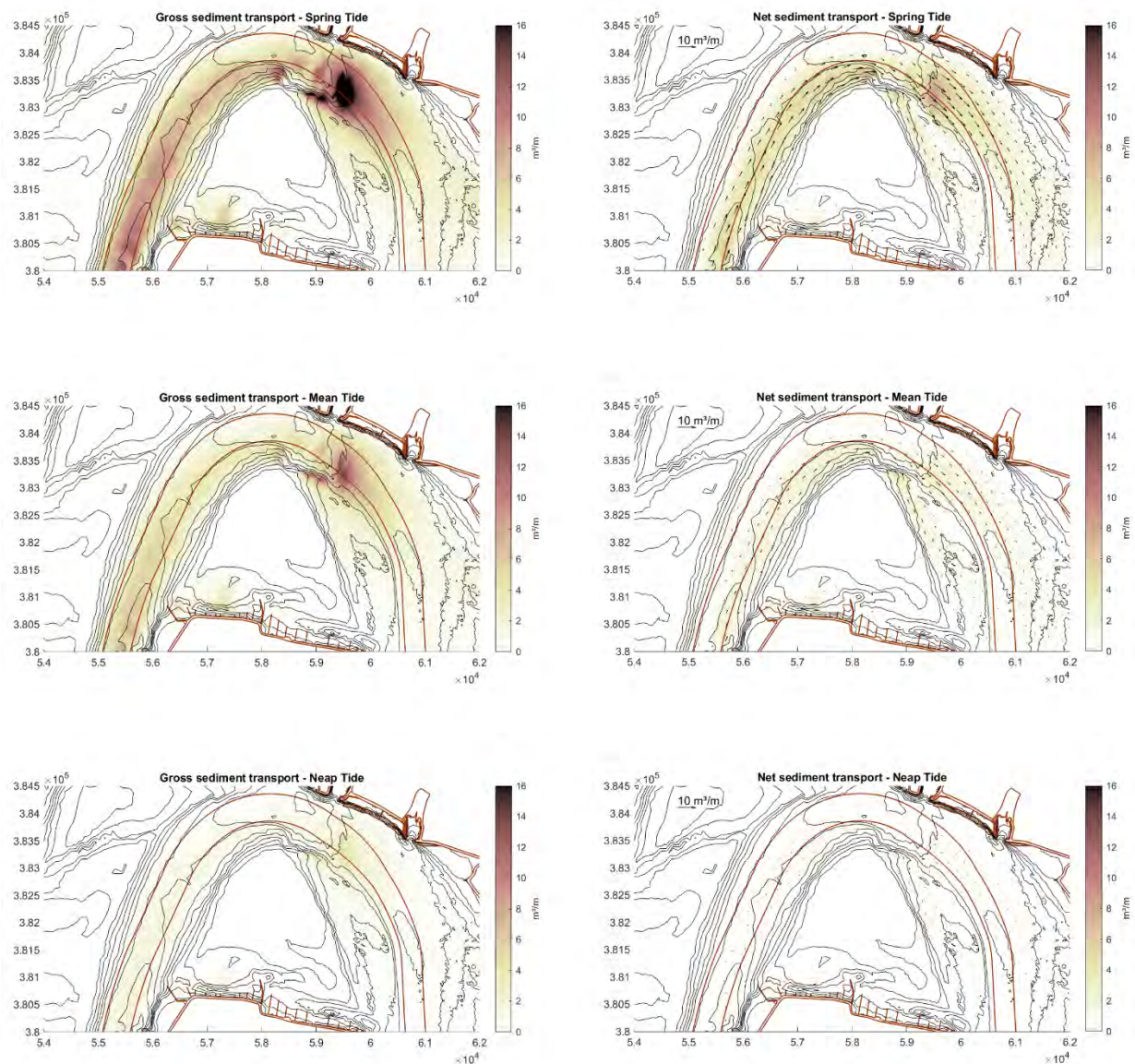
5.1.2 2004



Figuur 29 – Maximale vloed- (links) en ebstrooming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2004.

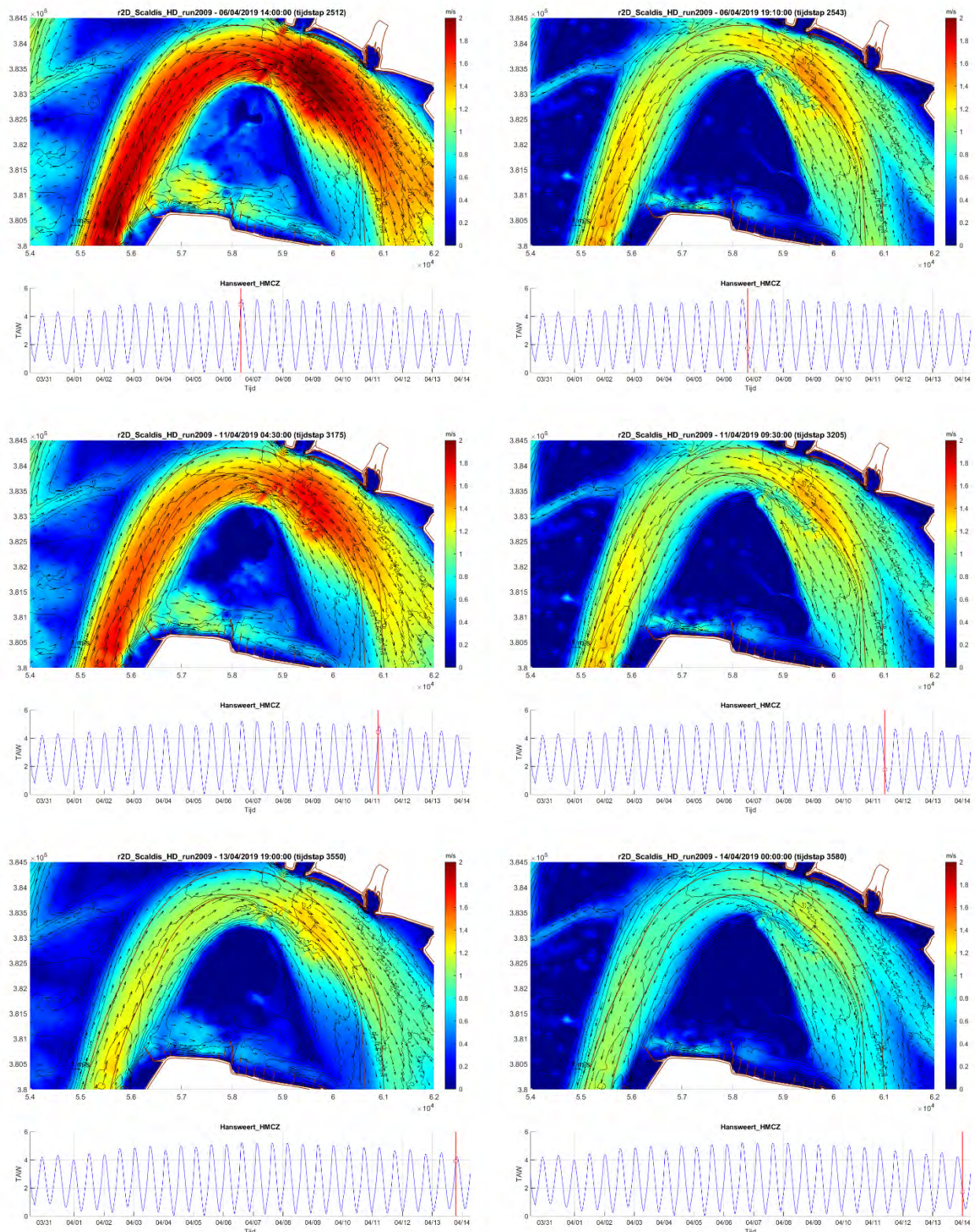


Figuur 30 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2004.

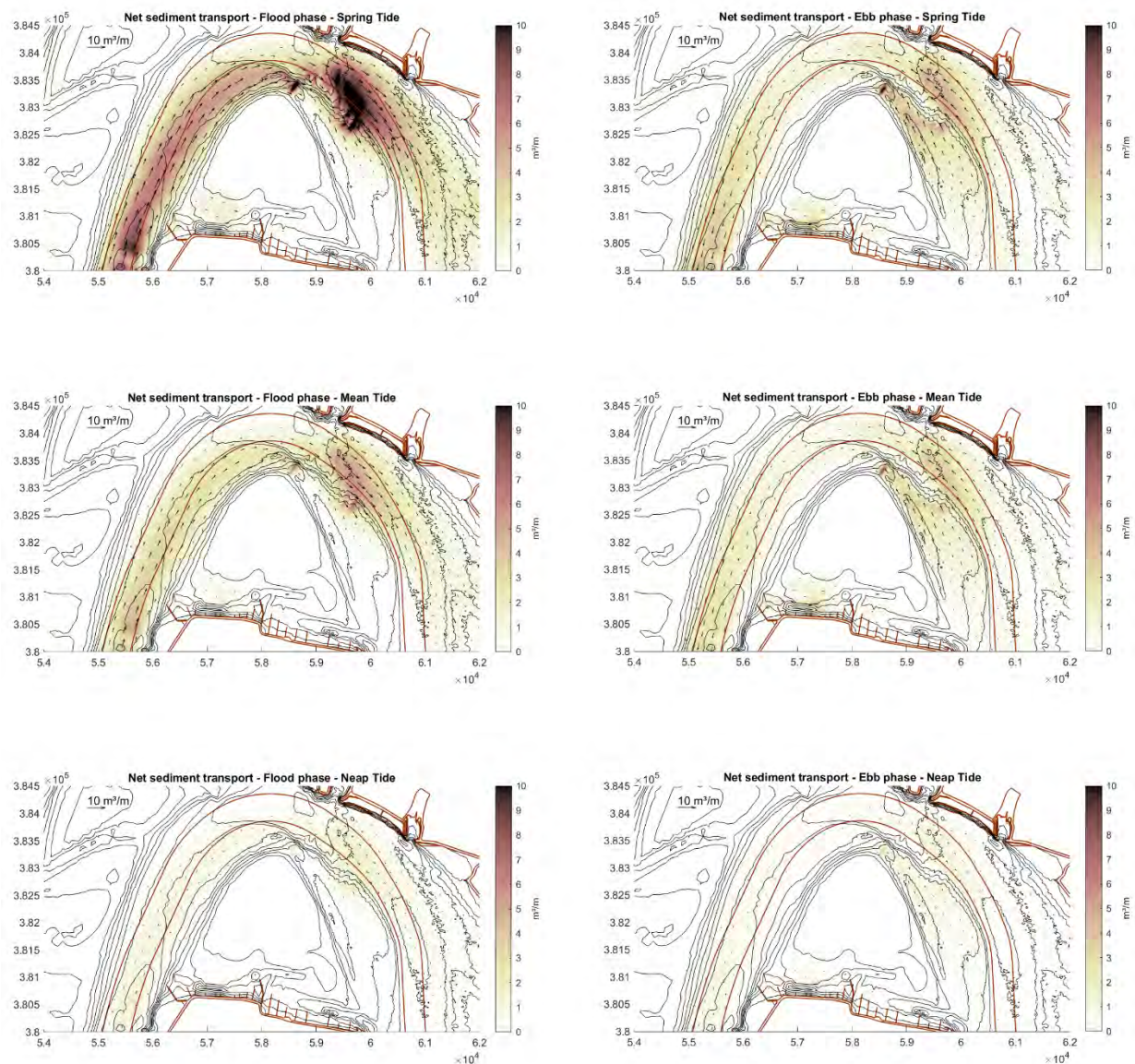


Figuur 31 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2004.

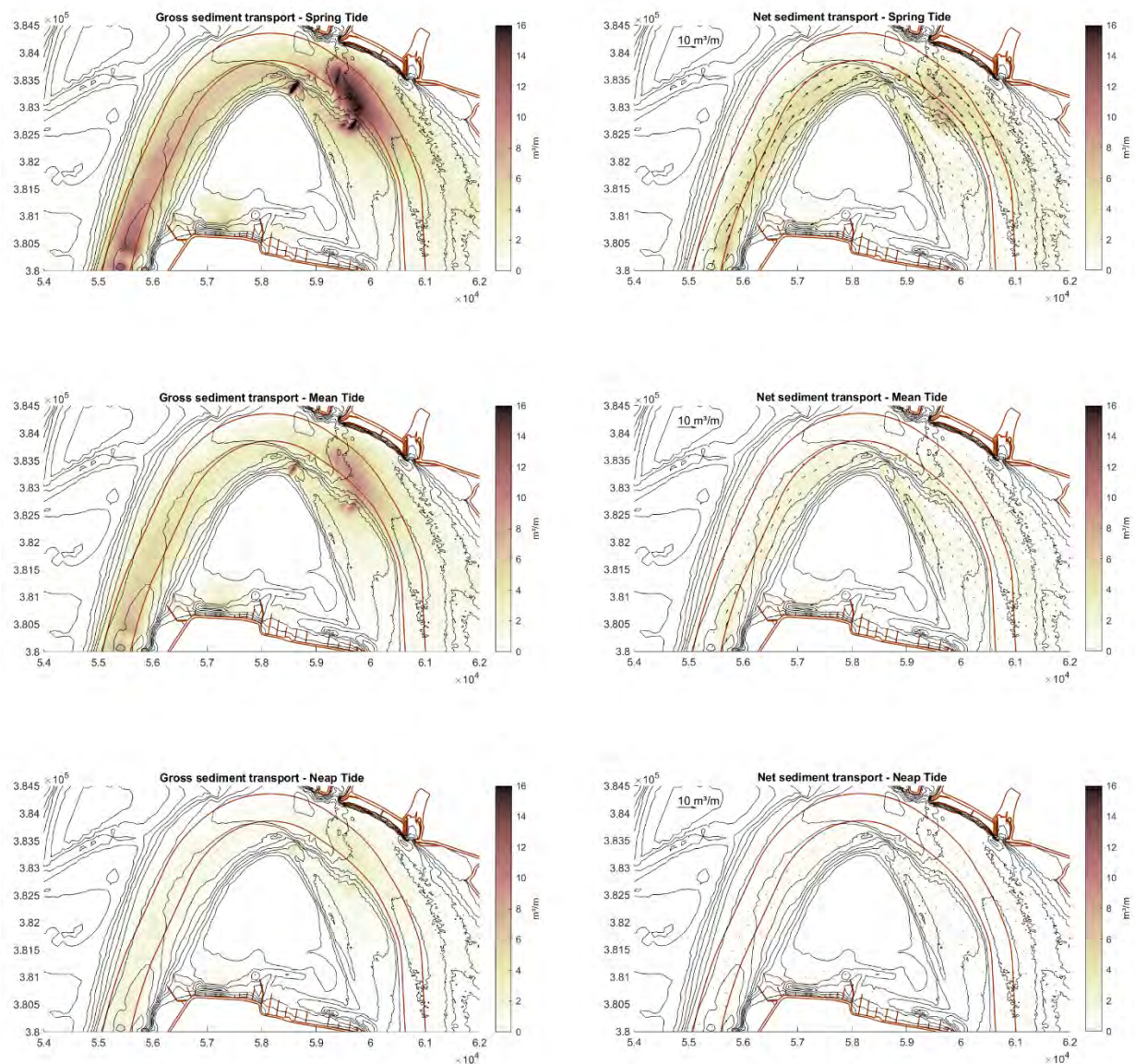
5.1.3 2009



Figuur 32 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doodtij (onder) bathymetrie 2009.

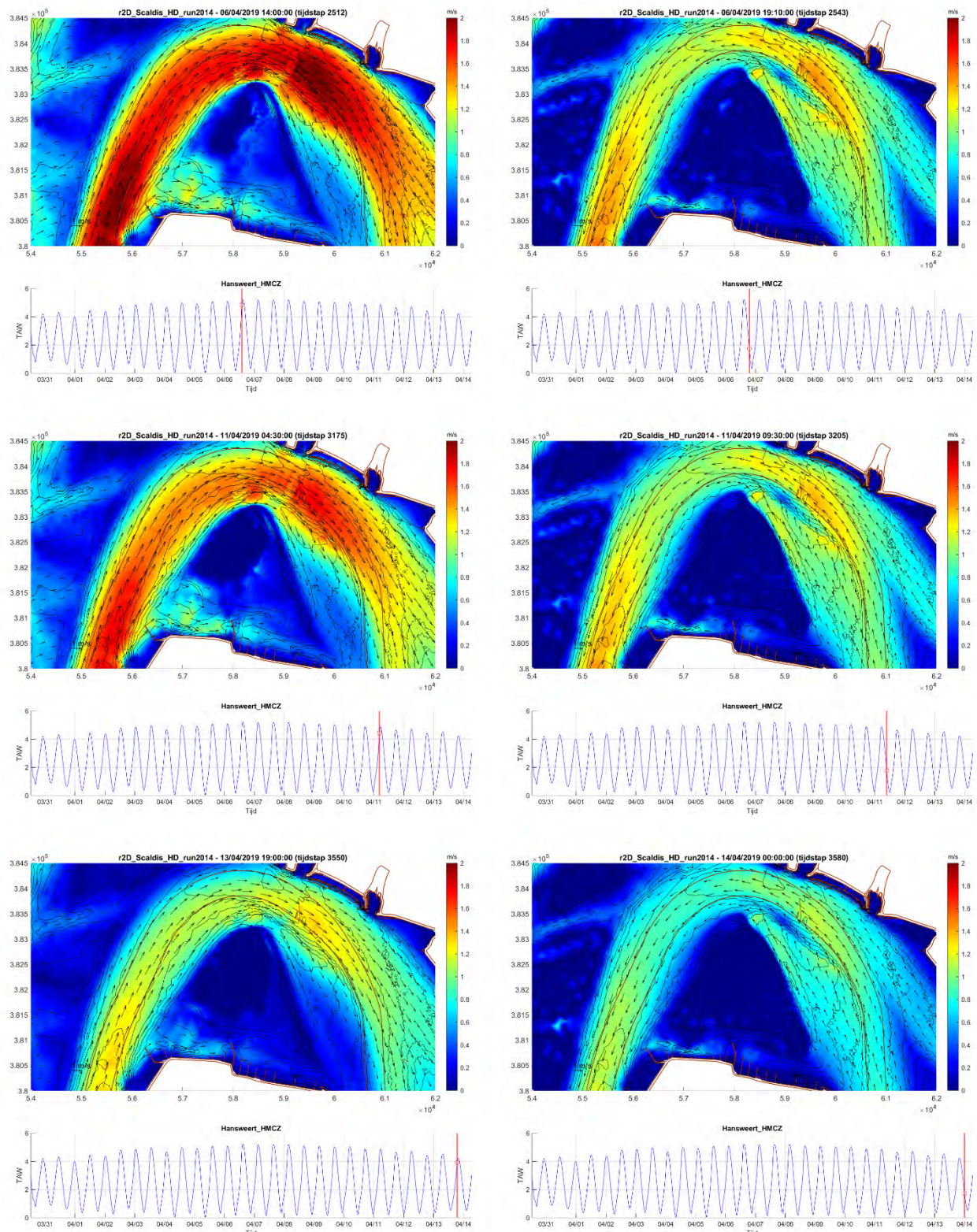


Figuur 33 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2009.

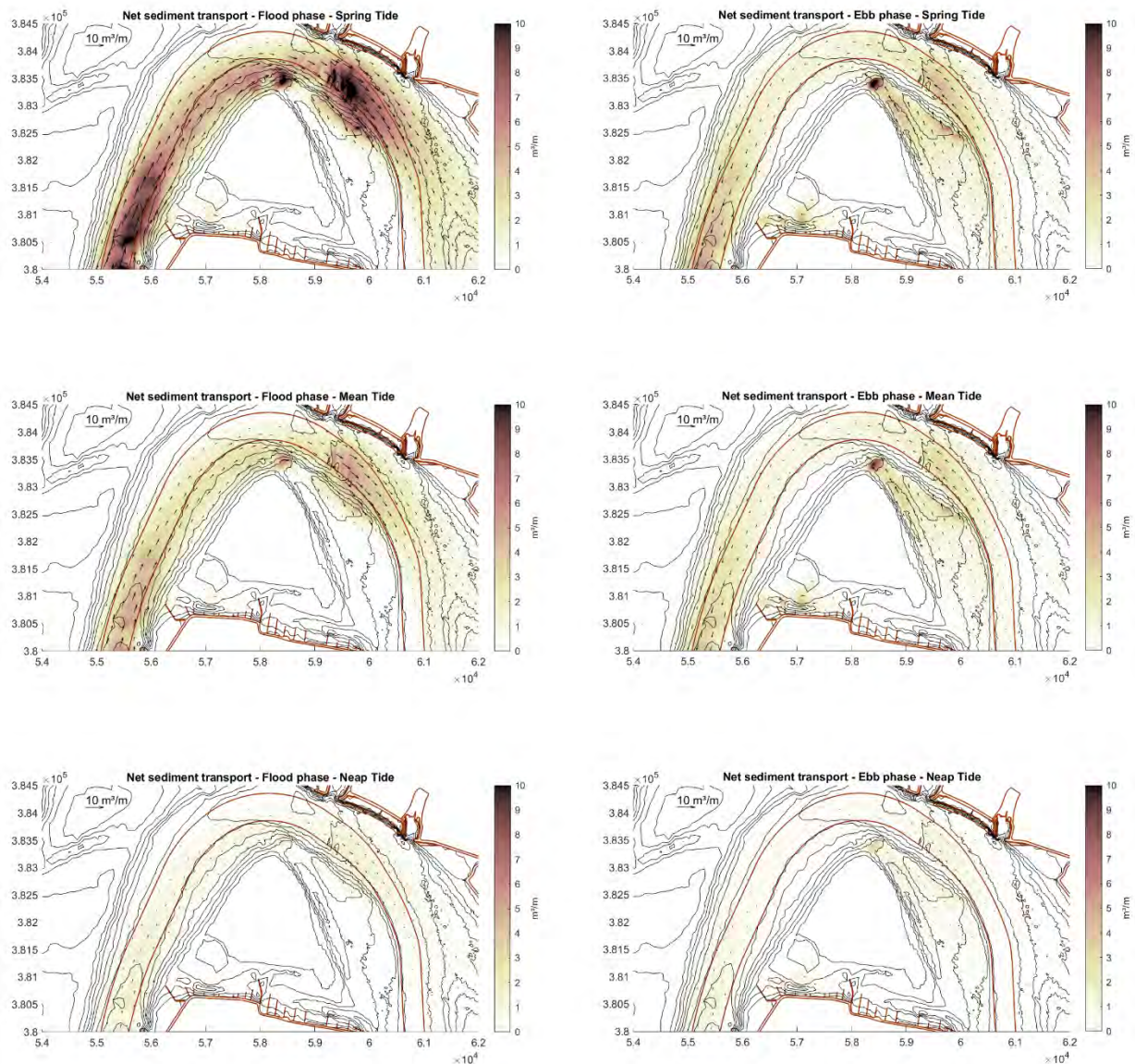


Figuur 34 - Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2009.

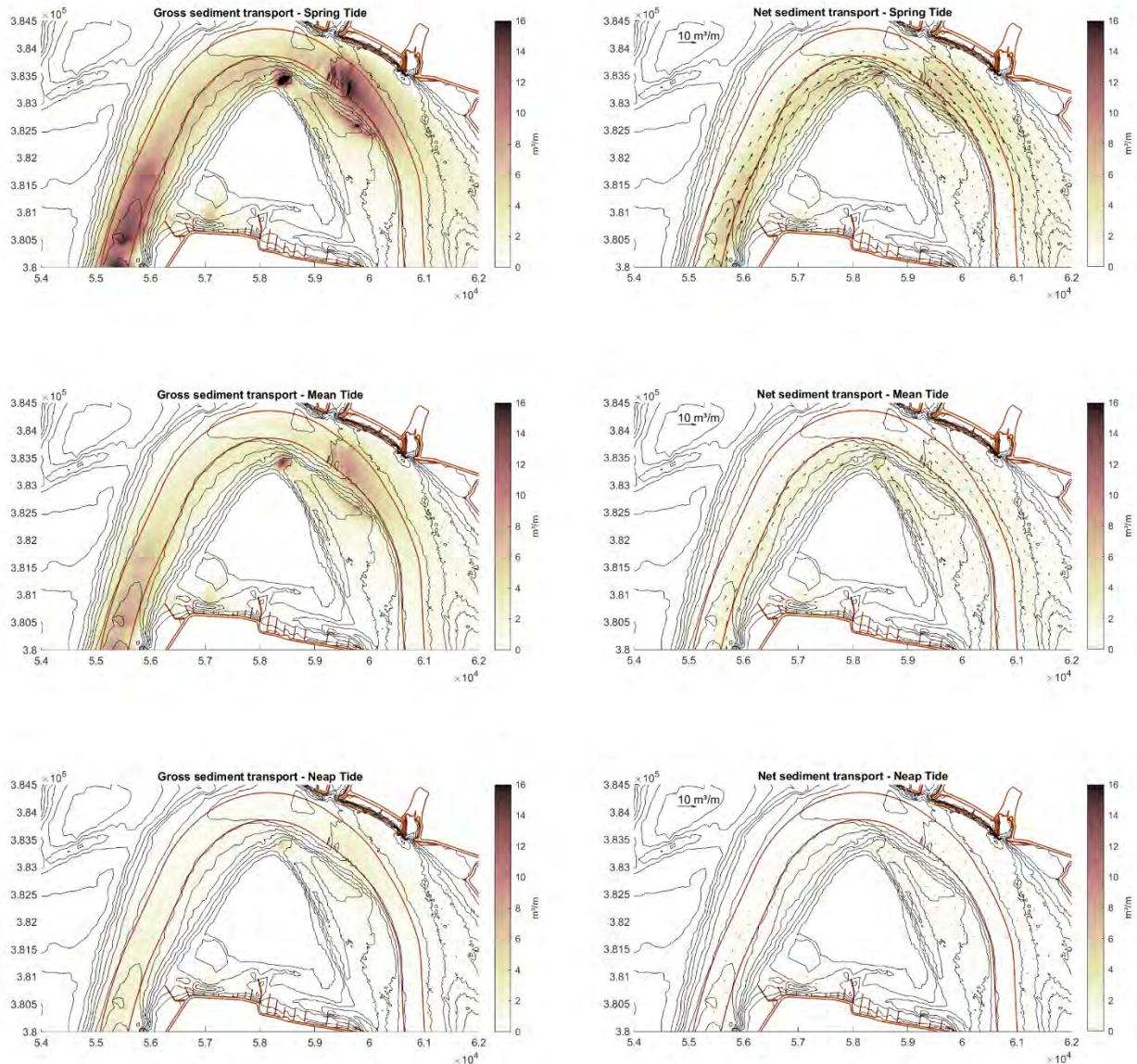
5.1.4 2014



Figuur 35 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 2014.

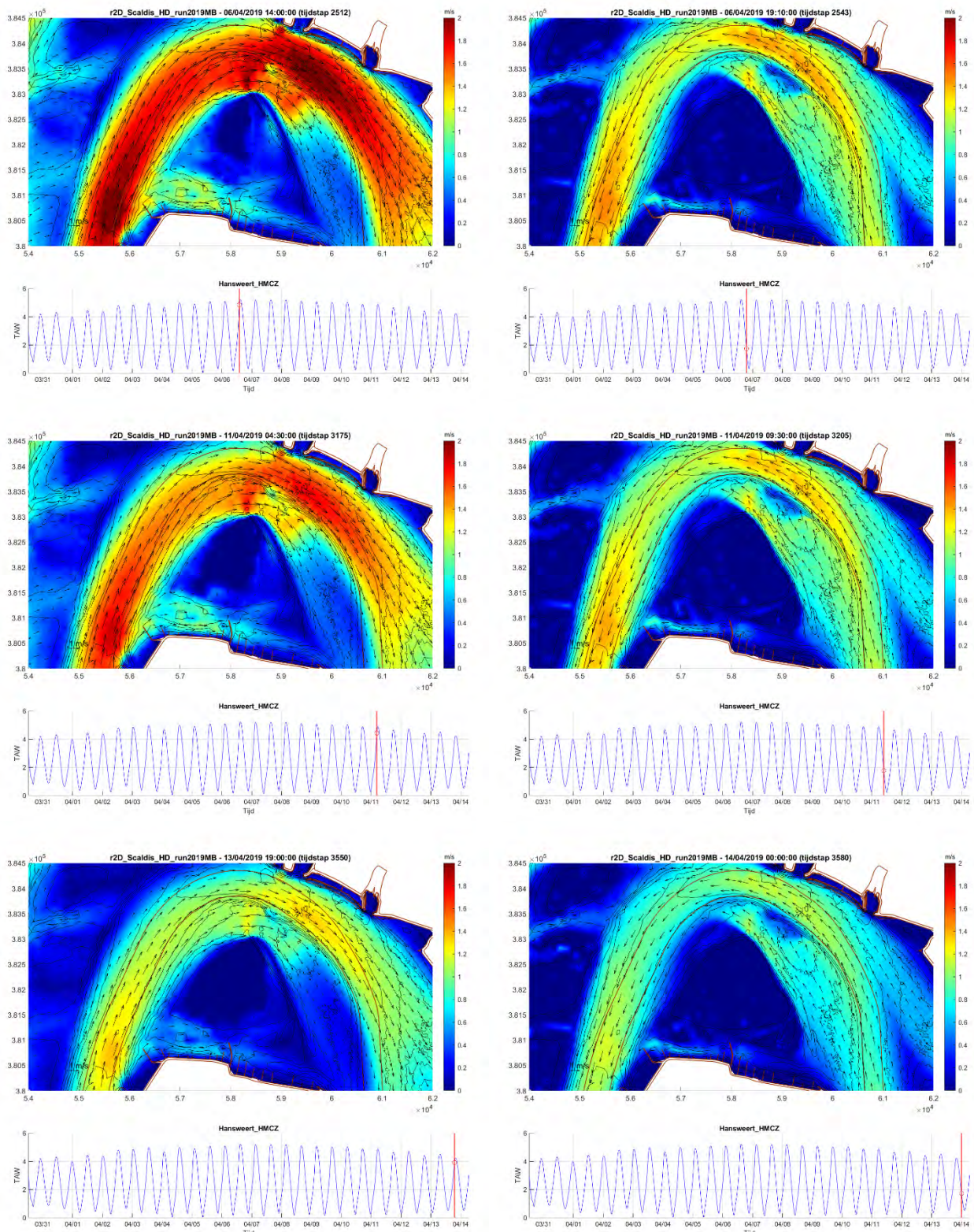


Figuur 36 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2014.

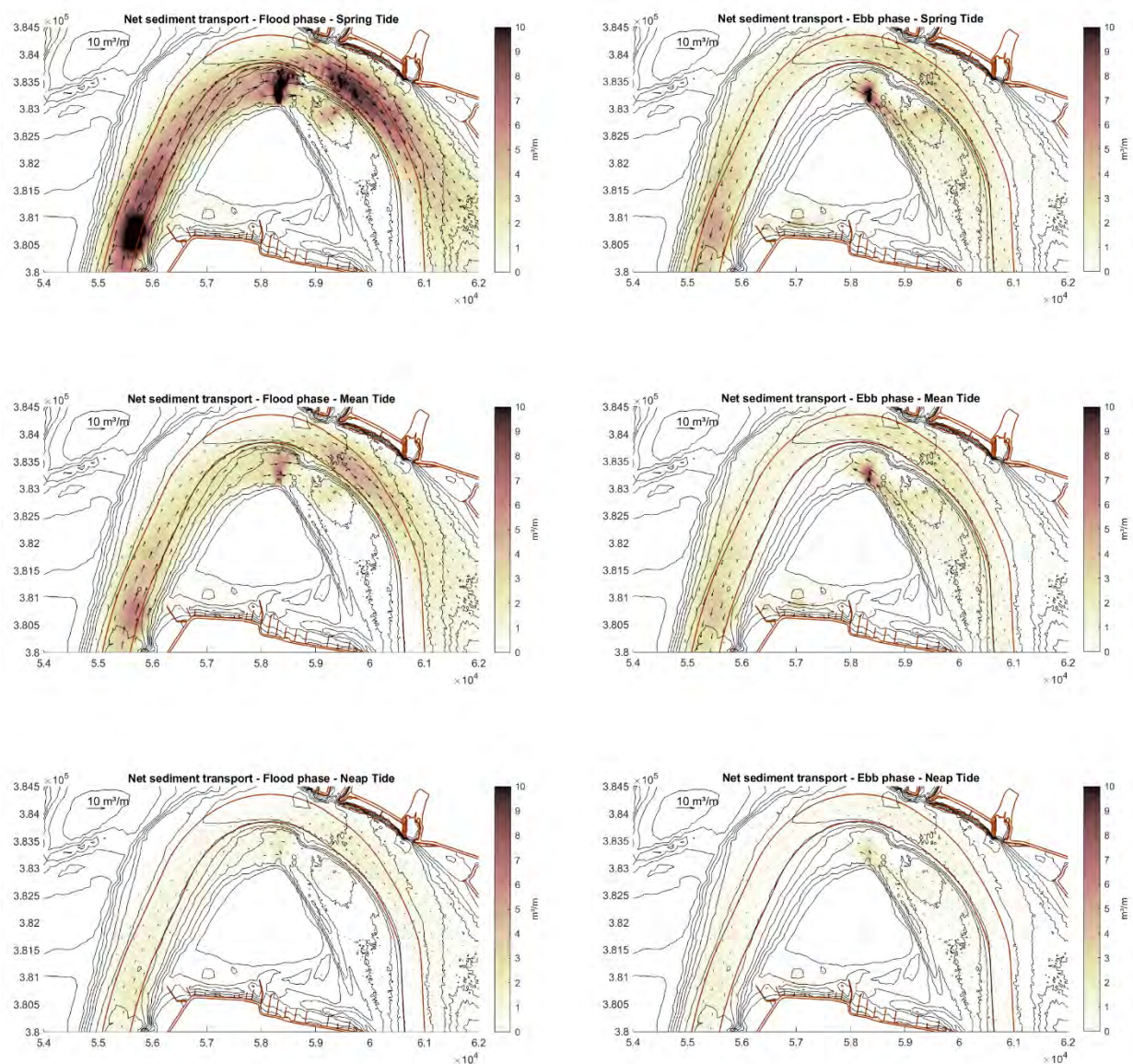


Figuur 37 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2014.

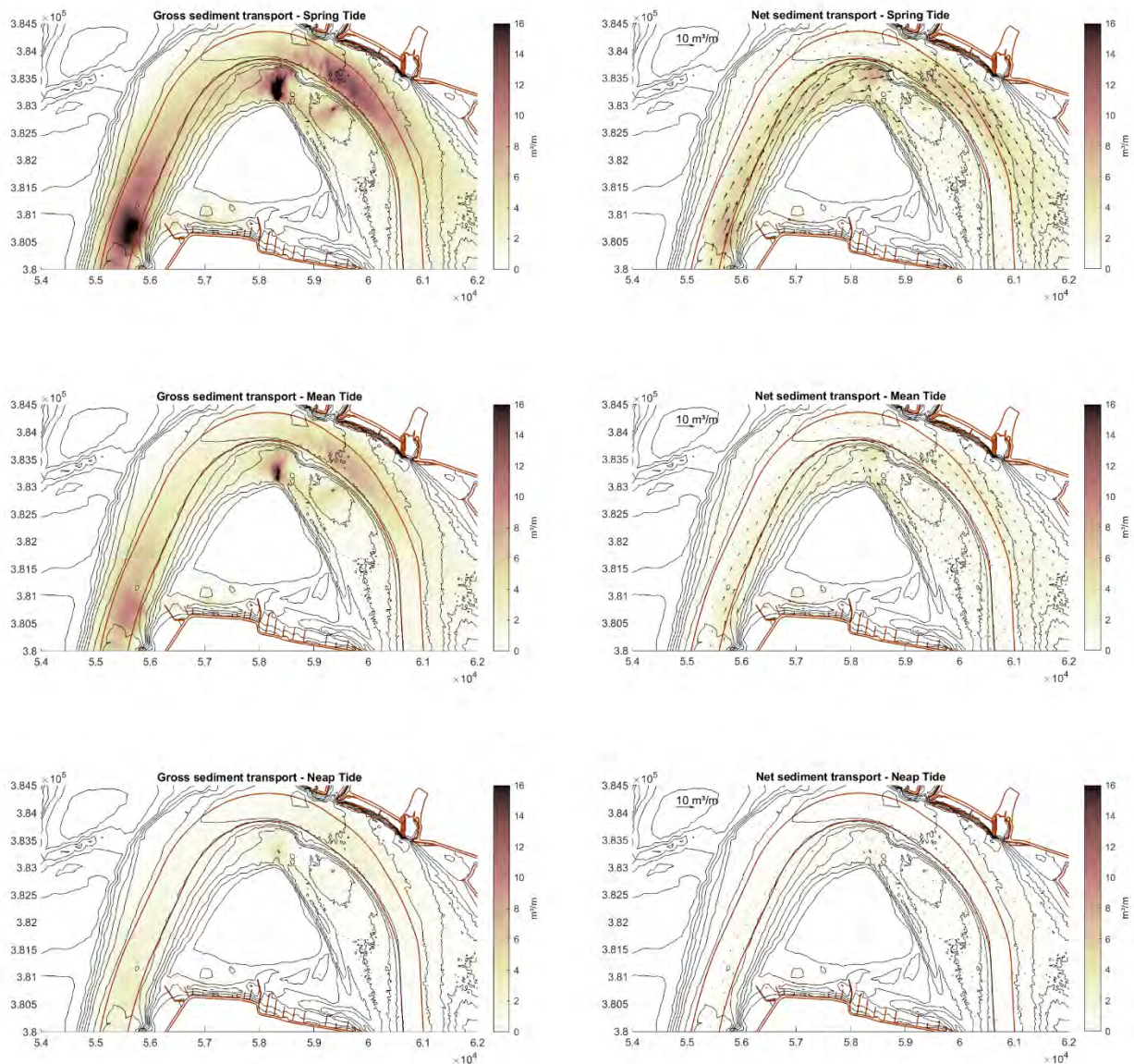
5.1.5 2019



Figuur 38 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 2019.

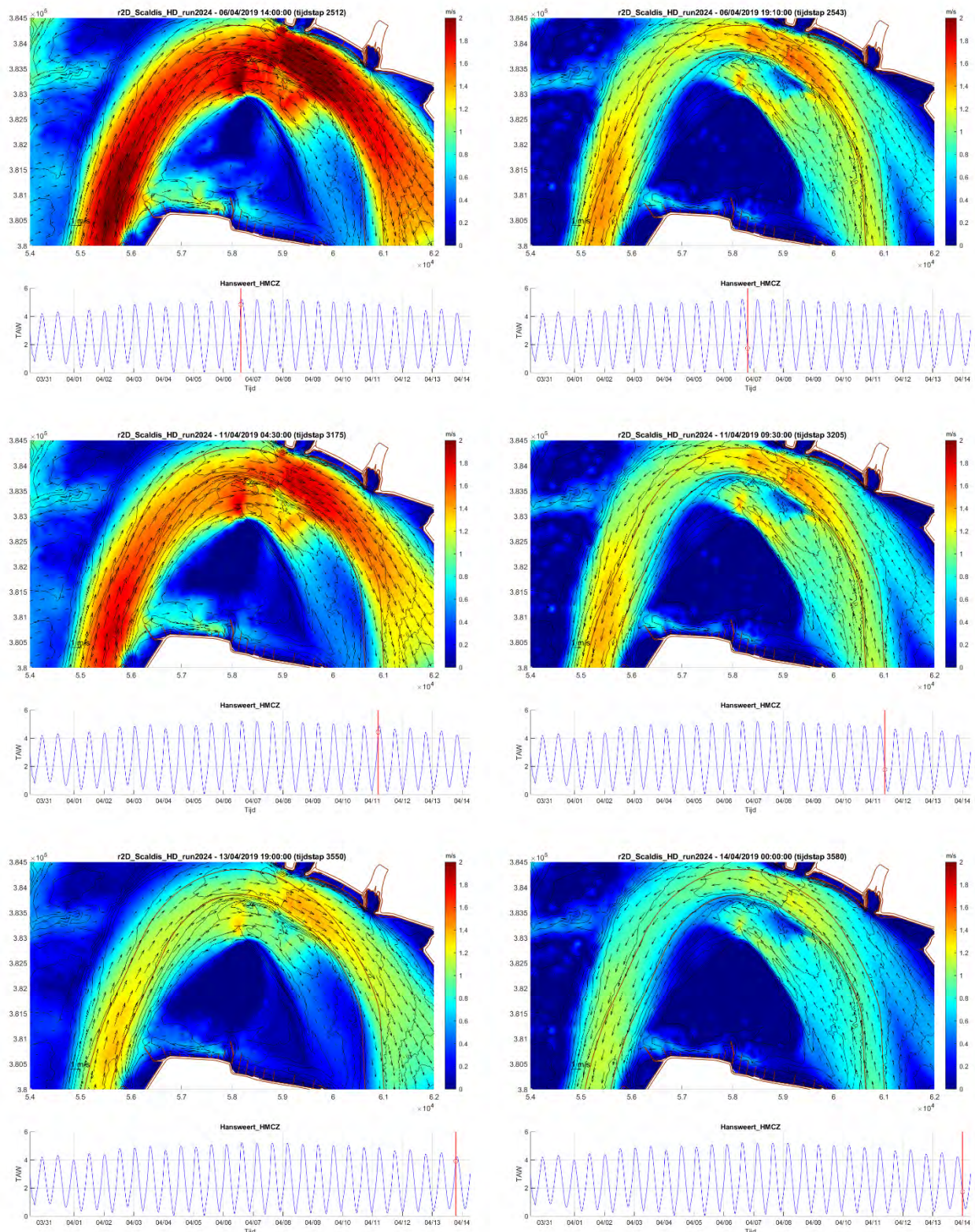


Figuur 39 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2019.

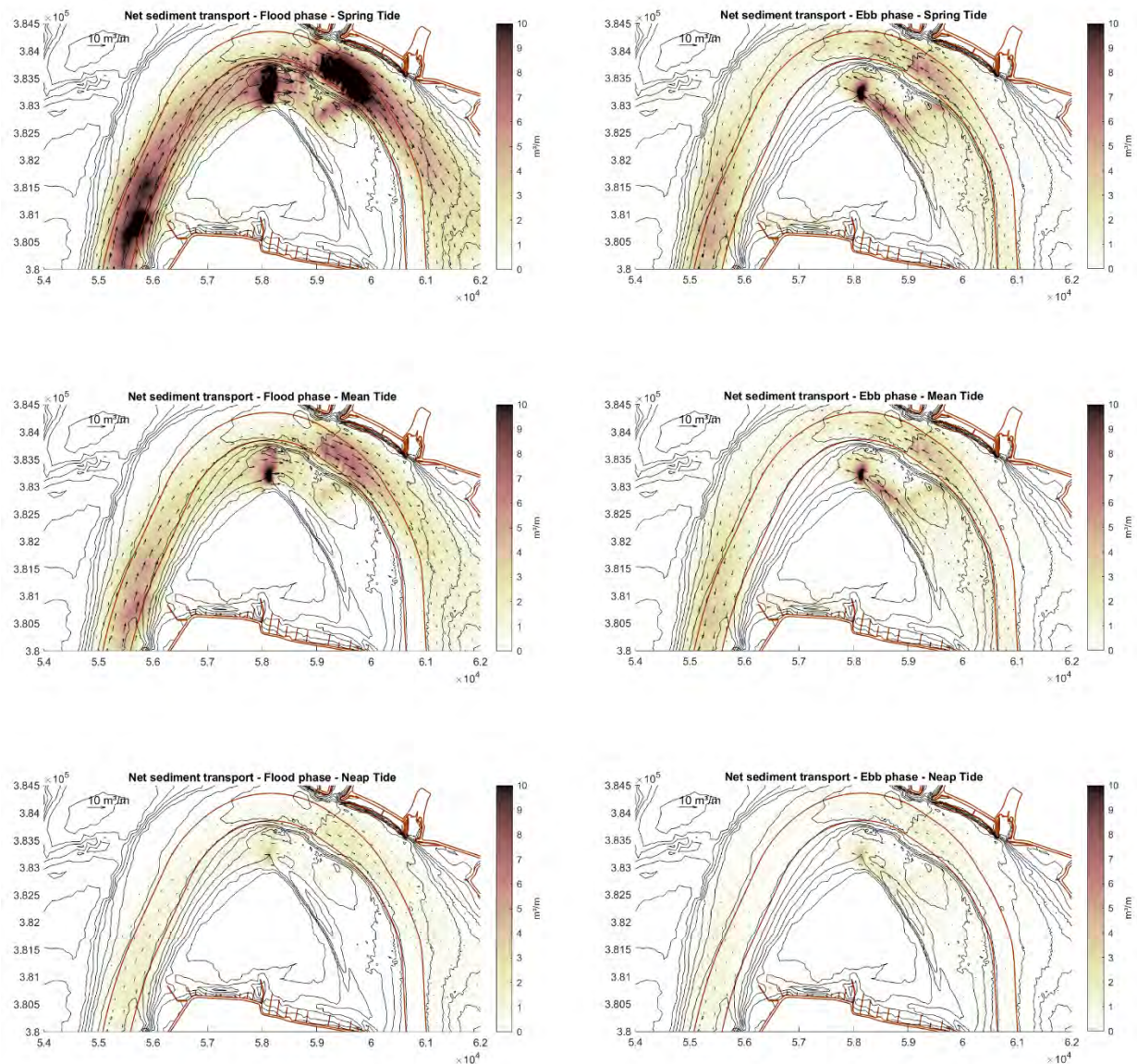


Figuur 40 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2019.

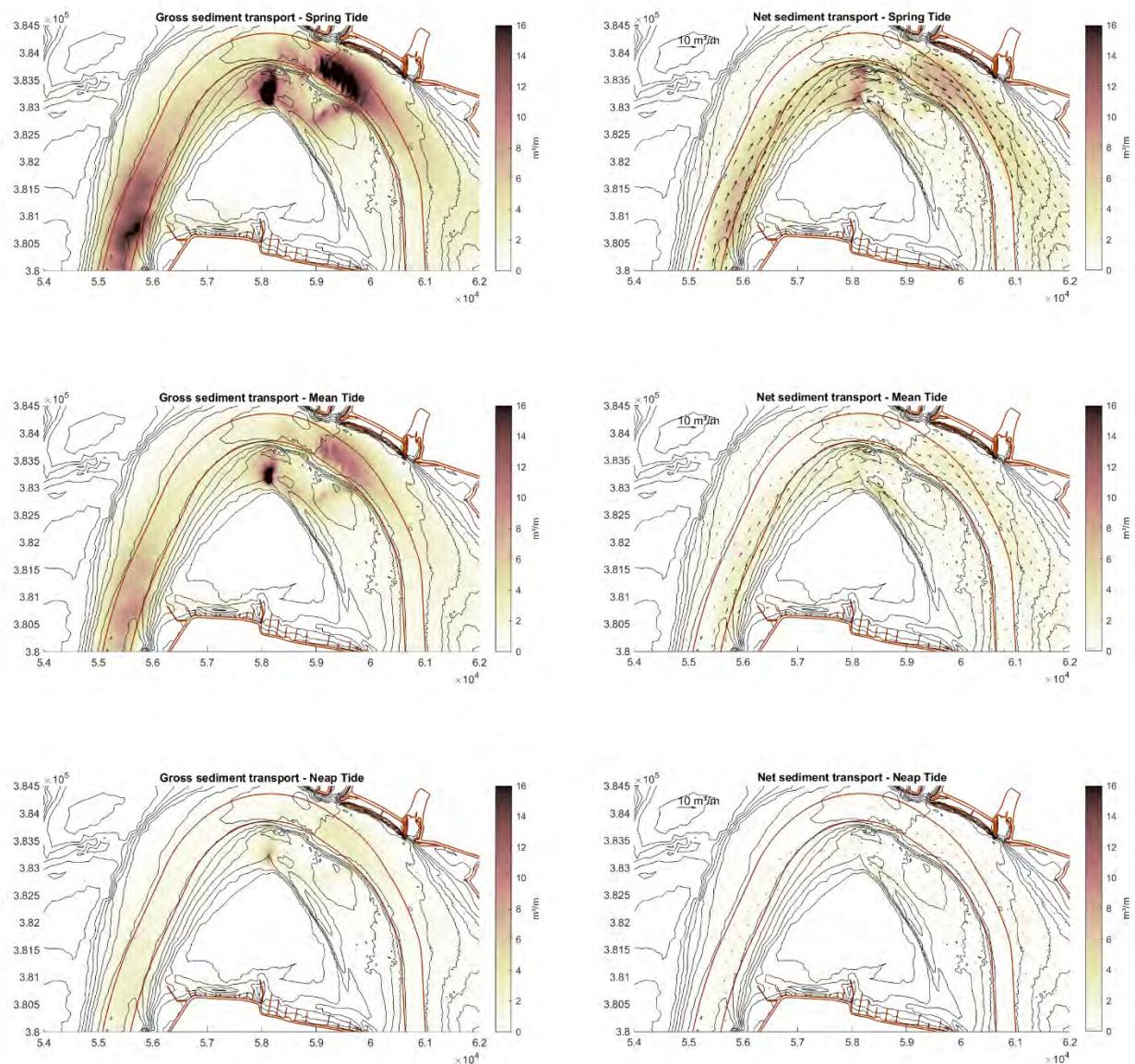
5.1.6 2024



Figuur 41 – Maximale vloed- (links) en ebstroming (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doottij (onder) bathymetrie 2024.



Figuur 42 – Sedimenttransport bij vloed (links) en eb (rechts) bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2024.



Figuur 43 – Bruto (links) en netto (rechts) sedimenttransport bij springtij (boven), middeltij (midden) en doortij (onder) bathymetrie 2024.

5.2 Analyse

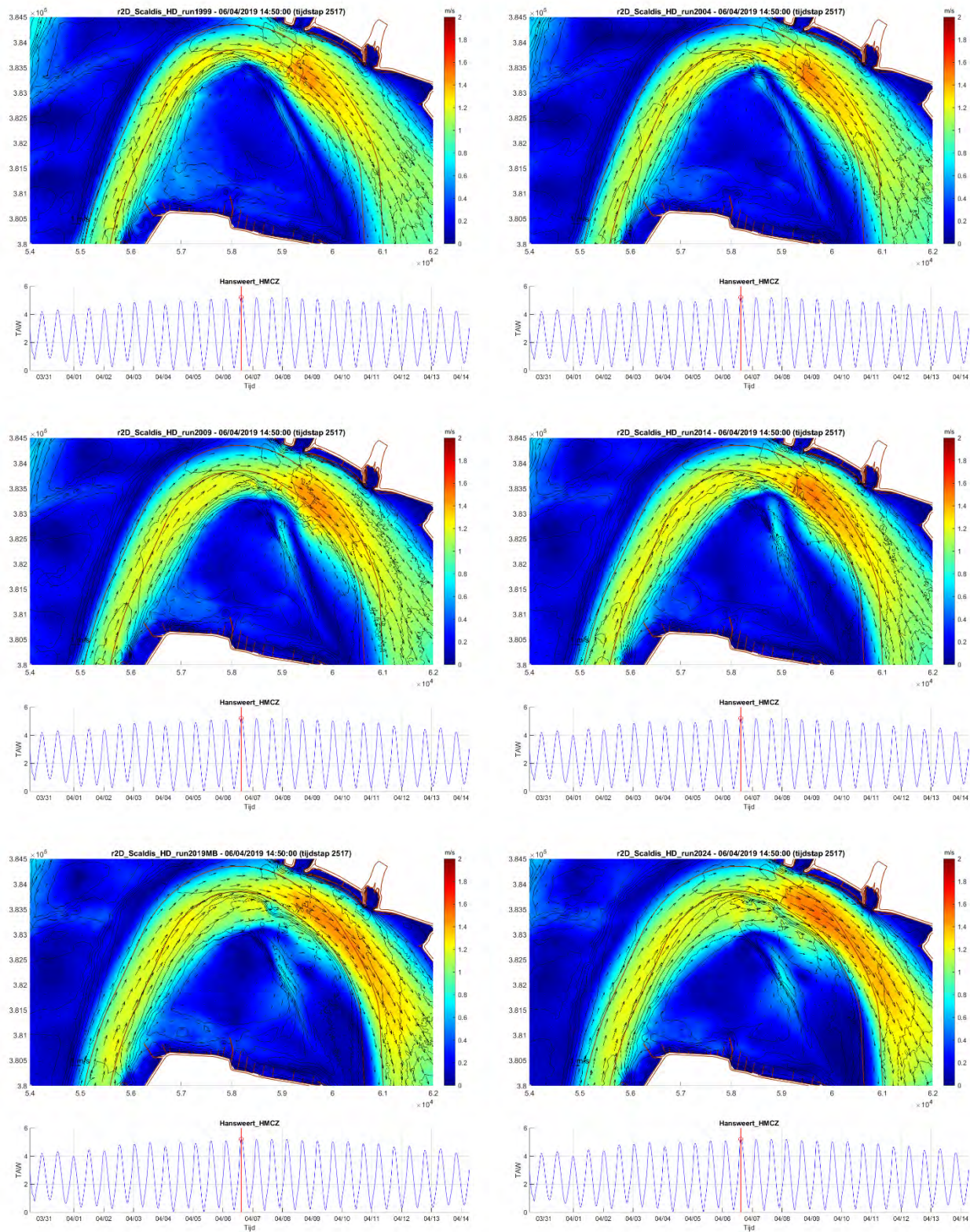
Vergelijking van de opeenvolgende jaren (Figuur 26 tot en met Figuur 43) toont dat de gesimuleerde ruimtelijke patronen in stroming en sedimenttransportcapaciteit quasi identiek zijn bij springtij, gemiddeld tij en doottij. Enkel de magnitude neemt stelselmatig af van springtij over gemiddeld tij naar doottij. De zones met de hoogste stroomsnelheden zijn logischerwijs ook deze met de hoogste sedimenttransportcapaciteit.

De hoogste stroomsnelheden (en sedimenttransporten) treden op bij vloed op de overgang van het oostelijke talud van de Diepe put van Hansweert naar de Drempel van Hansweert. Ook de geïntegreerde sedimenttransportcapaciteitskaarten (bruto, netto, vloed, eb) tonen dat dit een zeer actieve zone is. Op basis van de ruimtelijke gradiënten in sedimenttransport kan verwacht worden dat sediment wordt geërodeerd in het oosten van de Diepe put van Hansweert en afgezet op de drempel. Volgens het conceptueel sedimenttransportmodel van Huismans *et al* (2021) – op basis van de proefstoringen in 2016, 2017 en 2019 en numerieke modelsimulaties – gaat het transport echter niet rechtstreeks van de Diepe put naar de Drempel van Hansweert, maar verloopt het via de binnenbocht, waar meer dan 70% zou achterblijven. Door verkleining van het doorstroomoppervlak zullen de stroomsnelheden echter lokaal toenemen. Op termijn zou daarom minder sediment achterblijven op de binnenbocht, en het transport meer rechtstreeks naar de Drempel van Hansweert verlopen.

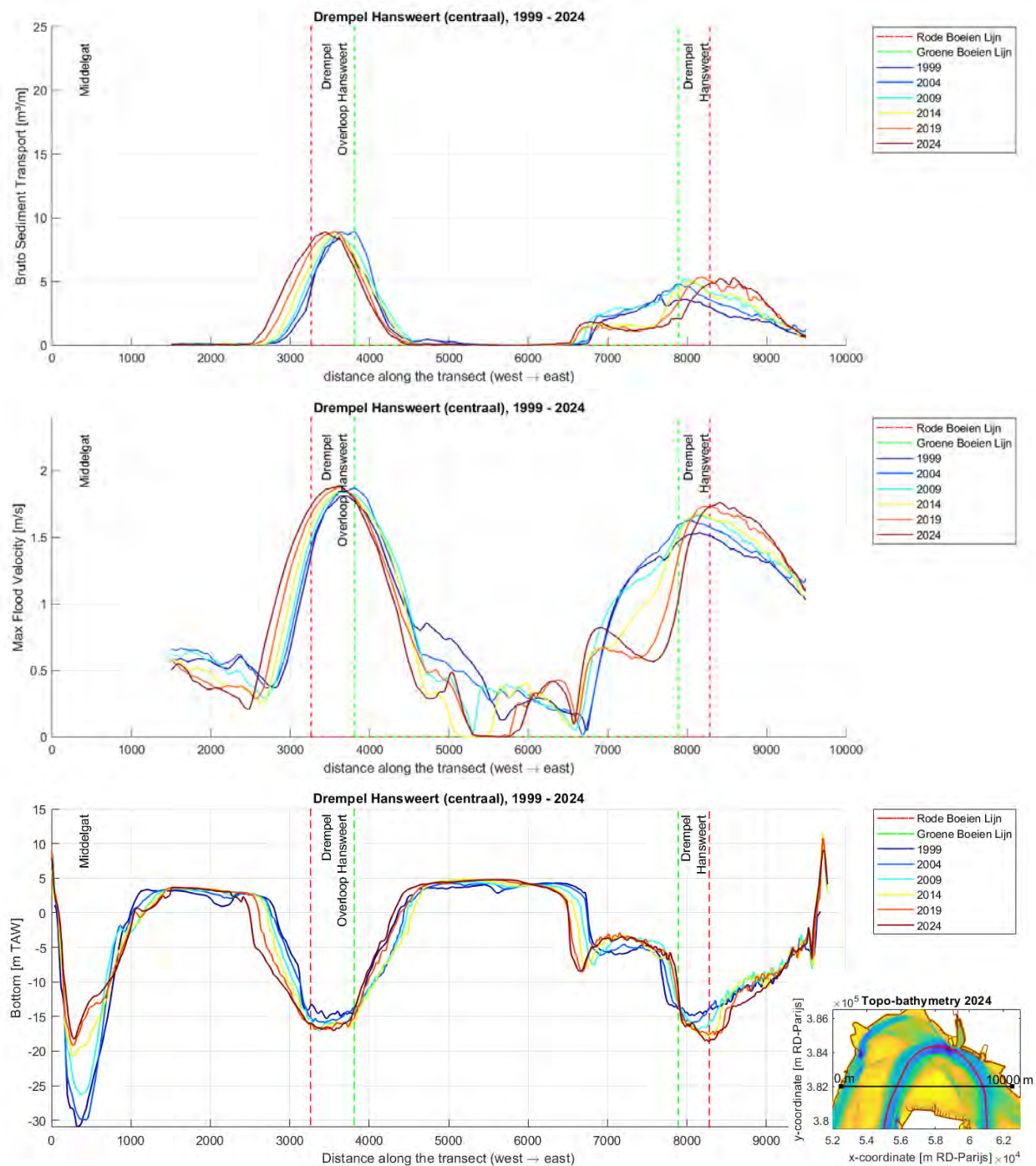
In nagenoeg het gehele interessegebied is het sedimenttransport vloed gedomineerd. Enkel in het westen van de Schaar van Ossensisse en in het geultje tussen de Platen van Ossensisse en het nieuwe plaatje is het sedimenttransport eb gedomineerd. Naarmate het plaatje zich meer ontwikkelt, wordt ook de eb dominantie in het geultje meer uitgesproken. Jaar na jaar nemen de maximale ebstroomsnelheden en het sedimenttransport bij eb in het geultje toe. Het omgekeerde geldt voor het zich ontwikkelende plaatje: naarmate de ondiepte toeneemt in oppervlakte en in hoogte, nemen de stroomsnelheid en het sedimenttransport op deze locatie af. Achter het plaatje ontstaat een schaduwzone voor de vloedstroming. Op de kruin van het plaatje blijft de sedimenttransportcapaciteit relatief hoog. Het ontstaan van het plaatje heeft ook een effect op de stroompatronen bij hoogwater (Figuur 44): waar in 1999 en 2004, zeer lokaal, in een smalle strook aan de oostelijke rand van de Platen van Ossensisse een (eb-gerichte) retourstroom optreedt, neemt deze retourstroom samen met de ontwikkeling van het geultje steeds meer plaats in. Vanaf 2019 ontstaat er een duidelijk neerpatroon in de luwte van de gevormde ondiepte. De sterkte van de neer neemt logischerwijze af bij gemiddeld tij en doottij, en ook haar locatie is lichtjes verschillend.

Vergelijking van de verschillen in bruto sedimenttransportcapaciteit tussen de opeenvolgende jaren (Figuur 45 tot Figuur 48) toont hoe de transportcapaciteit aan de buitenzijde van de Bocht van Hansweert stelselmatig toeneemt, en aan de binnenzijde afneemt. Dit is in overeenstemming met de waargenomen morfologische veranderingen (verbreding van de radius van de bocht). Ook de noordelijke en noordoostelijke wanden van de Platen van Ossensisse worden steeds gekenmerkt door een toename van de netto sedimenttransport-capaciteit; wat in overeenstemming is met de waargenomen terugschrijding van de plaatwanden (zie Figuur 4, Figuur 7). Deze bevindingen komen nog duidelijker tot uiting in de ruimtelijke verschilkaarten in sedimenttransportcapaciteit (Figuur 50 en Figuur 51).

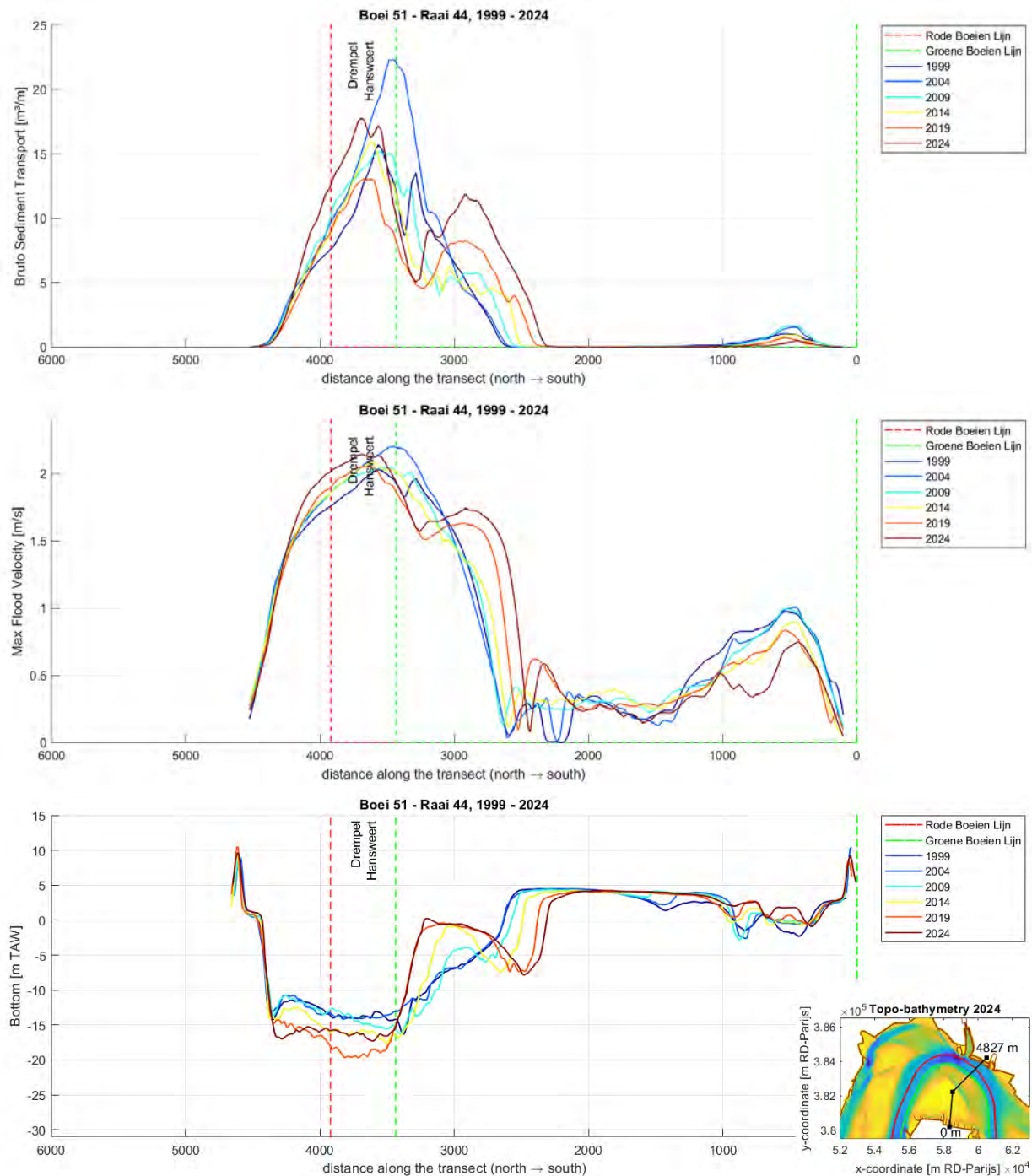
Figuur 48 toont de evolutie van topo-bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed springtij en bruto sedimenttransportcapaciteit bij springtij. De 3^{de} verruiming (2010) heeft een verhoging van de sedimenttransportcapaciteit in de Overloop van Hansweert tot gevolg. In het Zuidergat en op het zuidelijk deel van de Drempel van Hansweert is de evolutie minder eenduidig. In het overgangsgebied tussen de Diepe put van Hansweert en de Drempel van Hansweert treedt de hoogste sedimenttransportcapaciteit steeds op waar het talud van de Put overgaat in het vlak gedeelte van de drempel. Doorheen de tijd lijkt deze overgang zich naar het (zuid-)oosten te verplaatsen (1999 – 2019). De lagere sedimenttransportcapaciteit in deze zone voor de jaren 2014 en 2019, alsook de hogere transportcapaciteit op de drempel zelf, zou gerelateerd kunnen zijn aan het zich instellen van een nieuw morfodynamisch evenwicht na de 3^{de} verruiming. Dit geeft echter geen verklaring voor de even lage/hoge sedimenttransportcapaciteit in het jaar 2009.



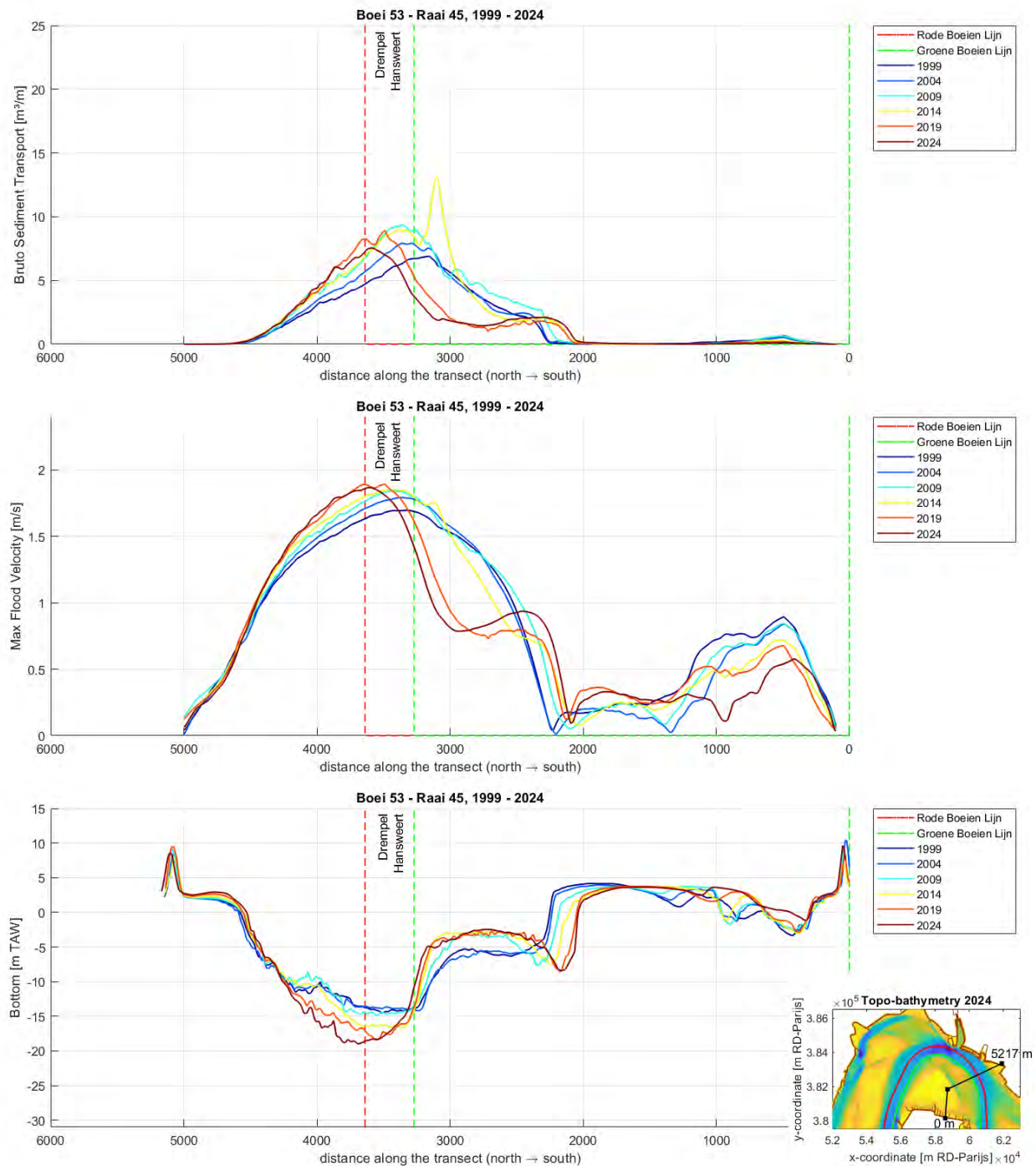
Figuur 44 – Evolutie van het stroompatroon bij hoogwater springtij.



Figuur 45 - Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit; west-oost profiel centraal over de Platen van Ossensisse.

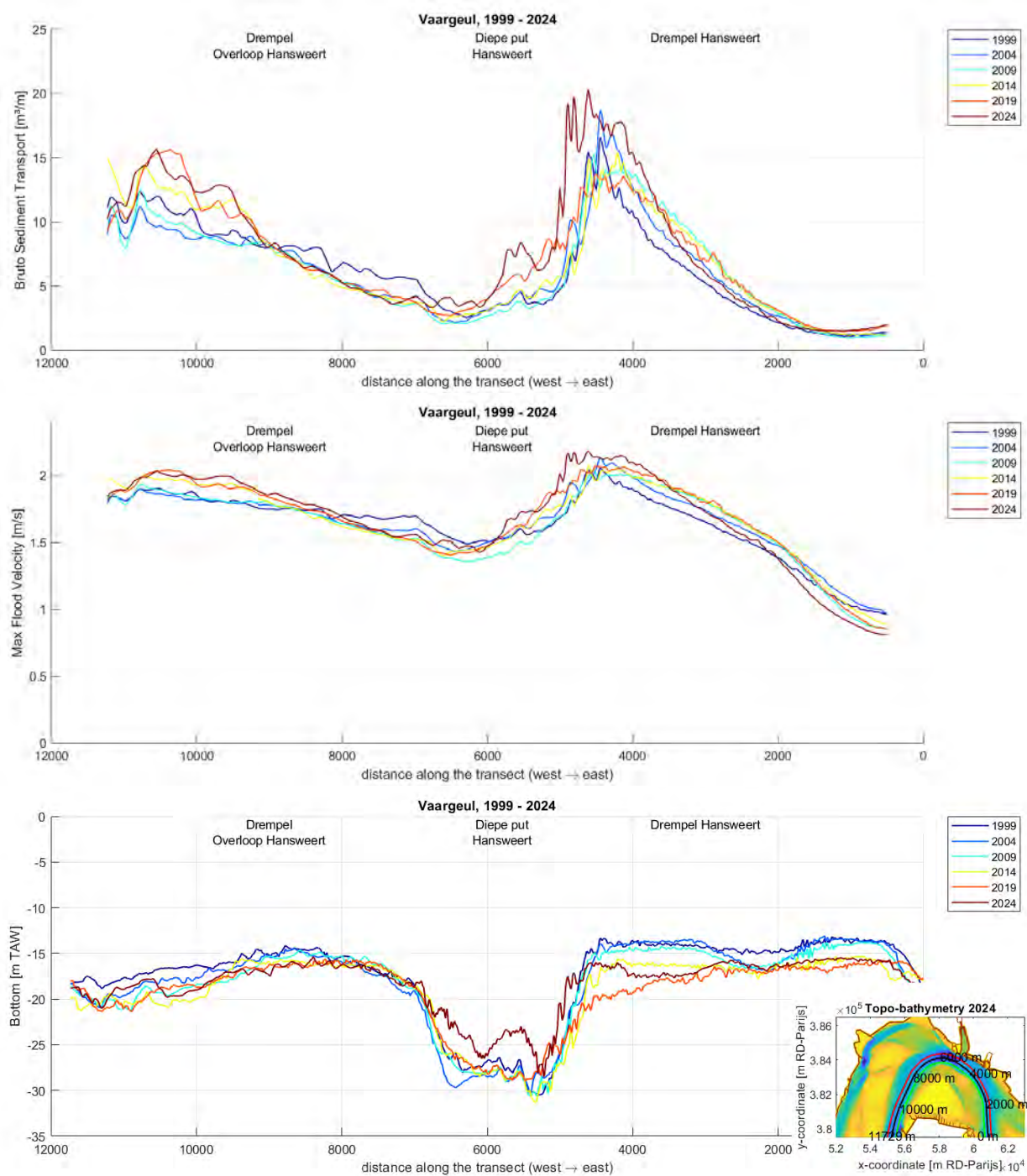


Figuur 46 – Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit; profiel ter hoogte van Boei 51.



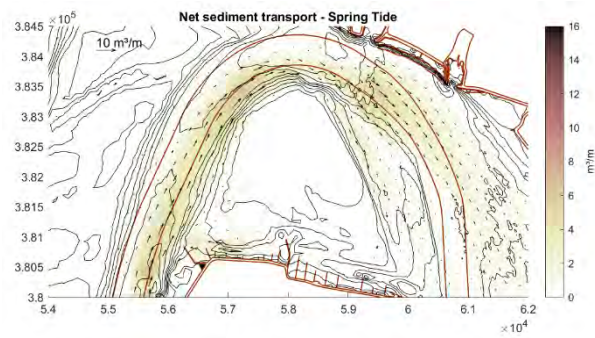
Figuur 47 – Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit; profiel ter hoogte van Boei 53.

De in 2024 waargenomen verondieping in de overgang van de Diepe put van Hansweert naar de Drempel van Hansweert (Figuur 48, ca. meter 4000 tot 5000) is het gevolg van baggerspecie stortingen in de zogeheten stortzone “Put van Hansweert Oost” (PVH Oost) van september 2022 tot en met september 2023 (Pandelaers *et al.*, 2024; Kindermann *et al.*, 2025). Daarna werd – in deze zone – nog uitsluitend in de Diepe put van Hansweert zelf gestort (Figuur 48, ca. meter 5000 tot 7000). De verhoging van de sedimenttransportcapaciteit in 2024 ter hoogte van de Diepe put en Drempel van Hansweert kan rechtstreeks gerelateerd worden aan de reductie van het doorstroom oppervlak en de verhoging van de stroomsnelheden ten gevolge deze stortingen.

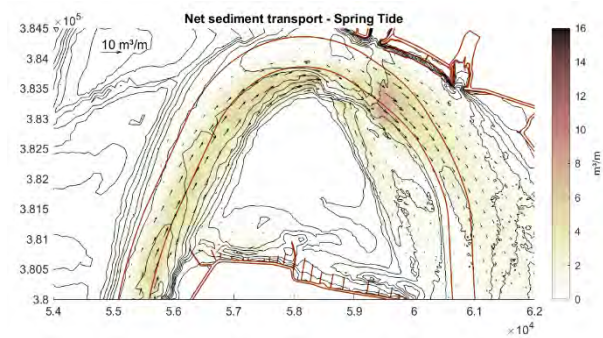


Figuur 48 – Evolutie bathymetrie, maximale stroomsnelheid bij vloed en bruto sedimenttransportcapaciteit; profiel in het midden van de vaargeul, van de Drempel van Hansweert tot de Drempel van de Overloop van Hansweert.

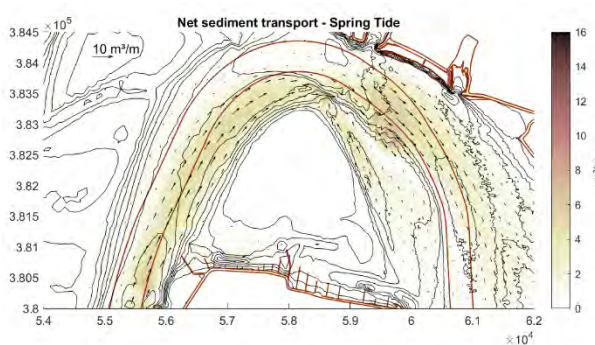
1999



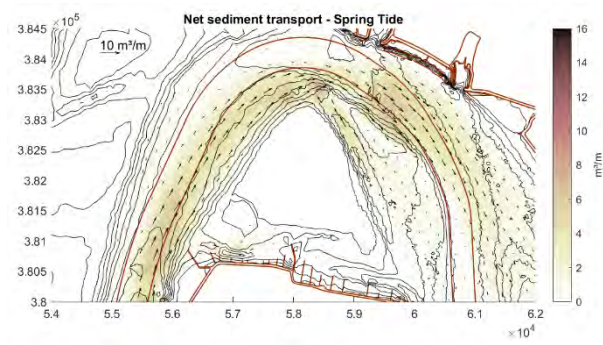
2004



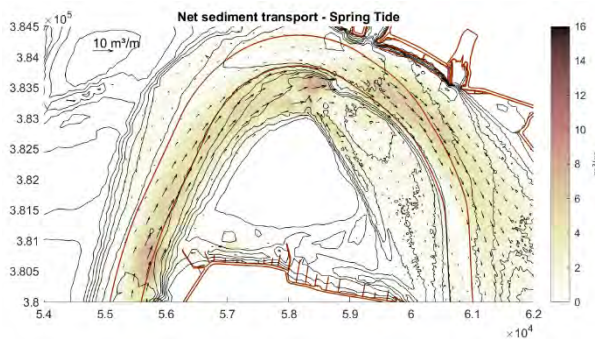
2009



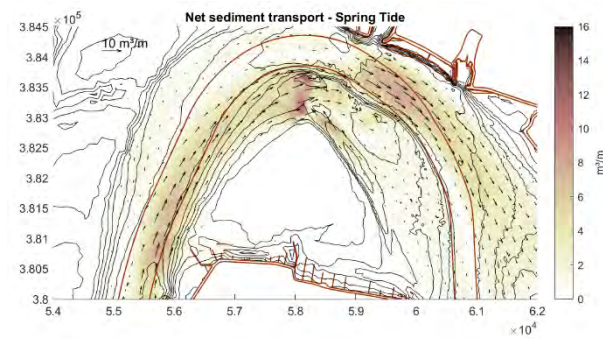
2014



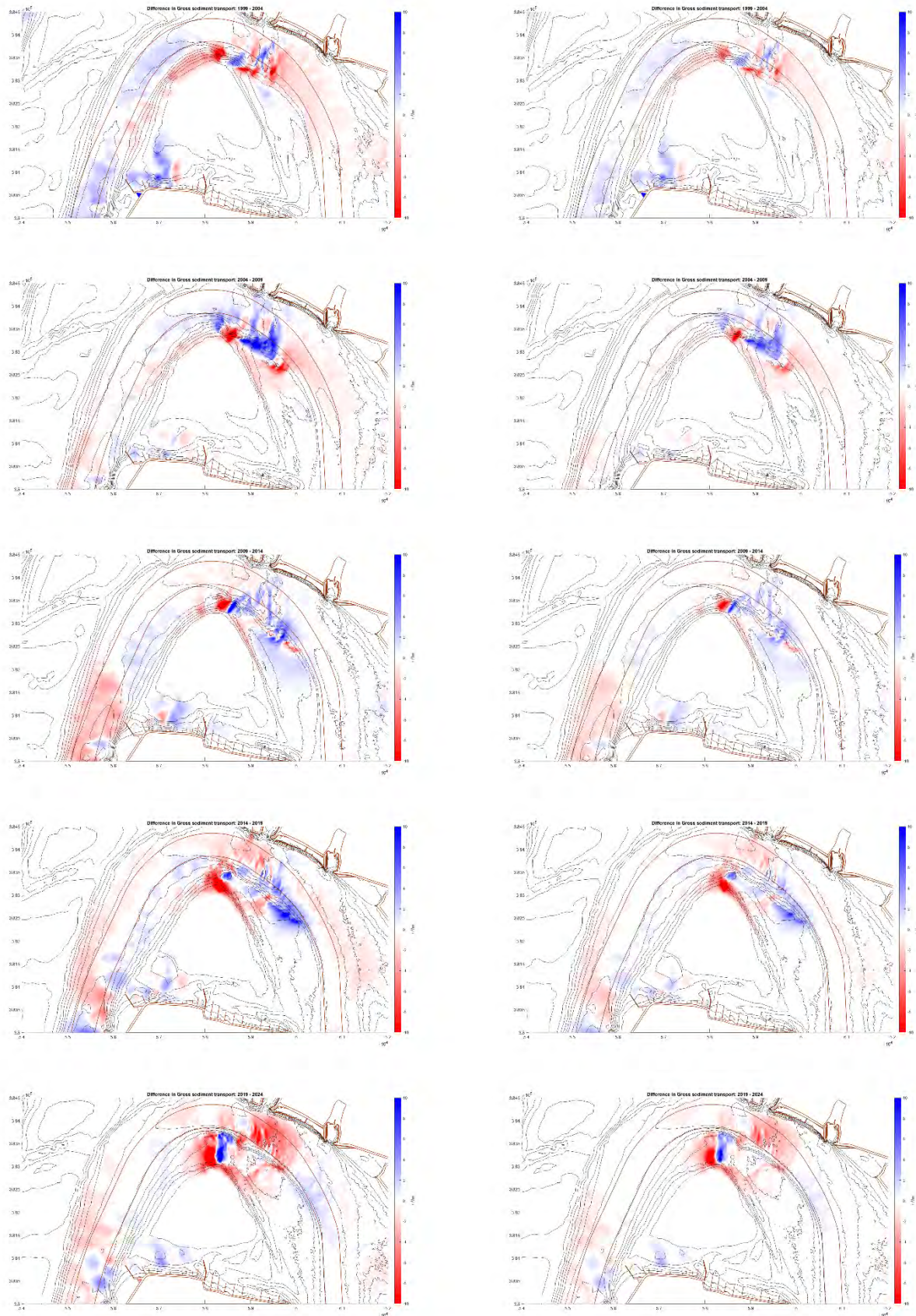
2019



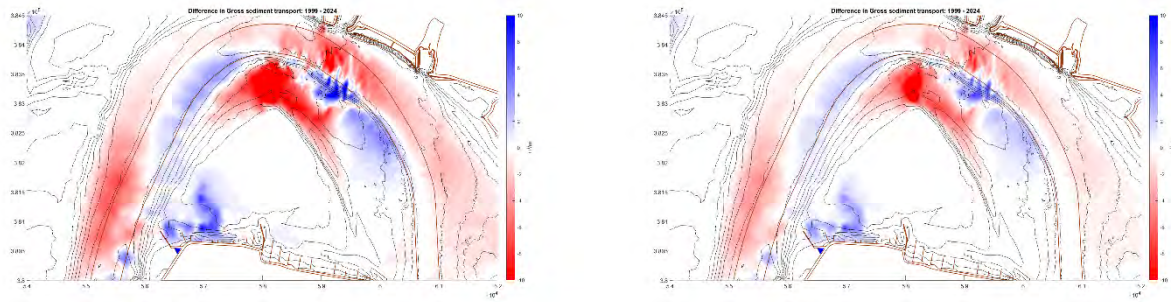
2024



Figuur 49 – Evolutie netto sedimenttransportcapaciteit (residueel transport) van 1999 tot 2024.



Figuur 50 – Verschil in bruto sediment transport tussen de opeenvolgende jaren (rij 1: 1999 – 2004; rij 2: 2004 – 2009; rij 3: 2009 – 2014; rij 4: 2014 – 2019; rij 5: 2019 - 2024) bij springtij (links) en middeltij (rechts). Rood betekent meer sedimenttransport in de latere scenarioberekening.



Figuur 51 – Verschil in bruto sediment transport tussen 1999 en 2024 bij springtij (links) en middeltij (rechts).
Rood betekent meer sedimenttransport in de latere scenarioberekening.

6 Conclusies en aanbevelingen

Morfologische analyse van de topo-bathymetrie van de jaren 1999, 2004, 2009, 2014, 2019 en 2024 toont hoe de bocht tussen de Overloop van Hansweert en de Drempel van Hansweert verbreedt. Tegelijkertijd erodeert de ondiepe zone langs het noordelijke en oostelijke deel van de Platen van Ossenis. Tussen de Platen van Ossenis en de Drempel van Hansweert ontstaat een nieuwe ondiepte.

Deze nieuwe ondiepte en de Platen van Ossenis worden gescheiden door een geul. De modelsimulaties tonen aan dat deze geul eb gedomineerd is. Er lijkt zich dus een nieuwe ebschaar te ontwikkelen op deze locatie. Naarmate de nieuwe ondiepte zich ontwikkelt in oppervlakte en hoogte, wordt de eb dominantie in de nieuwe nevengeul meer uitgesproken. Eens het plaatje voldoende ontwikkeld is, vormt zich in de ontstane luwte voor de vloed- (ten zuiden van het plaatje) en ebstroming (ten noorden van het plaatje).

Vanaf 2009 neemt de transportcapaciteit aan de buitenzijde van de bocht van Hansweert stelselmatig toe, terwijl ze aan de binnenzijde van de bocht afneemt. Dit is in overeenstemming met de waargenomen morfologische veranderingen (verbreding van de radius van de bocht). Ook tonen de opeenvolgende simulaties hoe de noordelijke en noordoostelijke wanden van de Platen van Ossenis steeds gekenmerkt worden door een toename van de sedimenttransportcapaciteit. Dit patroon is in overeenstemming met de waargenomen terugschrijding van de plaatrand.

De hoogste sedimenttransportcapaciteit treedt op waar het oostelijk talud van de diepe put overgaat in het vlak gedeelte van de Drempel van Hansweert. Doorheen de tijd lijkt deze overgang zich naar het (zuid-)oosten te verplaatsen (1999 – 2019). De evolutie van de gesimuleerde sedimenttransportcapaciteit doorheen de tijd in deze zone wordt minder goed begrepen. Het jaar 2009 lijkt hierbij een outlier te zijn. De lagere sedimenttransportcapaciteit op de overgangszone van de diepe put naar de Drempel van Hansweert, alsook de hogere transportcapaciteit op de drempel zelf, in de jaren 2014 en 2019 zou gerelateerd kunnen zijn aan het zich instellen van een nieuw morfodynamisch evenwicht na de 3^{de} verruiming. De verhoging van de sedimenttransportcapaciteit in heel deze zone voor het jaar 2024 is rechtstreeks te wijten aan de bathymetrische veranderingen, vermoedelijk veroorzaakt door de grote sedimentbeschikbaarheid ten gevolge van de stortingen in de Diepe put van Hansweert en SH41.

7 Referenties

Huismans, Y.; van der Vegt, H.; Huisman, B. & Colina Alonso, A. (2021). Westerschelde: storten in diepe putten. Technische rapportage: mesoschaal morfologische ontwikkelingen rond de Put van Hansweert. Deltares i.o.v. VNSC. 1210301-015-ZKS-0011.

Kindermann, V.; Roest, B.; Pieterse, A. & van Holland, G. (2025). Toetsrapport kwaliteitsparameters voor het uitvoeren van het onderhoud vaargeul Westerschelde – Vergunningsjaar 2024. IMDC i.o.v. Vlaamse Overheid, DMOW - Afdeling Maritieme Toegang. I/RA/11640/25.142/KIV.

Meijers, C.; Stark, J.; Jeuken, C. & Bi, Q. (2024). Vergelijking modellen voor bruto sedimenttransport in de Westerschelde. Memo 11210344-000-ZKS-0002; Deltares & Flanders Hydraulics.

Pandelaers, C.; Roest, B.; Berben, S. & van Holland, G. (2024). Toetsrapport kwaliteitsparameters voor het uitvoeren van het onderhoud vaargeul Westerschelde – Vergunningsjaar 2023. IMDC i.o.v. Vlaamse Overheid, DMOW - Afdeling Maritieme Toegang. I/RA/11640/24.150/CPA.

Plancke, Y., & Meire, D. (2025). Baggeroverleg Westerschelde: Analyse van de sedimentatie ter hoogte van de Drempel van Hansweert.

Smolders, S., Maximova, T., Vanlede, J., Plancke, Y., Verwaest, T. & Mostaert, F. (2016). Integraal plan Bovenzeeschelde: Subreport 1. SCALDIS: a 3D Hydrodynamic model for the Scheldt Estuary: Vol. 13_131 (WL Rapporten). Flanders Hydraulics Research.

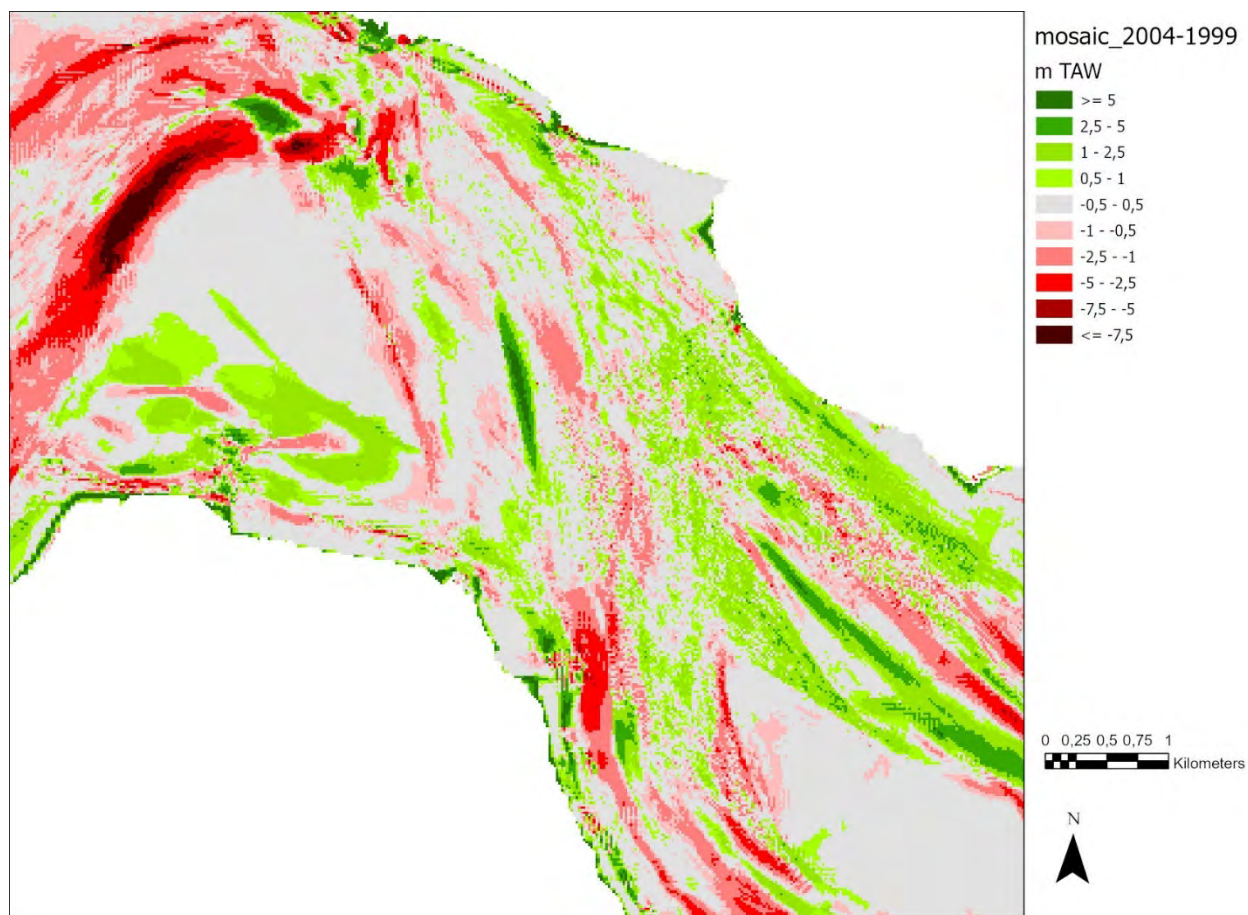
Stark, J., De Maerschallck, B., Plancke, Y. & Meire, D. (2022). Evaluatiemethodiek Sedimenttransportcapaciteit: deelrapport 1. Methodiek: Vol. 21_106_1 (Versie 3.0, WL Rapporten). Waterbouwkundig Laboratorium.

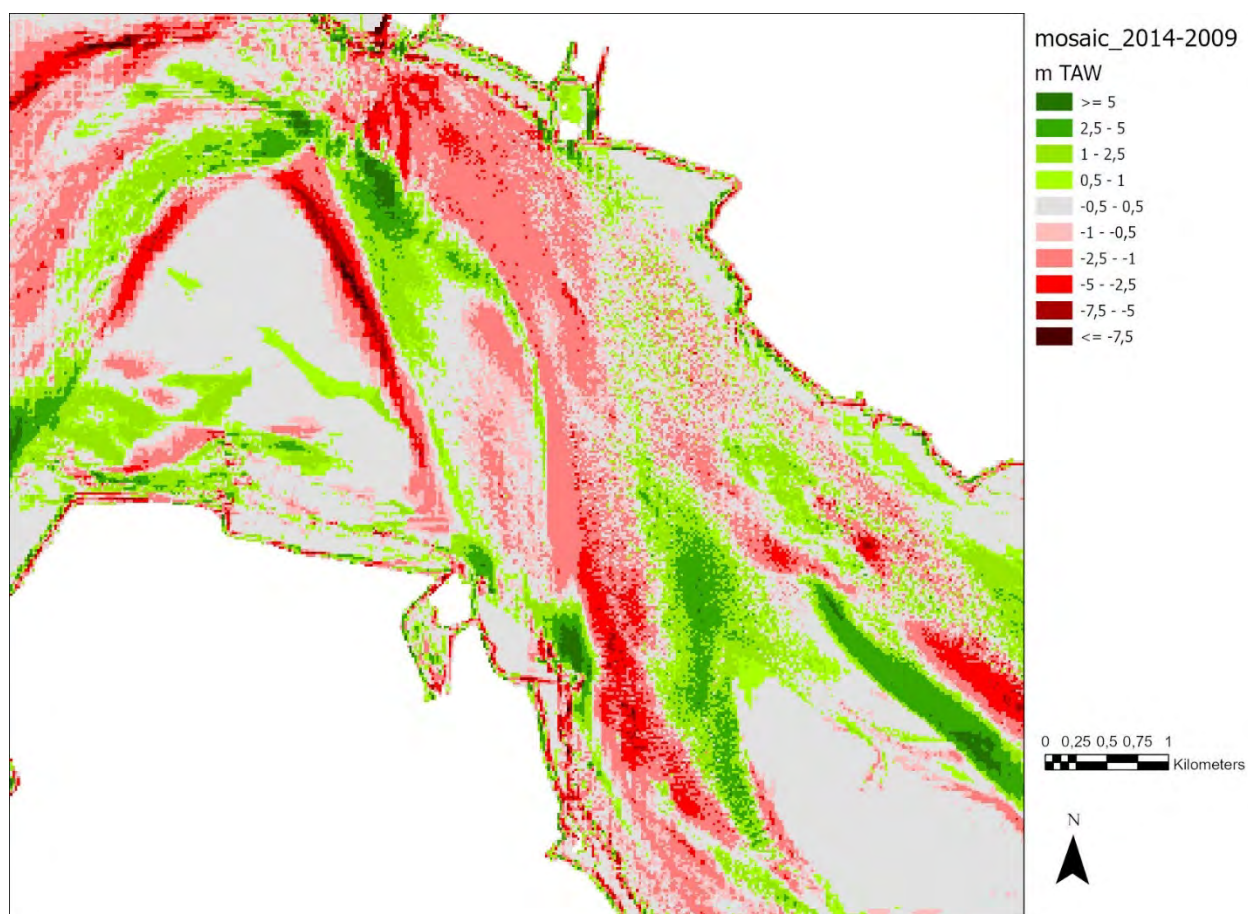
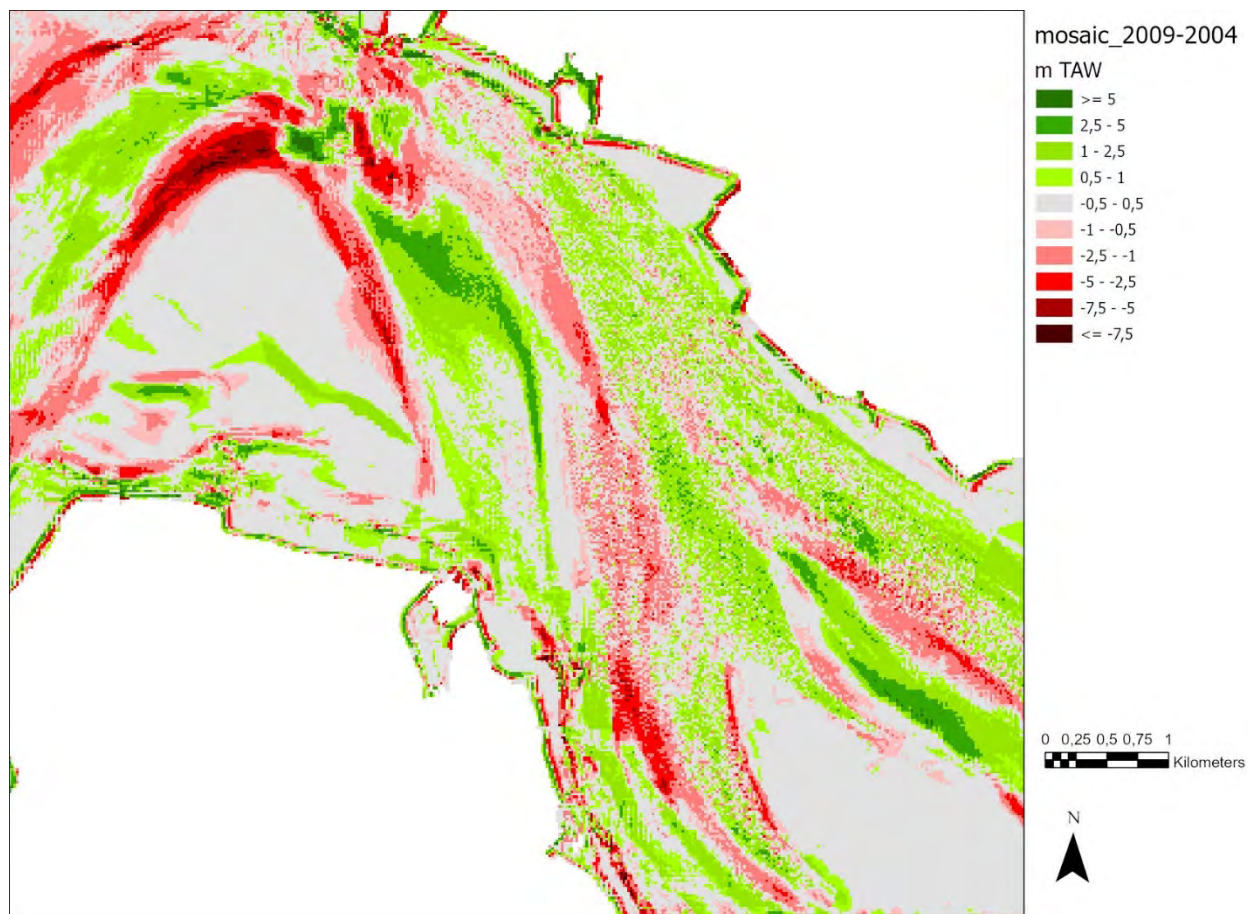
<https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=355580>

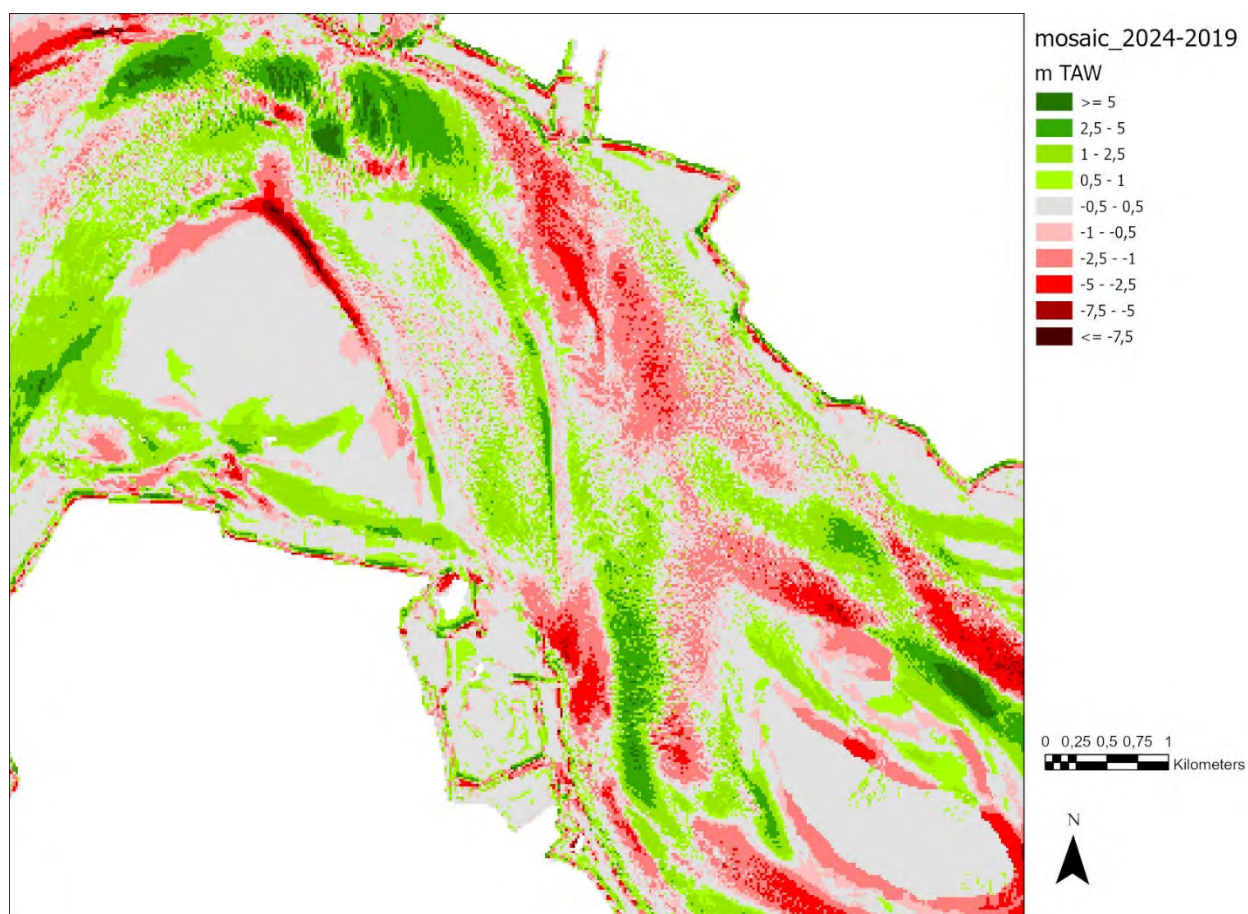
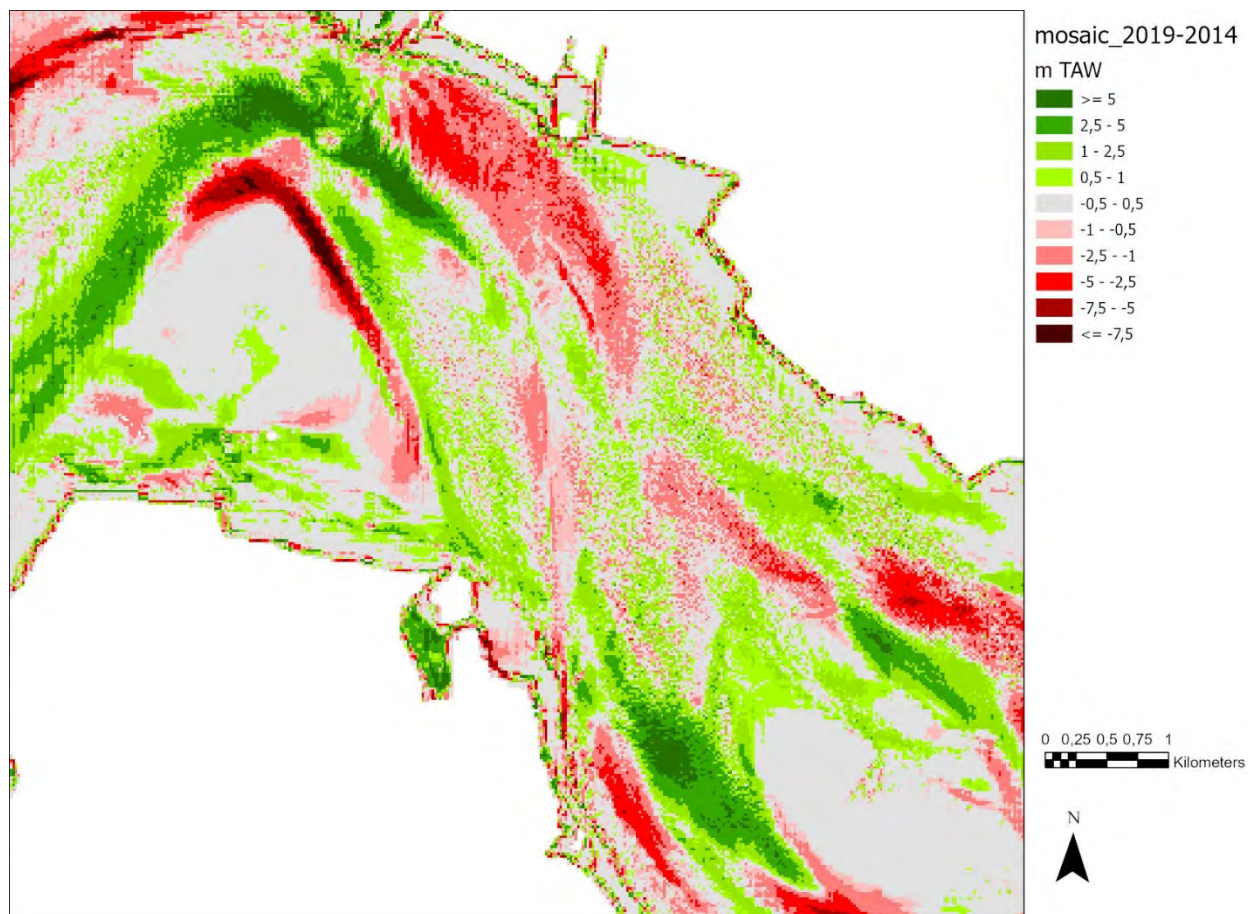
Vos, G., Wouters, K., Deleu, J., Meire, D., Plancke, Y., Verwaest, T. & Mostaert, F. (2017). Agenda voor de toekomst – Stroming en sedimenttransport op de mesoschaal in het Schelde-estuarium: deelrapport 1. Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van drempels: Vol. 14_024_1 (Versie 2.0, WL Rapporten). Antea Group.

Bijlage 1 Bathymetrische verschilkaarten

Deze bijlage toont de verschilkaarten van de opeenvolgende beschouwde jaartallen op basis van de GIS-rasters.



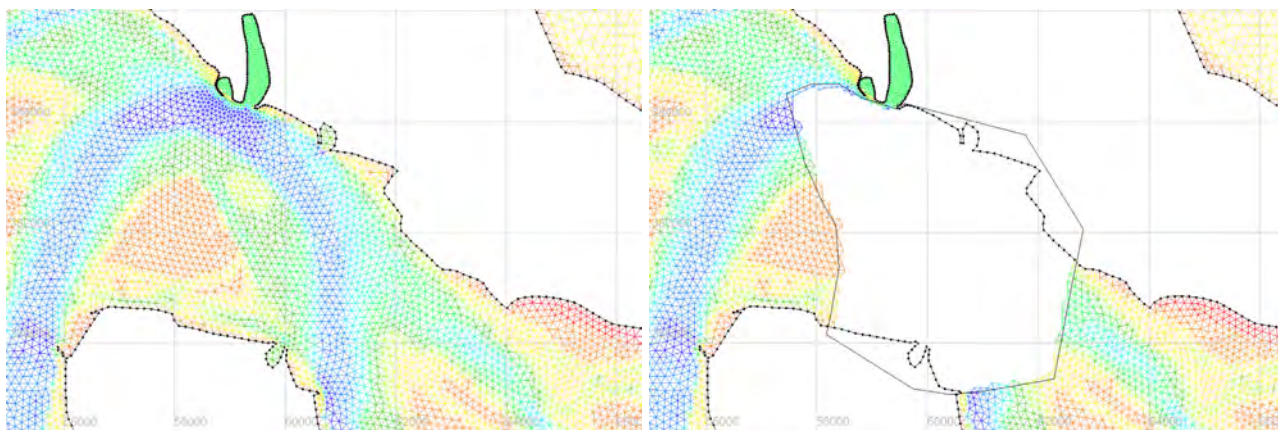




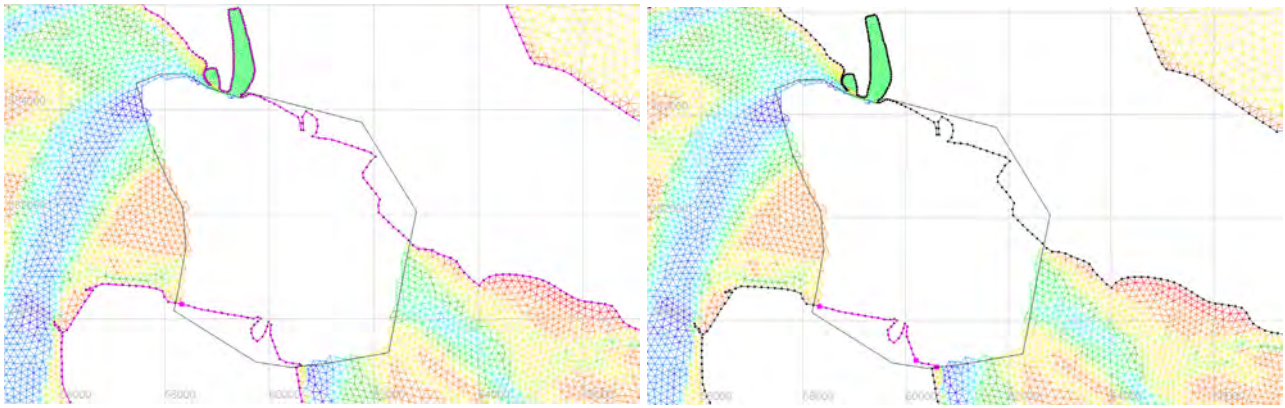
Bijlage 2 Methodiek verfijning rekenrooster

Om het originele rekenrooster van Scaldis-2019 te verfijnen, werden volgende stappen ondernomen in Blue Kenue:

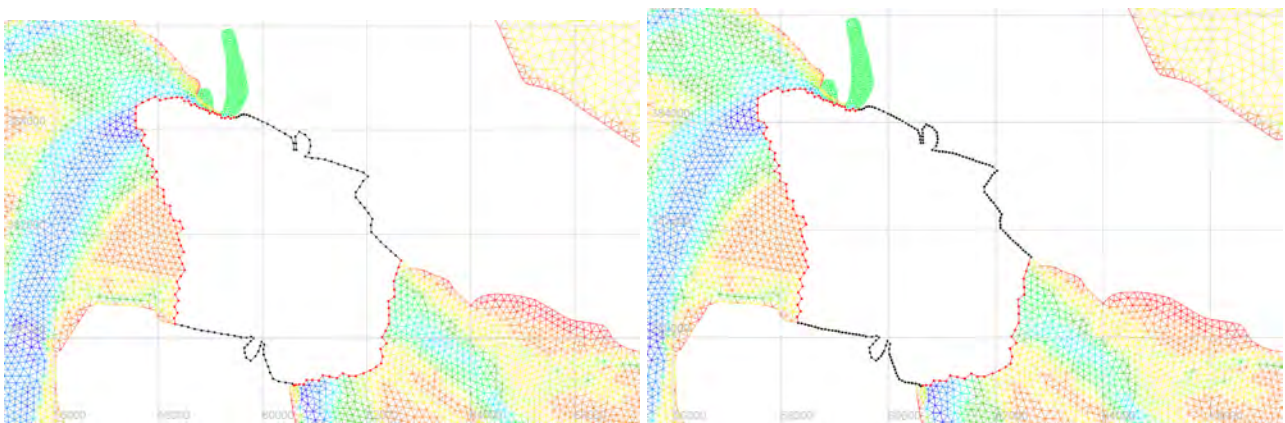
1. Laadt het originele modelrooster (*geo_v23_2019_n0022.slf*) in
File > Open... > "*geo_v23_2019_n0022.slf*"
2. Bepaal de originele modelranden
Select **"BOTTOM"** > **Tools > T3 Mesh > Extract Edges (Shorelines)**
3. Laadt de buitenste polygoon van het interessegebied (*Drempel Hansweert 0.i2s*) in
File > Open... > "*Drempel Hansweert 0.i2s*"
4. Met behulp van de buitenste polygoon van het interessegebied wordt het originele rekenrooster weggeknijpt.
Select **"BOTTOM"** > **Edit > T3 Mesh > Delete Elements in Polygon...** > "*Drempel Hansweert 0.i2s*"



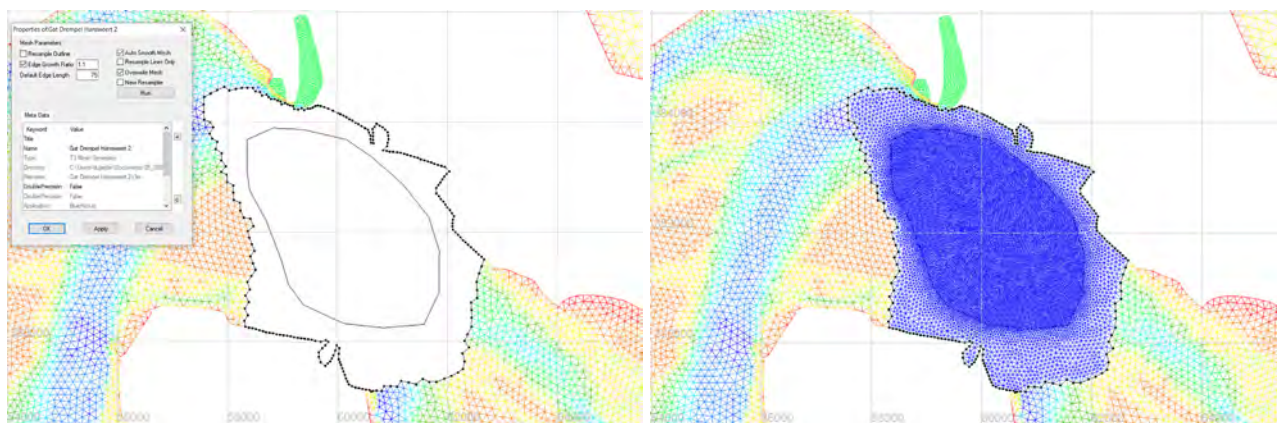
5. Sla het rooster met gat op als een apart mesh en laadt dit opnieuw in
Select **"BOTTOM"** > **File > Save Copy As ...** > "*geo_v23_hole.t3s*"
File > Open... > "*geo_v23_hole.t3s*"
6. Bepaal de randen van het mesh met het gat
Select **"geo_v23_hole"** > **Tools > T3 Mesh > Extract Edges (Shorelines)**
7. Van de oorspronkelijke modelranden worden enkel de linker- en rechteroever ter hoogte van het gecreëerde gat behouden (zwarte lijn en punten).
Select **"BOTTOM(Edges)"** > **Dubbel klik op een snijpunt van originele modelrand en het gecreëerde gat > rechtermuisknop > Split Selected Line;**
Herhaal voor het volgende snijpunt. Selecteer het gewenste lijnstuk (actief lijnstuk kleurt roze), sla op en laadt opnieuw in
File > Save Copy As ... > "*Drempel Hansweert LO.i2s*"
File > Open... > "*Drempel Hansweert LO.i2s*"
Herhaal bovenstaande stappen voor de rechteroever.



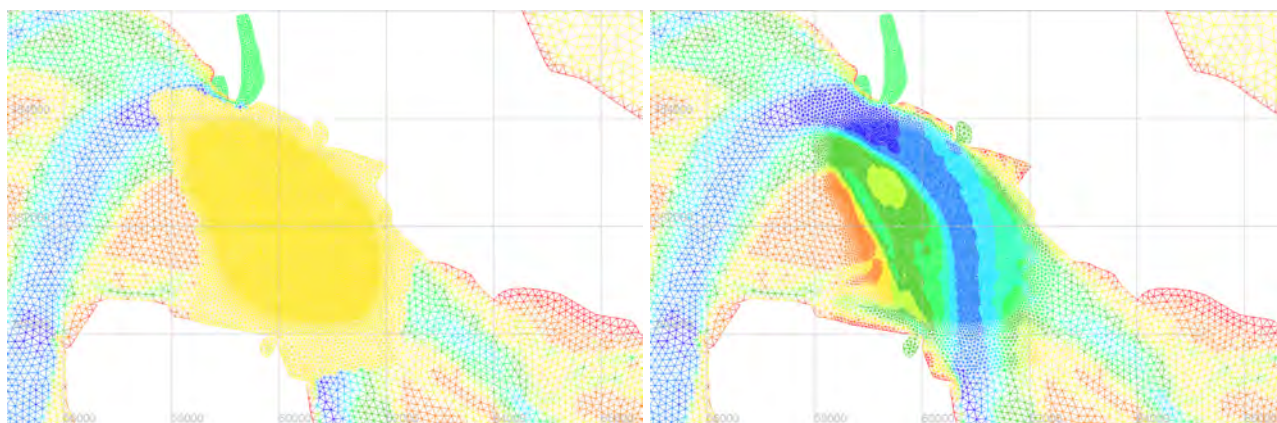
8. Van het mesh met het gat worden enkel de afwaartse en opwaartse randen aansluitend aan het gecreëerde gat behouden (rode lijn en punten). Herhaal de stappen beschreven in 7. om de juiste lijnstukken te bekomen.
9. Verfijn de resolutie van de linker- en rechteroever naar 75 m en sla de lijnstukken op
Select **"Drempel Hansweert LO"** > **Edit > Line Set > Resample...** >
Zet **Delta** op 75; Vink **"Create New LineSet"** aan; **New Name** **"Drempel Hansweert LO75"**



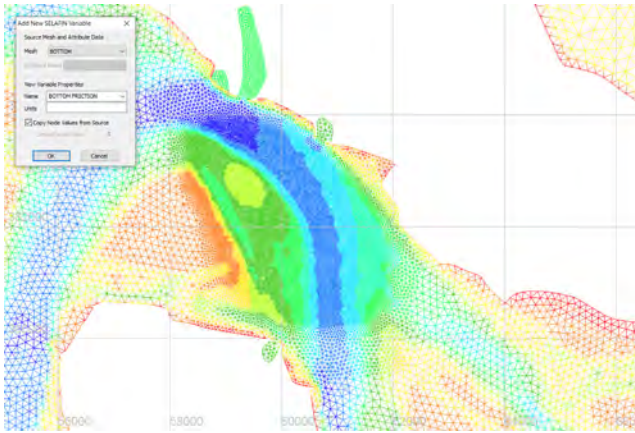
10. Gebruik een teksteditor om de bekomen lijnstukken tot één lijn te combineren. Let hierbij op dat enkel begin- en eindpunt hetzelfde zijn, zonder andere dubbele punten, en dat de punten een logisch verloop hebben (wijzerzin of tegenwijzerzin). Sla de file op als **"Drempel Hansweert Outline0.i2s"**, en laadt in de workspace van BlueKenue.
11. Laadt de binnenste polygoon van het interessegebied in; elk punt van deze lijn heeft waarde 30.
File > Open... > **"Drempel Hansweert 2.i2s"**
12. Creëer een mesh generator voor het gat
File > New > T3 Mesh Generator...
Sleep **Drempel Hansweert Outline0** naar **Outline**
Sleep **Drempel Hansweert 2** naar **Density**
In **Properties**: vink **Resample Outline** af, zet **Edge Growth Ratio** op 1.1, **Default Edge Length** 75,
Name Gat Drempel Hansweert
Klik op **Run**



13. Sla het fijnmazige mesh op en laadt dit opnieuw in
Select **"New Mesh (NodeType)"** > **File** > **Save Copy As ...** > **"Gat Hansweert.t3s"**
File > **Open...** > **"gat Hansweert.t3s"**
14. Voeg beide meshes samen, sla op als een nieuw mesh en laadt dit opnieuw in
Select **"geo_v23_hole"** > **Edit** > **T3 Mesh** > **Merge Mesh...** > **"gat Hansweert"**
Select **"geo_v23_hole"** > **File** > **Save Copy As...** > **"geo_v24_noBot.t3s"**
File > **Open** > **"geo_v24_noBot.t3s"**
15. Laadt het originele modelrooster opnieuw in
File > **Open...** > **"geo_v23_2019_n0022.slf"**
16. Interpoleer de originele modelbathymetrie op het nieuwe rooster en sla op
Select **"geo_v24_noBot.t3s"** > **Tools** > **Map Object...** > **BOTTOM**
Select **"geo_v24_noBot.t3s"** > **File** > **Save Copy As...** > **"geo_v24_BOTTOM.t3s"**



17. Creëer een nieuwe selafin file met het nieuwe verfijnde mesh
File > **New** > **SELAFIN Object ...**
In **Meta Data**, zet de **Name** **"geo_v24_2019_n0022"**
Sleep **"geo_v24_BOTTOM.t3s"** in het selafin object, en hernoem **"geo_v24_BOTTOM"** naar **"BOTTOM"**.
Select **"geo_v24_BOTTOM"** in **"geo_v24_2019_n0022"** > rechter muisknop > **Properties ...** > **Meta Data** > verander **Name** in **"BOTTOM"**.
18. Voeg de variabelen **BOTTOM FRICTION** en **INIT. SALINITY** toe aan de nieuwe selafin, en interpoleer de waarden uit **"geo_v23_2019_n0022.slf"** hierop.
Select **"geo_v24_2019_n0022"** > rechtermuisknop > **Add Variable ...** > **"BOTTOM FRICTION"**
Select **"BOTTOM FRICTION"** (in **"geo_v24_2019_n0022"**) > **Tools** > **Map Object...** > **"BOTTOM FRICTION"** (from **"geo_v23_2019_n0022.slf"**)
Herhaal bovenstaande stappen voor **INIT. SALINITY**



19. Sla de nieuwe selafin op

Select ***“geo_v24_2019_n0022”*** > **File > Save Copy As...** > ***“geo_v24_2019_n0022.slf”***



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be