



Vlaanderen
is wetenschap



21_070_1
WL rapporten

Scenario-onderzoek Masterplan Lillo

Hydrodynamische modelberekeningen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Scenario-onderzoek Masterplan Lillo

Hydrodynamische modelberekeningen

Stark, J.; De Maerschallck, B.

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 2021
D/2021/3241/294

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Stark, J.; De Maerschalck, B. (2021). Scenario-onderzoek Masterplan Lillo: Hydrodynamische modelberekeningen. Versie 2.0. WL Rapporten, 21_070_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	De Vlaamse Waterweg – Regio Centraal	Ref.:	WL2021R21_070_1
Trefwoorden (3-5):	Hydrodynamische modellering; Telemac; Masterplan Lillo		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Stark, J.
------------	-----------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Maerschalck, B.	Getekend door: Bart De Maerschalck (Sig) Getekend op: 2021-12-13 16:35:09 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschalck</i>
Projectleider:	Stark, J.	Getekend door: Jeroen Stark (Signature) Getekend op: 2021-12-13 15:57:00 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Stark</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2021-12-13 17:58:36 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



Abstract

De geplande aanleg van de nieuwe Sigmadijk te Lillo en het herstellen van de fortgracht in het kader van Masterplan Lillo betekenen dat er een alternatieve locatie voor de getijdenjachthaven van Lillo dient te worden gevonden. Dit rapport beschrijft een scenario-analyse voor de hydrodynamische invloed van twee alternatieve locaties voor deze getijdenjachthaven (i.e., westvariant en oostvariant). Voor beide varianten wordt met het door het Waterbouwkundig Laboratorium ontwikkelde Telemac-3D model Scaldis onderzocht wat de potentiële invloed is op stroomsnelheden in de Schelde in de directe omgeving van Fort Lillo en of er wijzigingen in sedimentatiesnelheden in de jachthaven en omliggende intergetijdengebieden verwacht worden. Het Scaldis modelrooster is voor deze modelstudie lokaal verfijnd in het studiegebied rondom Fort Lillo. De aanpassingen aan het modelrooster zijn dusdanig geïmplementeerd dat de geometrie van de huidige jachthaven en van beide alternatieven gevolgd wordt.

Op basis van de modelresultaten wordt enkel een kleinschalige impact van de nieuwe locatie van de jachthaven op de stroomsnelheden en bodemschuifspanningen in het studiegebied verwacht. De invloed van de westvariant is hierbij wel groter dan de invloed van de oostvariant. In de westvariant ontstaat namelijk een vrij grote luwe zone afwaarts van de nieuwe jachthaven, op het zuidelijk uiteinde van het Galgeschor. Er wordt geen invloed verwacht op de stroming in de hoofdgeul van de Schelde of bij de wachtsteigers voor de binnenvaart die net ten zuiden van Fort Lillo gelegen zijn. Tot slot duiden de modelresultaten niet op een te verwachten wijziging van de verticale ophogingssnelheid in de jachthaven in één van beide varianten.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Studiegebied	1
1.3 Varianten voor nieuwe jachthaven	2
1.4 Doelstelling	3
1.5 Leeswijzer	3
2 Modelbeschrijving	4
2.1 Modelsoftware	4
2.2 Modelrooster.....	5
2.2.1 Roosteraanpassingen	5
2.3 Bathymetrie	6
2.4 Randvoorwaarden	7
2.5 Overige modelinstellingen.....	9
2.6 Postprocessing en analyse.....	9
2.6.1 Analyse van aanpassingen aan rekenrooster	9
2.6.2 Scenario-analyse.....	9
3 Resultaten.....	11
3.1 Invloed stroomsnelheid.....	11
3.2 Inschatting verandering sedimentatie.....	15
4 Discussie en conclusies.....	18
Referenties	19
Bijlage A – Modelinstellingen	B1
Bijlage B – Effect aanpassingen rekenrooster	B2

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Representatie van het verticaal getij in Scaldis2019 op basis van BIAS, RMSE en RMSE0.....	4
Tabel 2 – Parameterinstellingen Scaldis2019 model.....	1
Tabel 3 – Vergelijking van de RMSE en RMAE van de gemodelleerde snelheden ten opzichte van de ADCP-metingen bij Liefkenshoek voor beide modelroosters.....	B4

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Luchtfoto van Fort Lillo aan de Beneden-Zeeschelde.	1
Figuur 2 – Huidige ligging van de jachthaven bij Fort Lillo (boven) en twee varianten voor nieuwe locatie jachthaven: west-variant (linksonder) en oost-variant (rechtsonder).	2
Figuur 3 – Een deel van het Scaldis modelrooster, bathymetrie in m NAP.....	5
Figuur 4 – Roosterresolutie van het Scaldis model in de Beneden-Zeeschelde tussen de grens en Antwerpen.	5
Figuur 5 – Detail van het originele (links) en het aangepaste modelrooster (rechts) ter hoogte van het studiegebied bij Lillo.....	6
Figuur 6 – Detail van model ter hoogte van het studiegebied bij Lillo voor de westvariant (links) en oostvariant (rechts).....	7
Figuur 7 – Getijverloop Vlissingen voor hele simulatieperiode.	8
Figuur 8 – Bovenafvoer voor hele simulatieperiode.	8
Figuur 9 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens maximale vloed, één uur voor hoogwater.	12
Figuur 10 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens hoogwater.	12
Figuur 11 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens eb, één uur na hoogwater.....	13
Figuur 12 – Maximum stroomsnelheden tijdens vloed in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).	13
Figuur 13 – Maximum stroomsnelheden tijdens eb in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).....	14
Figuur 14 – Gemodelleerd debiet en gemiddelde stroomsnelheid door transecten tussen de havendammen voor verschillende varianten van de jachthaven.....	14
Figuur 15 – Maximale bodemschuifspanning tijdens vloed in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).	16
Figuur 16 – Maximale bodemschuifspanning tijdens eb in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).	16
Figuur 17 – Overschrijdingsfrequentie $\tau_b > 0,1 \text{ Nm}^{-2}$ in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).....	17
Figuur 18 – Invloed rekenrooster op gemodelleerde waterstanden langs estuarium.	B2
Figuur 19 – Invloed rekenrooster op gemodelleerde hoogwaters langs estuarium.....	B3
Figuur 20 – Invloed rekenrooster op gemodelleerde laagwaters langs estuarium.	B3
Figuur 21 – Vergelijking tussen gemeten en met Scaldis2019 gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens eb.	B5

Figuur 22 – Vergelijking tussen gemeten en met het verfijnd model gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens eb.	B6
Figuur 23 – Vergelijking tussen gemeten en met Scaldis2019 gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens vloed.	B7
Figuur 24 – Vergelijking tussen gemeten en met het verfijnd model gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens vloed.	B8

1 Inleiding

1.1 Situering

De Vlaamse Waterweg wenst rond het Fort van Lillo (Figuur 1) een waterkering met aangepaste kruinhoogte aan te leggen in het kader van de uitvoering van het Geactualiseerd Sigmaplan dat de Vlaamse Regering in 2005 goedkeurde. Deze waterkering vormt een essentiële schakel in de bescherming van het havengebied aan de rechteroever van de Zeeschelde.

Het Masterplan Lillo, opgemaakt in opdracht van de stad Antwerpen in 2010, formuleert een toekomstvisie voor Lillo binnen de context van de grootschalige sigmawerken waarbij de karakteristieke kwaliteiten van het fort worden behouden en worden versterkt. In grote lijnen stelt het masterplan voor de omwalling te herstellen om zo het fort in ere te herstellen. De aanleg van de nieuwe Sigmadijk en het herstellen van de fortgracht betekenen dat de bestaande getijdenjachthaven van Lillo niet behouden kan worden. Om het maritieme karakter van Lillo en de bestaande jachtclub te continueren wordt een alternatieve locatie voor de jachthaven gezocht aansluitend aan Fort Lillo.

1.2 Studiegebied

Fort Lillo bevindt zich in de Beneden-Zeeschelde, midden in het havengebied van Antwerpen en in de directe omgeving van het Deurganckdok. In de huidige situatie bevindt de getijdenjachthaven van Lillo zich ten zuiden van het fort. Het fort wordt omgeven door waardevolle intergetijdengebieden. Ten noorden van Fort Lillo bevindt zich het Galgenschor, terwijl direct ten zuiden van Lillo in 2012 de potpolder werd ontpolderd en omgevormd tot een getijdennatuurgebied (i.e., intertidaal links in Figuur 1). Dankzij het instromende water ontwikkelen zich momenteel slikken en schorren in de voormalige potpolder. In de omgeving van Fort Lillo bevinden zich ook wachtsteigers voor binnenvaartschepen, zoals direct ten zuidwesten van de voormalige potpolder.



Figuur 1 – Luchtfoto van Fort Lillo aan de Beneden-Zeeschelde.

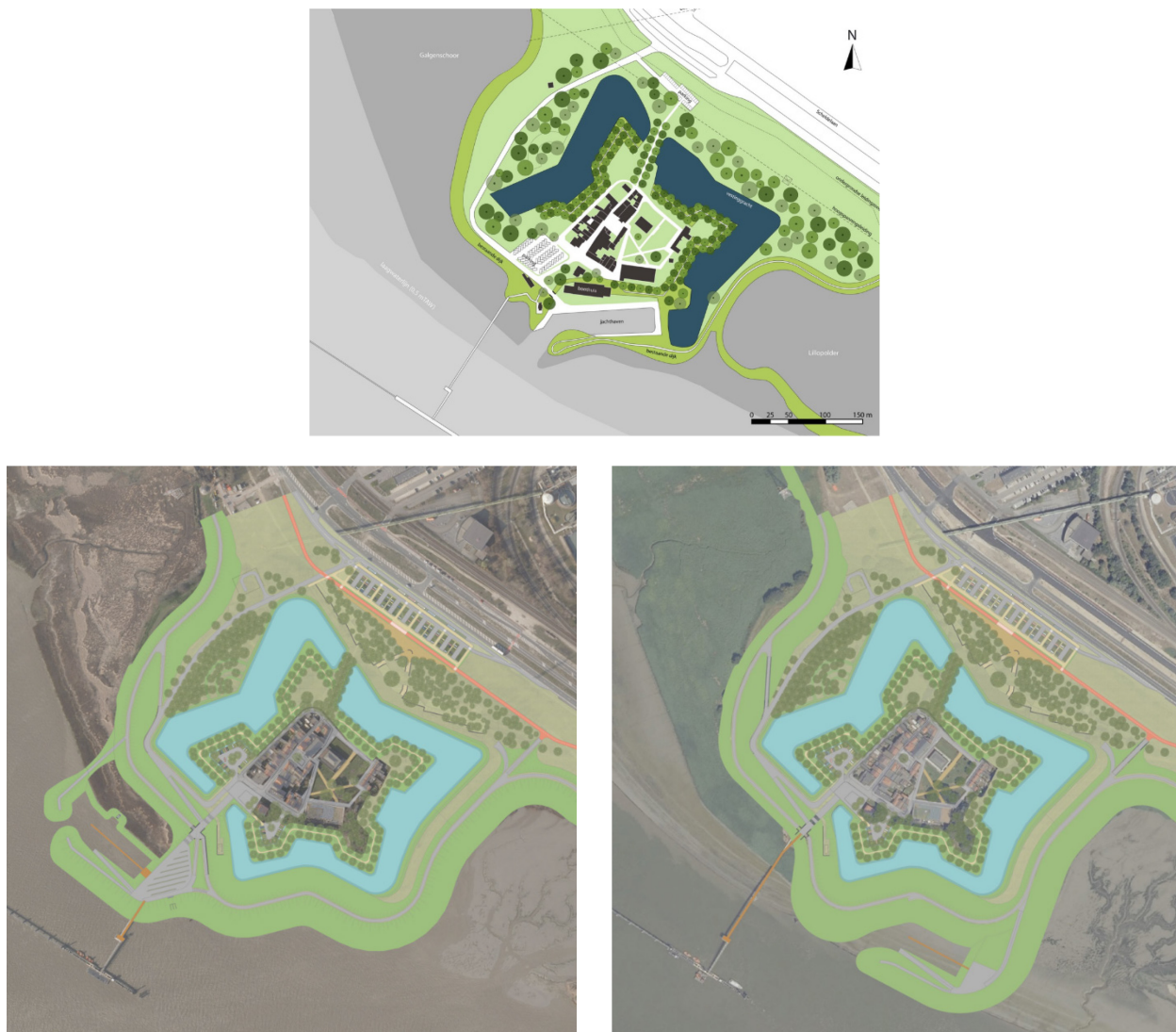
1.3 Varianten voor nieuwe jachthaven

In kader van het Masterplan Lillo, opgemaakt door Sweco (het toenmalige Grontmij) en Cluster Landscape in 2010, werd een eerste ontwerpend onderzoek gedaan naar mogelijke alternatieve locaties van de jachthaven.

In vervolgonderzoeken voor de optimalisatie van het ontwerp worden twee varianten voorgesteld voor de nieuwe locatie van de jachthaven: een westvariant en een oostvariant (Figuur 2).

In de westvariant bevindt de nieuwe jachthaven zich ten zuidwesten van de huidige dijk. De jachthaven situeert zich dan ter hoogte van het meest zuidelijke uiteinde van het huidige Galgenschor en steekt uit tot voorbij de huidige laagwaterlijn (i.e., overeenkomstig 0,5 m TAW).

In de oostvariant bevindt de nieuwe jachthaven zich ten zuidoosten van de huidige locatie van de jachthaven en daarmee ook iets meer richting de vaargeul. De oostvariant wordt voorlopig als voorkeursvariant beschouwd omdat er in dit ontwerp minder waardevol getijdennatuur verloren gaat.



Figuur 2 – Huidige ligging van de jachthaven bij Fort Lillo (boven) en twee varianten voor nieuwe locatie jachthaven: west-variant (linksonder) en oost-variant (rechtsonder).

1.4 Doelstelling

Voor beide varianten van de nieuwe jachthaven van Lillo dient modelmatig te worden onderzocht (1) wat de potentiële invloed is op stroomsnelheden in de Schelde en op de intergetijdengebieden in de directe omgeving van Fort Lillo en (2) of er wijzigingen in sedimentatiesnelheden in de jachthaven en omliggende intergetijdengebieden verwacht worden. Hiervoor zullen modelberekeningen worden uitgevoerd met het door het WL ontwikkelde Scaldis-model in Telemac-3D.

Een optimalisatie van het ontwerp van de jachthaven wordt in de huidige studie niet voorzien.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt ingedeeld: Hoofdstuk 2 bevat een omschrijving van het Scaldis model, de opzet van de modelsimulaties en van de implementatie van de jachthaven van Lillo in het model. In Hoofdstuk 3 worden de modelresultaten van de scenario-analyse weergegeven. Tot slot worden de belangrijkste conclusies in Hoofdstuk 4 opgesomd.

2 Modelbeschrijving

2.1 Modelsoftware

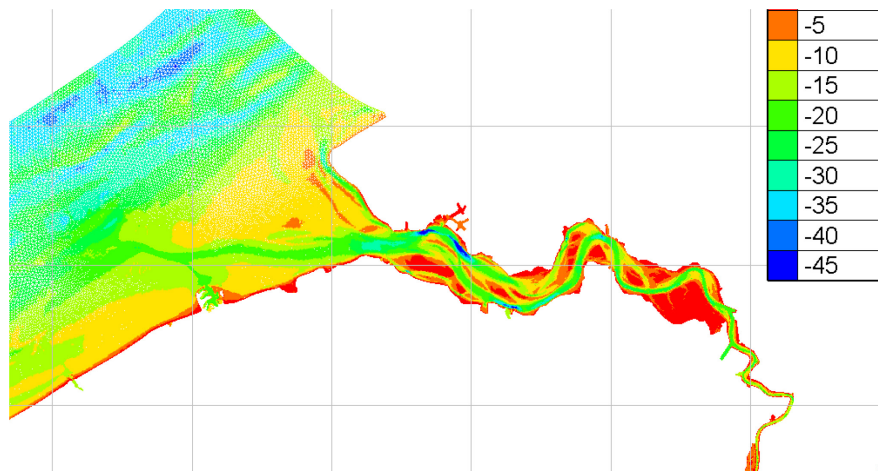
De studie wordt uitgevoerd met het Scaldis model in Telemac-3D, een state-of-the-art hydrodynamisch model van het Schelde-estuarium. Het Scaldis model werd door het Waterbouwkundig Laboratorium ontwikkeld in het kader van het project “*Integraal Plan Boven-Zeeschelde*” (Smolders *et al.*, 2016). Recent werd het Scaldis model opnieuw gekalibreerd en gevalideerd voor het jaar 2019 (Vanlede *et al.*, 2020b). Tabel 1 geeft een overzicht van de modelprestatie voor de representatie van het verticaal getij in het estuarium. Voor deze studie wordt gebruik gemaakt van de versie Scaldis2019.

Tabel 1 – Representatie van het verticaal getij in Scaldis2019 op basis van BIAS, RMSE en RMSEO (Vanlede *et al.*, 2020b).

Zones	Stations	Complete TimeSeries			High Water Level			Low Water Level		
		BIAS [cm]	RMSE [cm]	RMSEO [cm]	BIAS [cm]	RMSE [cm]	RMSEO [cm]	BIAS [cm]	RMSE [cm]	RMSEO [cm]
BCZ	Westhinder	-4.3	6.7	5.2	-4.2	6.6	5.2	-4.6	7.3	5.7
	Nieuwpoort	-1.6	6.5	6.3	-1.6	5.2	4.9	-4.5	7.4	5.9
	Oostende	-3.8	7.6	6.6	-3.5	6.2	5.1	-4.5	7.0	5.3
	Zeebrugge	0.6	6.8	6.7	-1.2	6.7	6.6	1.1	5.7	5.6
	[Average]	2.6	6.9	6.2	2.6	6.2	5.4	3.7	6.8	5.6
WES	Vlakte van de Raan	0.5	6.0	6.0	-3.1	7.0	6.3	-0.1	5.6	5.6
	Westkapelle	-0.7	7.2	7.1	-2.0	6.8	6.5	2.6	6.1	5.5
	Cadzand	4.1	9.5	8.5	-0.1	7.3	7.3	6.5	9.0	6.2
	Vlissingen	1.5	8.8	8.7	-6.6	10.2	7.7	5.8	8.4	6.0
	Breskens	4.0	11.2	10.5	-5.8	9.4	7.4	5.8	8.4	6.1
	Terneuzen	2.3	7.7	7.3	-2.0	7.4	7.1	4.6	7.6	6.0
	Overloop Hansweert	2.9	9.6	9.1	-1.4	6.8	6.6	4.4	7.9	6.5
	Hansweert	1.4	8.7	8.6	-1.8	7.6	7.4	3.2	6.8	6.0
	Walsoorden	0.2	9.4	9.4	-6.4	11.9	10.0	3.0	9.7	9.3
	Baalhoek	1.2	10.0	9.9	-4.2	10.4	9.6	3.1	7.1	6.4
	Bath	5.8	12.2	10.7	3.1	10.4	9.9	5.6	8.4	6.3
	[Average]	2.2	9.1	8.7	3.3	8.7	7.8	4.1	7.7	6.4
BeZS	Prosperpolder	8.6	12.7	9.3	6.8	11.7	9.5	7.8	9.9	6.1
	Liefkenshoek	2.4	9.4	9.1	3.5	10.7	10.1	0.9	6.1	6.1
	Kallo	8.2	12.6	9.6	9.7	14.2	10.3	7.1	9.4	6.2
	Antwerpen	2.8	9.9	9.4	6.4	12.0	10.2	0.4	6.3	6.3
	Hemiksem	3.7	10.6	9.9	5.2	11.2	9.9	-1.4	6.2	6.1
	[Average]	5.1	11.0	9.5	6.3	12.0	10.0	3.5	7.6	6.1
BoZS	Temse	-0.1	11.9	11.9	0.3	10.6	10.5	-14.6	15.6	5.5
	Tielrode	1.2	11.4	11.4	7.4	12.9	10.5	-12.1	13.5	5.9
	StAmands	2.0	11.6	11.5	7.8	14.4	12.1	-10.2	12.0	6.3
	Dendermonde	-4.7	16.8	16.1	3.6	14.1	13.6	-6.0	8.1	5.4
	Schoonaarde	0.3	13.3	13.3	8.6	14.5	11.7	-16.3	17.0	5.1
	Wetteren	-2.0	11.7	11.6	6.4	12.4	10.6	-16.2	16.9	5.0
	Melle	-4.2	14.9	14.3	11.6	14.9	9.4	-21.0	22.1	6.8
	[Average]	2.1	13.1	12.9	6.5	13.4	11.2	13.8	15.0	5.7
Overall		3.7	11.8	11.0	5.9	11.1	8.9	7.5	11.1	7.3

2.2 Modelrooster

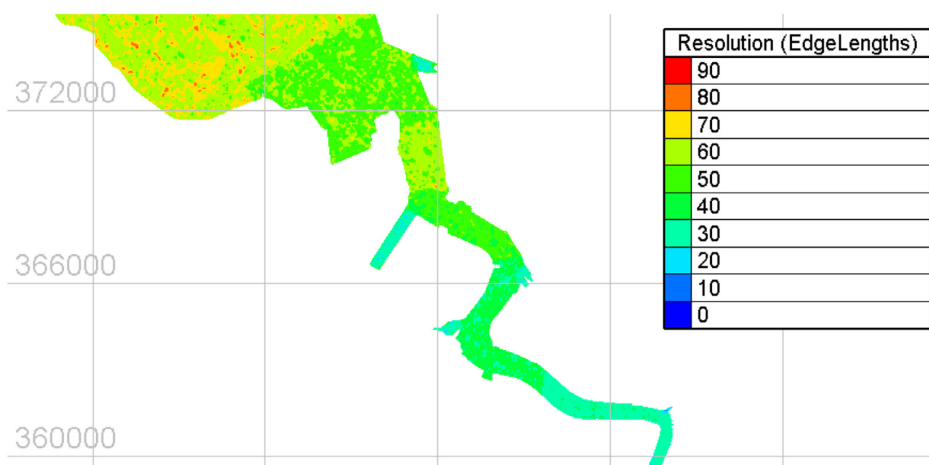
Het Scaldis modelrooster omvat het volledige Schelde-estuarium, inclusief getijgeboden zijrivieren en het mondingsgebied (Figuur 3). Bij de herkalibratie van het Scaldis model voor 2019 werd het modelrooster verder geoptimaliseerd. Het vernieuwde rooster volgt de stroomlijnen van de waterbeweging beter. Bovendien werd het rooster verfijnd in zones waar dat voor nautische simulatiestudies nodig was.



Figuur 3 – Een deel van het Scaldis modelrooster, bathymetrie in m NAP.

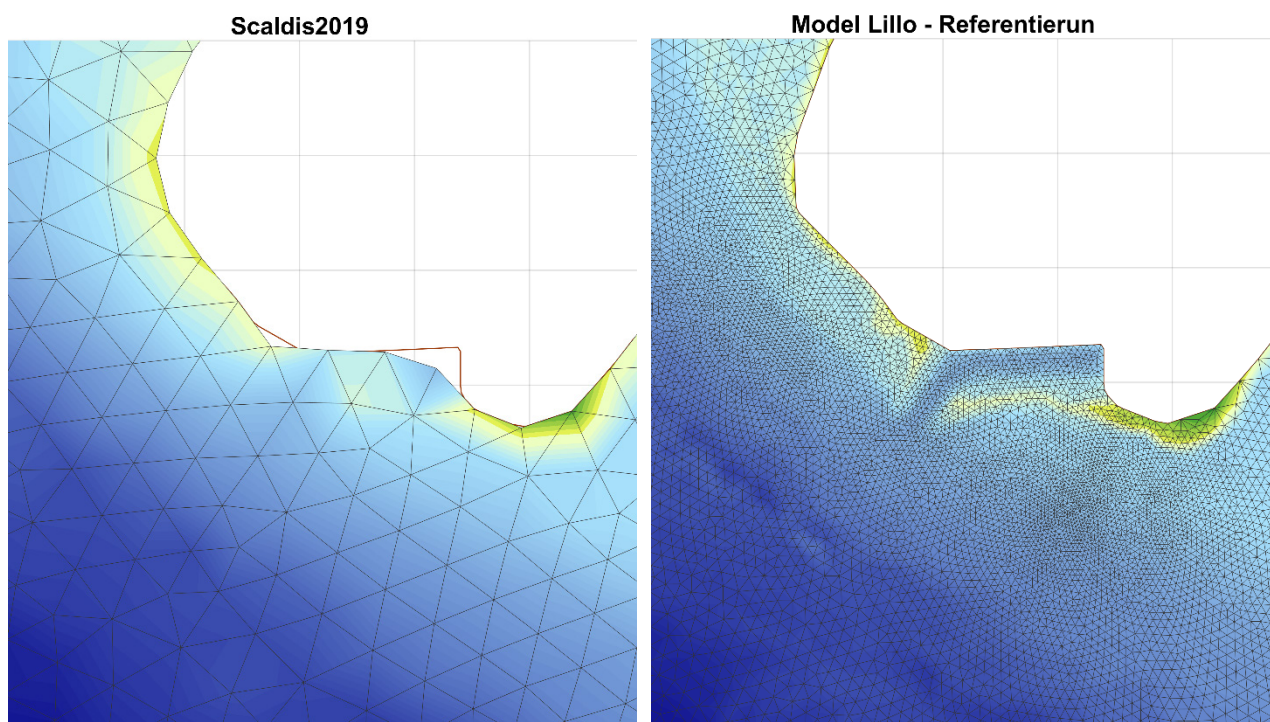
2.2.1 Roosteraanpassingen

Voor de modelschematisering van elk van de varianten voor de nieuwe jachthaven in Lillo moet de geometrie van het Scaldis modelrooster lokaal worden aangepast. De reguliere resolutie van het Scaldis rekenrooster bedraagt ongeveer 30 m in het studiegebied (Figuur 4). Het rekenrooster in de omgeving van Fort Lillo wordt daarom verfijnd om de jachthaven van Lillo adequaat te kunnen implementeren. Dit laatste geldt zowel voor de referentierun als voor de varianten.



Figuur 4 – Roosterresolutie van het Scaldis model in de Beneden-Zeeschelde tussen de grens en Antwerpen.

De verfijning van het rekenrooster is uitgevoerd met het softwarepakket BlueKenue. In de zone tussen Doel en Kallo werd het rooster vernieuwd en de buitenrand van het model aangepast ten behoeve van een betere representatie van de jachthaven Lillo. De roosterresolutie van het model is verfijnd tot ongeveer 5 m ter plaatse van de huidige en voorgestelde locatie van de jachthaven. De resolutie neemt dan gradueel af in opwaartse en afwaartse richting. Figuur 5 laat een detail van het verfijnde rekenrooster en van het originele rekenrooster zien ter hoogte van de jachthaven van Lillo. Bij het aanmaken van het verfijnd rekenrooster is rekening gehouden met de geometrie van de jachthaven. Zo volgt het aangepast modelrooster de kades van de huidige jachthaven, maar ook van de twee voorgestelde varianten.



Figuur 5 – Detail van het originele (links) en het aangepaste modelrooster (rechts) ter hoogte van het studiegebied bij Lillo.

2.3 Bathymetrie

Scaldis2019

Bij update van het Scaldis model voor 2019 werd bathymetrische data van het desbetreffende jaar geïmplementeerd voor het Schelde-estuarium. De data bestaat uit combigrids (i.e., een combinatie van LIDAR data en bathymetrische data) die door de afdeling Maritieme Toegang werden samengesteld. Deze dataset heeft een horizontale resolutie van 5 m.

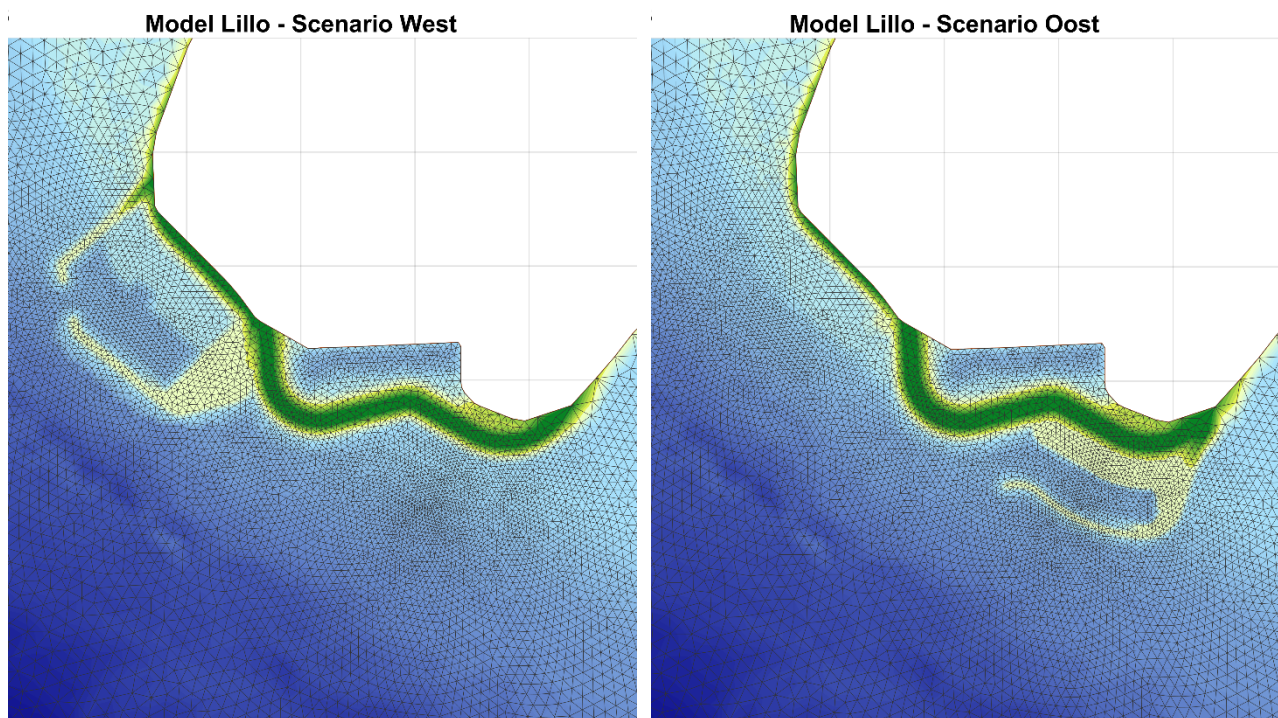
Toekomstige geometrische en bathymetrische wijzigingen in de nabijheid van het studiegebied, zoals de ontpoldering van de Hedwige-Prosperpolder of de realisatie van een nieuw getijdendok ter hoogte van Doel (i.e., Extra Containercapaciteit Antwerpen) zijn niet geïmplementeerd in de huidige modeloefening. Verwacht wordt dat zij maar een beperkte invloed zullen hebben in het studiegebied in vergelijking met lokale invloed op de stroming die de heraanleg van de jachthaven kan hebben.

Referentierun

In de referentierun, i.e. de huidige situatie, werd eveneens bathymetrische data uit 2019 geïmplementeerd op het verfijnde modelrooster. De LIDAR data die voor de intertidale en supratidale zones wordt gebruikt is afkomstig uit 2018. Ook de bodemligging in het jachthaventje zelf is gebaseerd op deze metingen en varieert langs de thalweg tussen -0,6 en -1,2 m TAW.

Implementatie varianten voor jachthaven

Op basis van bathymetrische data die is aangeleverd door de Vlaamse Waterweg is voor de twee varianten de alternatieve ligging van de jachthaven bij Lillo in het model geïmplementeerd. Figuur 6 toont het verfijnd modelrooster met de geïmplementeerde bathymetrie voor zowel de westvariant als de oostvariant. De gewijzigde bathymetrie omvat zowel het ontwerp van de jachthaventjes als van de nieuwe Sigma-dijk die ter hoogte van Fort Lillo zal worden aangelegd. De bodemligging in de jachthaventjes is voor beide varianten constant gesteld op een ontwerpdiepte van ongeveer -0,8 m NAP.



Figuur 6 – Detail van model ter hoogte van het studiegebied bij Lillo voor de westvariant (links) en oostvariant (rechts).

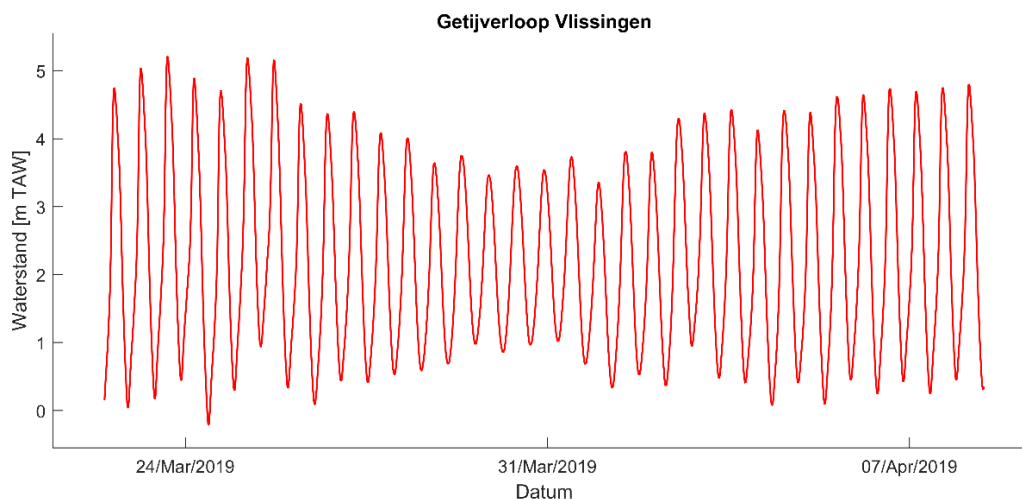
2.4 Randvoorwaarden

Simulatieperiode

De simulatieperiode loopt van 22/03/2019 tot 08/04/2019. Uiteindelijk worden de modelresultaten van het springtij van 05/04/2019 gebruikt voor de scenario-analyse van de invloed van de ligging van de jachthaven.

Afwaartse randvoorwaarden

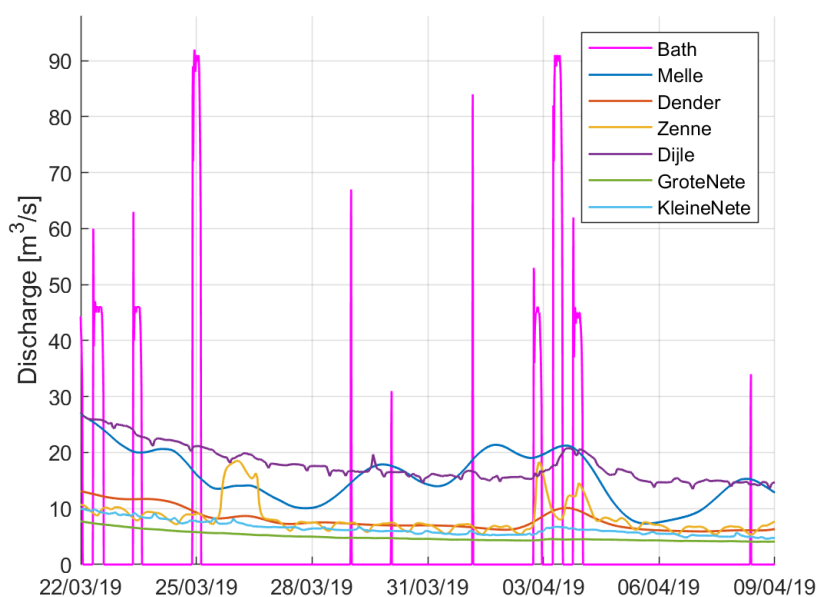
De afwaartse rand bevindt zich in de Noordzee (Figuur 3). De waterstands- en saliniteitsrandvoorwaarden voor de afwaartse rand worden verkregen door middel van nesting in de CSM-ZUNO modeltrein, een reeks van Noordzeemodellen waarmee o.a. waterstanden in de Belgische en Nederlandse kustzone kunnen worden gesimuleerd. Een beschrijving van deze modellen wordt gegeven door Chu *et al.*, (2020). Figuur 7 illustreert het opgelegd waterstandsverloop aan de afwaartse rand op basis van het gemeten waterstandsverloop in Vlissingen.



Figuur 7 – Getijverloop Vlissingen voor hele simulatieperiode.

Opwaartse randvoorwaarden

De opwaartse randen van de Kleine Nete, Grote Nete, Dijle, Dender, Melle, Zenne en het Spuikanaal van Bath worden geforceerd met een gemeten bovenafvoer voor de simulatieperiode. Enkel voor Terneuzen wordt een constante waarde van 37,78 m³/s toegepast. Figuur 8 toont het verloop van de opgelegde rivierafvoeren voor de simulatieperiode. Het betreft relatief gematigde afvoeren aan de bovenarmen.



Figuur 8 – Bovenafvoer voor hele simulatieperiode.

2.5 Overige modelinstellingen

Voor meer details over de modelopzet en de modelinstellingen, waaronder het bodemruwheidsveld en de initiële verdeling van saliniteit, wordt verwezen naar het kalibratie- en validatierapport door Vanlede *et al.*, (2020b).

Tabel 2 in Bijlage A – Modelinstellingen geeft een overzicht van enkele modelinstellingen en parameterwaarden voor het Scaldis2019 model. Deze waarden zijn, met uitzondering van de ruwheidsformulering, identiek aan de instellingen van het originele Scaldis2013 model (Smolders *et al.*, 2016).

2.6 Postprocessing en analyse

2.6.1 Analyse van aanpassingen aan rekenrooster

Voordat de scenario-analyse wordt uitgevoerd wordt eerst nagegaan wat de invloed is van de aanpassingen die zijn doorgevoerd in het rekenrooster op de algehele modelprestatie. Er zal een analyse gebeuren van de invloed op het waterstandsverloop langsheen het estuarium, alsmede van de invloed op de representatie van stroomsnelheden in de nabijheid van het studiegebied. Hiervoor wordt de modelprestatie getoetst aan de hand van ADCP-metingen ter hoogte van de raai Liefkenshoek. Beide analyses worden uitgevoerd met de door het WL ontwikkelde VIMM-toolbox in Matlab (Vanlede *et al.*, 2020a).

De resultaten van de vergelijking worden getoond in Bijlage B – Effect aanpassingen rekenrooster.

2.6.2 Scenario-analyse

Invloed op stroomsnelheden

De invloed van een nieuwe locatie van de jachthaven op de stroomsnelheden wordt geanalyseerd aan de hand van illustratieve stroombeelden (i.e., stromingspatronen voor springtij tijdens vloed, hoogwater en eb) en aan de hand van de invloed op de maximum vloedstroming en maximum ebstroming. De maximum stroomsnelheden worden bepaald op basis van het springtij van 05/04/2019. In deze analyse gaat aandacht uit naar de stroomsnelheden in de vaargeul, zoals ter hoogte van de wachstijgers in het studiegebied. Ook zal worden gekeken naar veranderingen in de maximale stroomsnelheden op de omliggende intergetijdengebieden zoals het Galgenschor en de voormalige potpolder Lillo.

In dit kader dient vermeldt te worden dat stroomsnelheden in zeer ondiepe zones en gebieden die droogvallen niet altijd adequaat worden gerepresenteerd in Telemac (i.e., onrealistische snelheidspieken rondom onderstroming en droogval). Om dergelijke onrealistische resultaten te vermijden wordt in de analyse enkel modeloutput gebruikt waarvoor geldt dat de waterdiepte $h > 0,01$ m.

Invloed op sedimentatiesnelheid

De potentiële invloed van de varianten op de sedimentatiesnelheid in de jachthaven en op de omliggende intergetijdengebieden wordt ingeschat op basis van gemodelleerde veranderingen in stromingspatronen en op basis van gemodelleerde veranderingen in bodemschuifspanningen. Hiervoor worden maximale bodemschuifspanningen tijdens eb en tijdens vloed geanalyseerd, alsmede de overschrijdingsfrequentie van een kritische bodemschuifspanning van $0,1 \text{ N/m}^2$. Bij dergelijk lage bodemschuifspanningen wordt geen omwoeling van sediment meer verwacht. Deze parameter geeft daardoor een indicatie van de meer dynamische en van de luwe zones in het studiegebied. De bodemschuifspanningen worden, evenals de stroomsnelheden, berekend voor het springtij van 04/05/2019.

De bodemschuifspanning wordt volgens de Nikuradse formulering als volgt berekend in Telemac:

$$\begin{cases} \tau = \rho u_*^2 \\ U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \\ z_0 = \frac{k_s}{30} \end{cases}$$

waarin τ de bodemschuifspanning is [N/m²]; ρ het soortelijk gewicht van water [kg/m³]; u_* de wrijvingsnelheid is [m/s]; κ de Von Karman's constante [-] of 0,4; z_0 is de ruwheidslengte [m] en k_s de Nikuradse equivalente ruwheidshoogte [m].

Ook voor de analyse van de bodemschuifspanning geldt dat enkel modelresultaten worden gebruikt waarvoor de waterdiepte $h > 0,01$ m.

3 Resultaten

3.1 Invloed stroomsnelheid

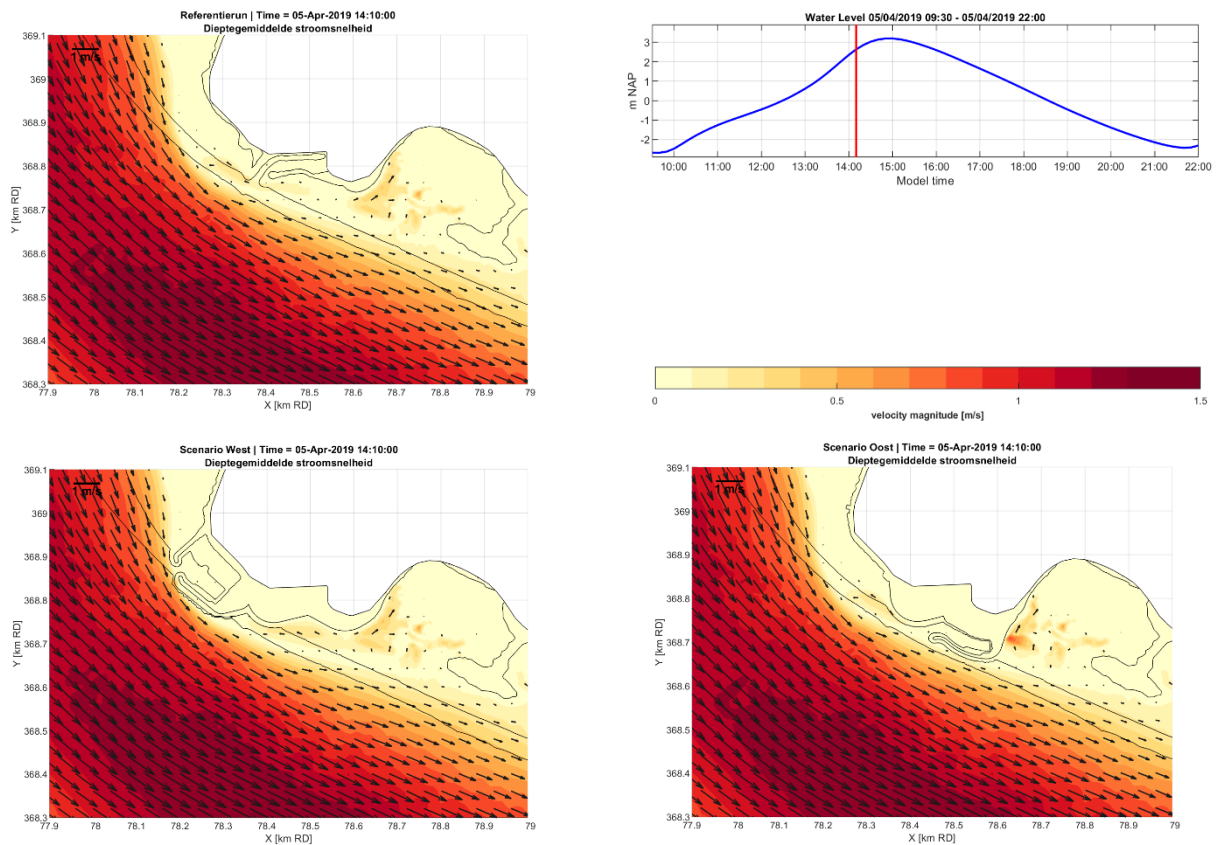
In Figuur 9, Figuur 10 en Figuur 11 worden voor de referentiesituatie en voor de twee varianten de gemodelleerde stroomvelden getoond tijdens respectievelijk vloed, hoogwater en eb. Deze stroombeelden laten een hoge maximum stroming in de vaargeul zien tijdens de vloedfase. Rond hoogwater is de stroming in de vaargeul nog steeds opwaarts gericht. Aan de rand van de voormalige potpolder Lillo is de stroomrichting op dat moment echter al omgekeerd in ebrichting. Dit leidt tot de vorming van een kleine neer, waarvan de locatie verschillend is tussen de modelscenario's. In de referentiesituatie situeert de neer zich tijdens hoogwater voor de ingang van de huidige jachthaven. In de westvariant vormt de neer zich juist opwaarts van de westelijker gelegen jachthaven, en daarmee aan de rand van de voormalige potpolder. In de oostvariant bevindt de neer zich tijdens hoogwater op min of meer dezelfde locatie als in de huidige situatie en daarmee juist iets verder afwaarts van de ingang van de oostelijk gelegen jachthaven. Kort na hoogwater is de kleine neer in alle simulaties weer verdwenen en vormt zich een ebstroming die het sterkst is aan de zijde van Fort Lillo en zwakker aan de zijde van Fort Liefkenshoek.

Voor de analyse van de invloed van de twee varianten voor de nieuwe jachthaven op de stromingspatronen zijn ook de verschillen in maximale stroomsnelheden in de omgeving van Fort Lillo bepaald tijdens de vloedfase (Figuur 12) en tijdens de ebfase (Figuur 13) van het springtij op 05/04/2019. Figuur 14 toont tot slot de in- en uitstroomdebieten en -snelheden tussen de havendammen voor de verschillende varianten.

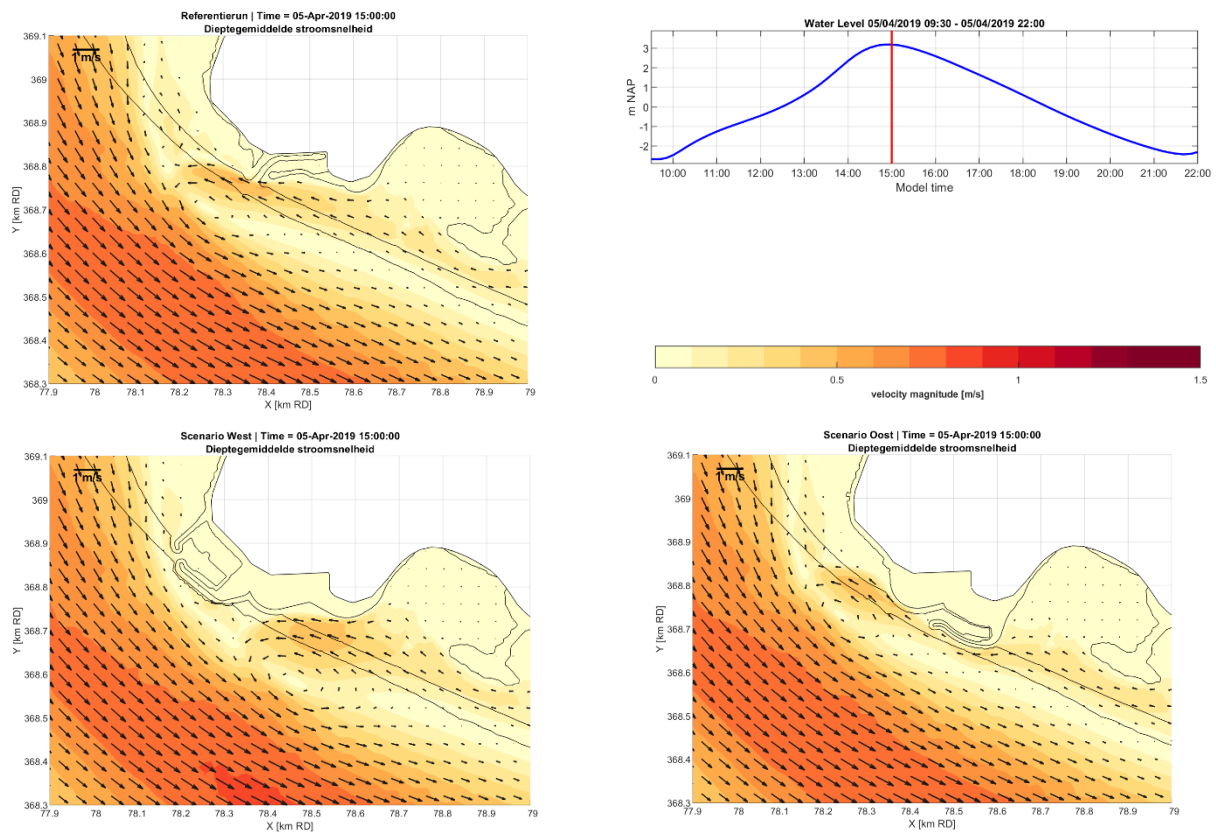
In beide varianten is logischerwijs sprake van een afname van de maximum stroomsnelheden ter plaats van de jachthavens zelf. Rondom de jachthavens vormen zich daarnaast luwe zones waar ook sprake is van een afname van de stroomsnelheden, evenals zones waar de maximum stroming juist toeneemt. De invloed van beide varianten op de stroomsnelheden blijft echter zeer lokaal. In de hoofdvaargeul van de Zeeschelde is geen sprake van een significante verandering van de stroomsnelheden. Dit laatste geldt ook voor de wachtsteiger voor de binnenvaart ten zuiden van de voormalige potpolder.

In de westvariant is sprake van een sterke vermindering van de ebstroom direct afwaarts van de nieuwe jachthaven (i.e., aan het meest zuidelijk uiteinde van het Galgeschor). In de vloedfase nemen de stroomsnelheden daar ook af, maar is er daarentegen wel sprake van een toename van de maximum stroomsnelheid aan de opwaartse kant van de nieuwe jachthaven (i.e., ter plaats van de voormalige potpolder). Ter hoogte van de ingang van de jachthaven wordt in de westvariant lokaal een verhoging van de stroomsnelheid tot 1,2 m/s tijdens de instroom gemodelleerd. Ook de maximale ebstroming neemt hier lokaal toe tot 0,8 m/s. Dergelijke snelheidspieken kunnen een indicatie zijn voor een lokale uitdieping van de geul tussen de havendammen. Echter worden de hoge snelheden enkel voor lage waterdieptes aan het begin van de instroom en aan het eind van de uitstroom gemodelleerd (Figuur 14). De snelheidspieken kunnen daarom ook gerelateerd zijn aan de beperkingen van het model om droogval en stroomsnelheden in zeer ondiepe gebieden correct te simuleren. Overigens mag worden verwacht dat dergelijke pieksnelheden na een eventuele vergroting van het doorstroomoppervlak tussen de havendammen weer zullen afnemen.

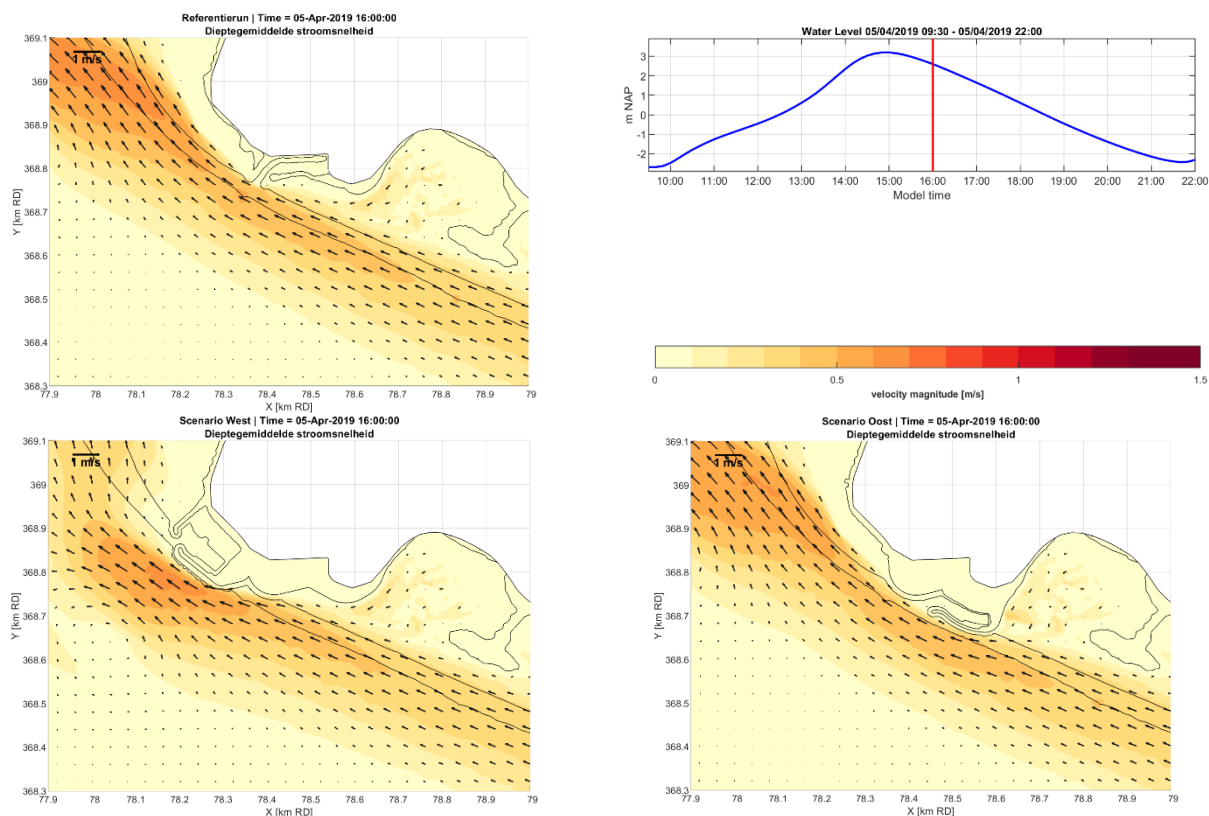
Bij de oostvariant is de invloed van de nieuwe jachthaven op de maximum stroomsnelheden nog lokaler dan in de westvariant. De maximum stroomsnelheden tijdens de vloedperiode nemen aan de kant van het Galgeschor lokaal iets toe. Dit is gerelateerd aan de locatie van de neer die zich rond hoogwater vormt. Deze neer bevindt zich iets verder afwaarts in de oostvariant (Figuur 10). Tijdens de ebfase wordt een kleine vermindering van de stroomsnelheid in de directe omgeving van de jachthaven gemodelleerd. In de voormalige potpolder Lillo is in de simulatie met de oostvariant sprake van enkele pieken in de gemodelleerde maximum stroomsnelheid. Ook deze pieken lijken gerelateerd te zijn aan de beperkingen van het numerieke model om de stroomsnelheden en droogval in zeer ondiepe gebieden correct te simuleren. Er wordt aan deze snelheidspieken daarom geen fysieke betekenis gegeven.



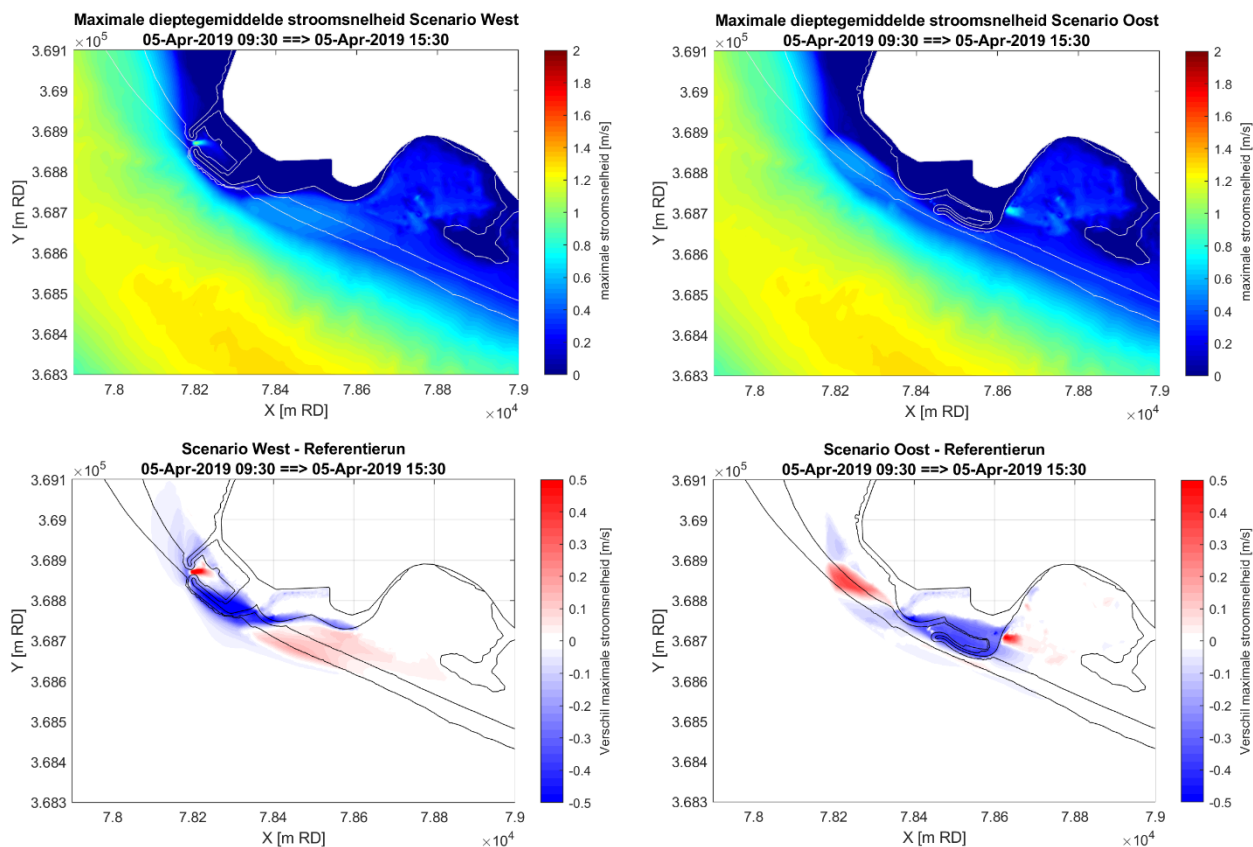
Figuur 9 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens maximale vloed, één uur voor hoogwater.



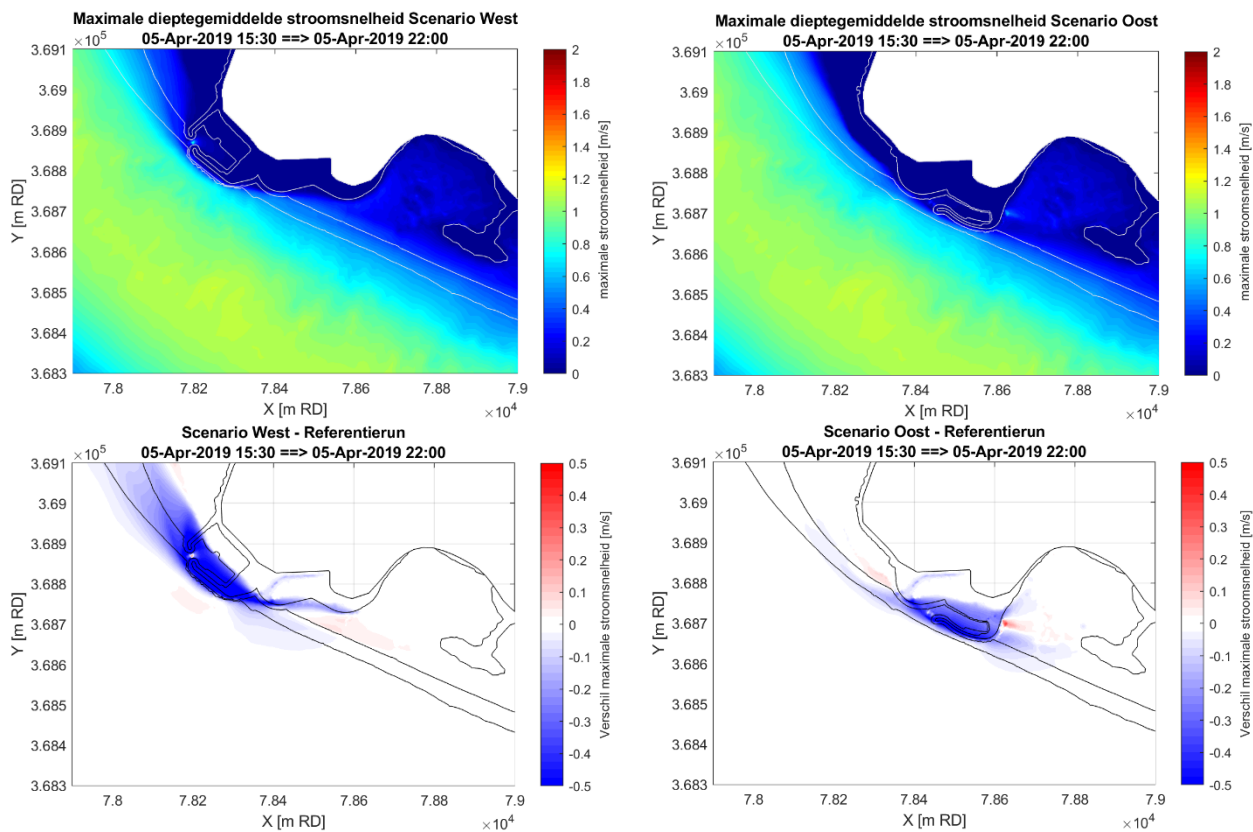
Figuur 10 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens hoogwater.



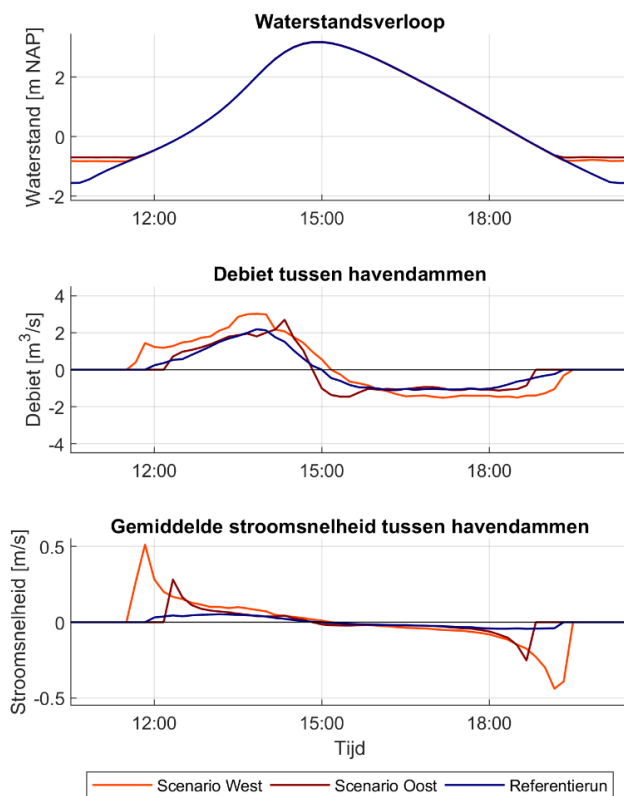
Figuur 11 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens eb, één uur na hoogwater.



Figuur 12 – Maximum stroomsnelheden tijdens vloed in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).



Figuur 13 – Maximum stroomsnelheden tijdens eb in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).



Figuur 14 – Gemodelleerd debiet en gemiddelde stroomsnelheid door transecten tussen de havendammen voor verschillende varianten van de jachthaven (positief = instroom / negatief = uitstroom).

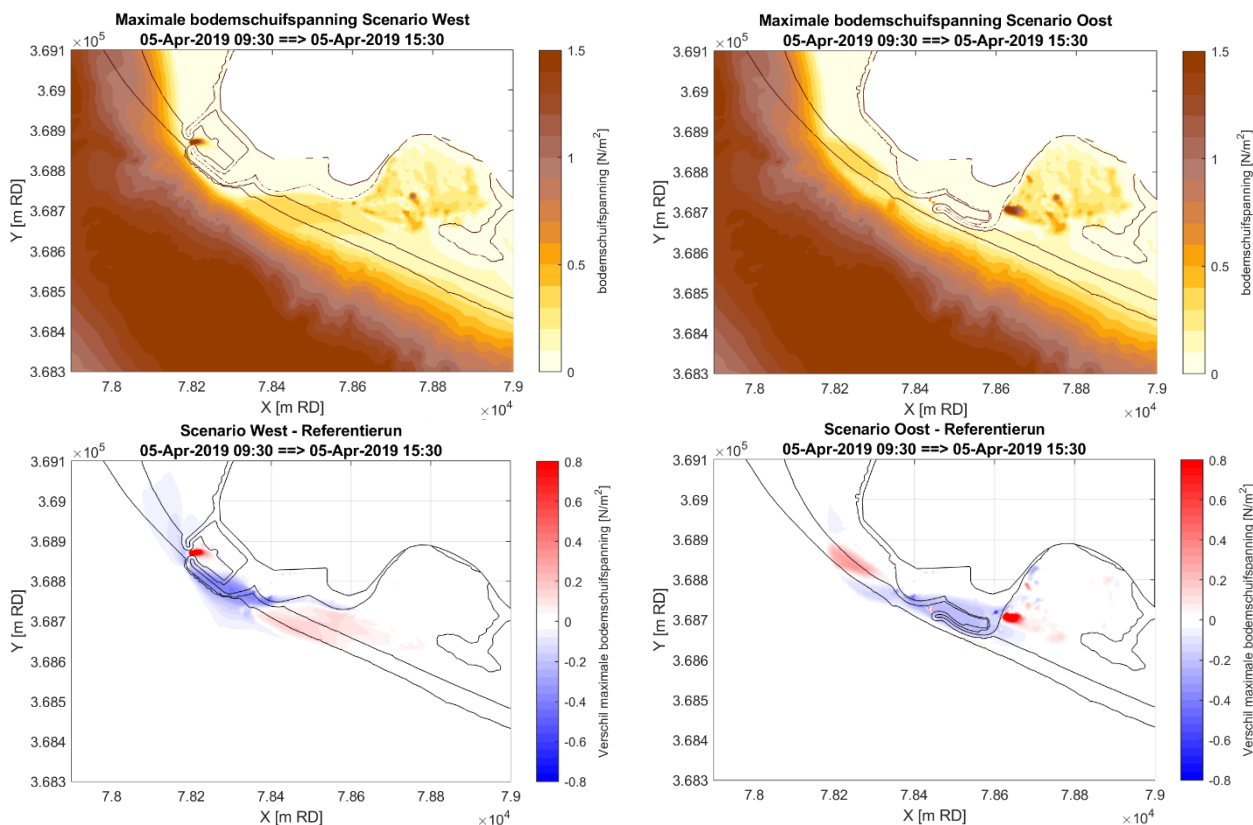
3.2 Inschatting verandering sedimentatie

Op basis van de hydrodynamische modelresultaten (stroomsnelheden en bodemschuifspanningen) wordt een analyse gemaakt van potentiële veranderingen in sedimentatiesnelheid in de (nieuwe) jachthaven en in de voormalige potpolder Lillo. Figuur 15 en Figuur 16 geven de invloed van de alternatieve locaties voor de jachthaven op de maximale bodemschuifspanningen gedurende respectievelijk de vloedfase en ebphase van het springtij op 05/04/2019 weer. In Figuur 17 wordt daarnaast de overschrijdingsfrequentie van een kritische bodemschuifspanning van $\tau_b > 0,1 \text{ Nm}^{-2}$ weergegeven over de gehele getijcyclus. Een toename in deze overschrijdingsfrequentie kan een indicatie zijn voor een toenemende erodeerbaarheid van het sediment op de bodem en daarmee een afname van de ophogingssnelheid van de schorren of van de sedimentatiesnelheid in de jachthaventjes.

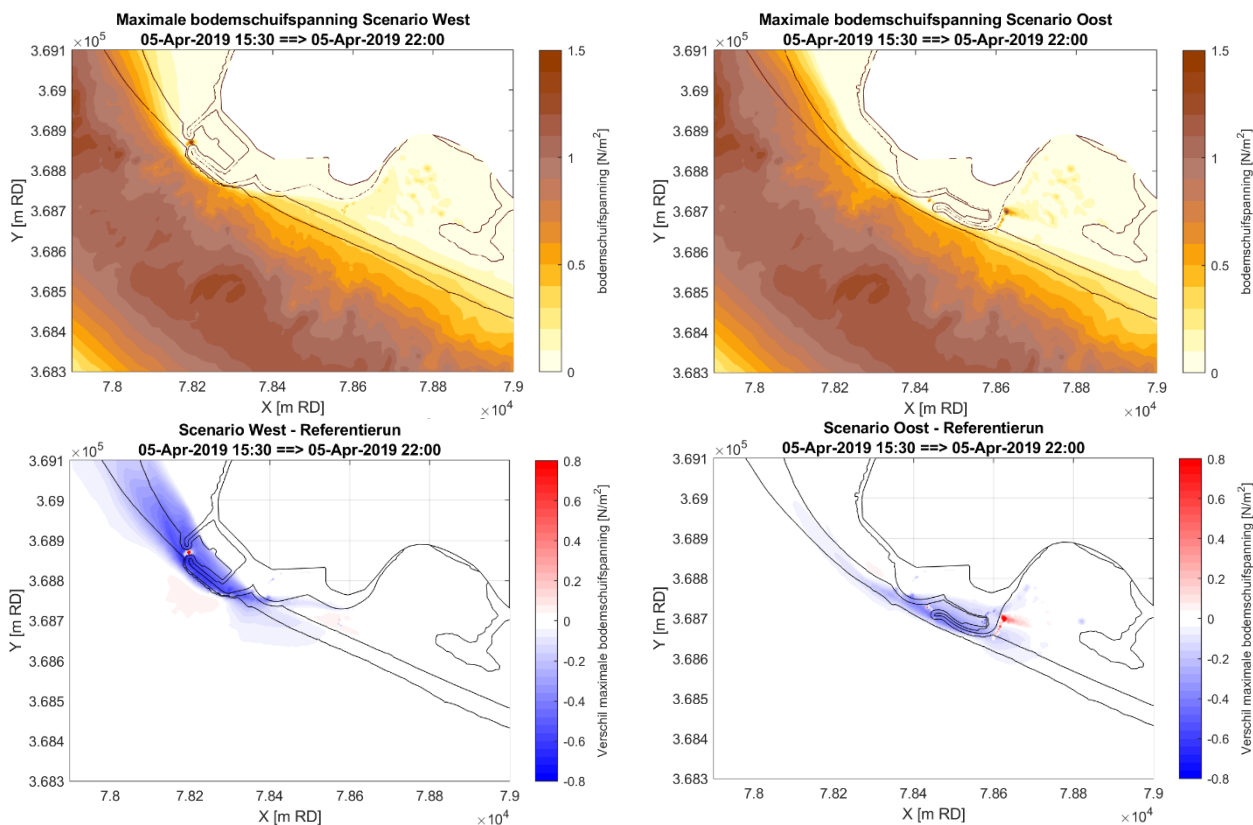
Uiteraard neemt de maximale bodemschuifspanning in beide varianten af in het gebied dat de jachthaven zelf bestrijkt. Daarnaast is tijdens de vloedfase met name in de westvariant sprake van een toename van de maximale bodemschuifspanning aan de westelijke rand van de voormalige potpolder, mogelijk leidend tot de vorming van grotere geultjes of een lokale afname van de ophogingssnelheid van de voormalige potpolder. Het gebied dat wordt beïnvloedt blijft beperkt tot het westelijk deel van de voormalige potpolder. Ter hoogte van het broedeiland wordt geen invloed van de nieuwe jachthaven verwacht. In de oostvariant neemt de bodemschuifspanning juist iets toe aan de afwaartse kant (i.e., kant van het Galgeschor). Deze effecten blijven overigens beperkt tot zeer lokale zones van <1 ha. In de ebphase nemen de maximale bodemschuifspanningen rondom de jachthaven af voor beide varianten. Met name in de westvariant is sprake van een vrij sterke afname van de maximale bodemschuifspanning op het zuidelijk uiteinde van het Galgeschor. Hier vormt zich in de westvariant een wat grotere luwe zone van enkele honderden meters waar een toename in ophogingssnelheid van het schor verwacht kan worden. In de oostvariant zijn de effecten wederom beperkter en nog meer lokaal.

De overschrijdingskans van $\tau_b > 0,1 \text{ Nm}^{-2}$ verandert nauwelijks in het studiegebied. Enkel in de jachthaventjes zelf neemt deze als vanzelfsprekend af tot waarden dichtbij 0%. Bij deze lage waarden kan geconcludeerd worden dat alle sediment dat binnenstroomt en bezinkt in de jachthaventjes daar niet meer zal eroderen. Dit is ook het geval in de referentierun. Op basis van de modelresultaten kan dus gesteld worden dat er geen wijziging in verticale ophogingssnelheid wordt verwacht. Desalniettemin wordt de totale sedimentatie in de westvariant hoger ingeschat vanwege het grotere oppervlakte van de jachthaven in deze variant ten opzichte van de oostvariant (i.e., ~6000 m² in de westvariant om ~5000 m² in de oostvariant en ~4000 m² in de huidige situatie).

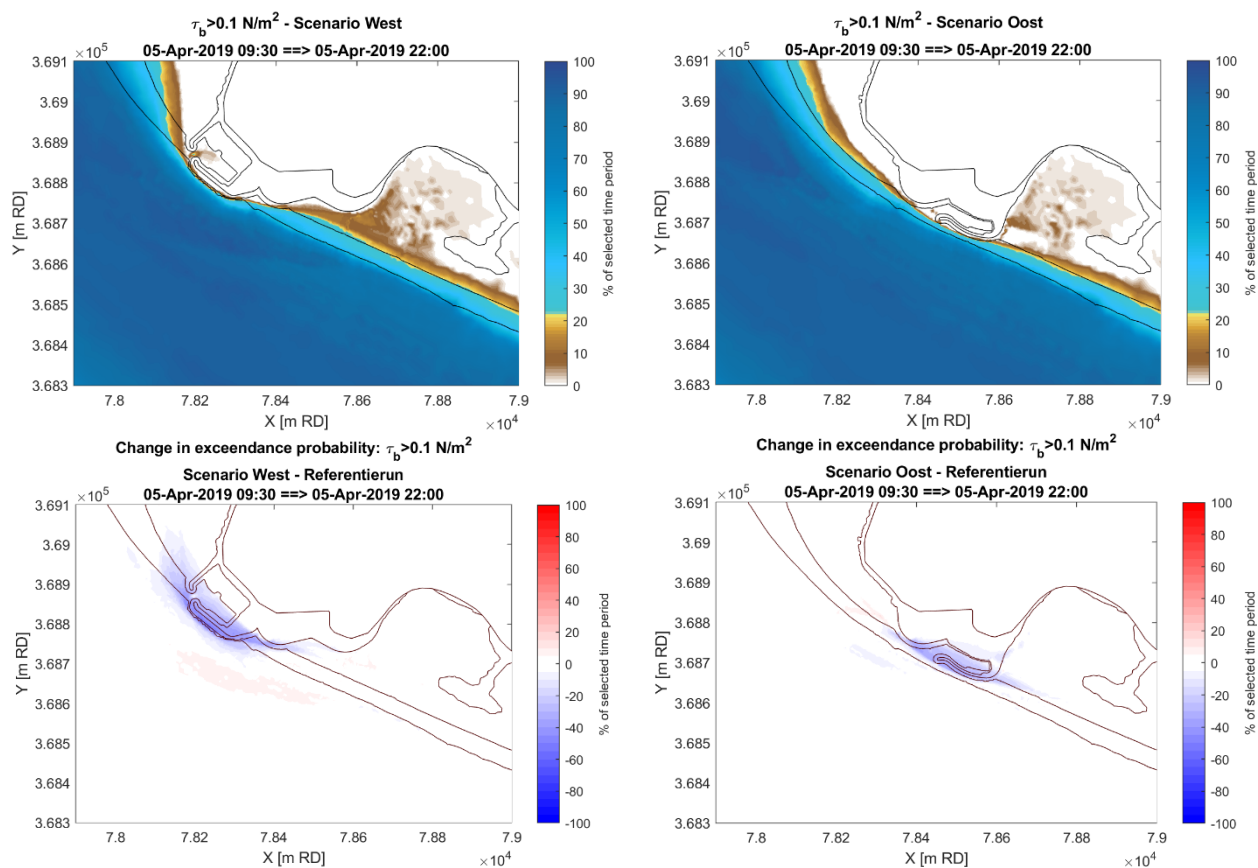
Een lokale zone tussen de havendammen van de jachthaven in de westelijke variant vormt een uitzondering waar de bodemschuifspanningen en stroomsnelheden lokaal juist sterk toenemen, mogelijk leidend tot uitdieping van doorgang tussen de havendammen. Deze hoge waarden kunnen echter ook gerelateerd zijn aan de beperkingen van het numerieke model om de stroomsnelheden en droogval in zeer ondiepe gebieden correct te simuleren (zie: Figuur 14).



Figuur 15 – Maximale bodemschuifspanning tijdens vloed in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).



Figuur 16 – Maximale bodemschuifspanning tijdens eb in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder).



Figuur 17 – Overschrijdingsfrequentie $\tau_b > 0,1 \text{ Nm}^{-2}$ in westvariant (rechts), oostvariant (links), en verschil met referentie (onder)..

4 Discussie en conclusies

In dit rapport werd een scenario-analyse gepresenteerd over de hydrodynamische invloed van twee alternatieve locaties voor de nieuwe jachthaven van Lillo (i.e., westvariant en oostvariant; zie Figuur 2), die in het kader van de realisatie van het Sigmaplan verplaatst moet worden.

Er is gebruik gemaakt van het door het Waterbouwkundig Laboratorium ontwikkelde Scaldis model in Telemac-3D, versie Scaldis 2019. Voor dit model werd in het kader van het huidige scenario-onderzoek een nieuw modelrooster aangemaakt met een verfijning in het studiegebied rondom Fort Lillo. Vervolgens werden modelscenario's opgezet waarin de geometrie en bathymetrie voor beide varianten van de nieuwe jachthaven werden geïmplementeerd. Een vergelijking met het reguliere Scaldis2019 model laat zien dat het verfijnd model een gelijkaardige representatie geeft van het verticaal getij in het estuarium en van de verdeling van de stroomsnelheden in de vaargeul nabij Fort Lillo. Het model kon momenteel niet worden gevalideerd voor de stroomsnelheden in de jachthaven zelf of voor de stromingspatronen in de directe nabijheid van de jachthaven wegens het ontbreken van meetdata.

De modelresultaten voor beide varianten laten ten opzichte van de referentiesituatie (i.e., huidige situatie) nagenoeg alleen kleinschalige effecten zien voor de stroomsnelheden en stromingspatronen. Er wordt op basis van de modelresultaten geen invloed verwacht van de nieuwe locatie van de jachthaven op de stroming in de hoofdgeul van de Schelde of bij de wachtsteigers voor de binnenvaart die ten zuiden van Fort Lillo gelegen zijn.

De invloed van de westvariant op de maximale stroomsnelheden en bodemschuifspanningen is grootschaliger dan de invloed van de oostvariant. In de westvariant nemen de stroomsnelheden af in een vrij grote zone afwaarts van de nieuwe jachthaven. Daardoor vormt zich op het zuidelijk uiteinde van het Galgeschor een luwe(re) zone waar een versnelling van de ophoging van het schor kan optreden. Daarentegen nemen de stroomsnelheden lokaal juist iets toe aan de kant van de voormalige potpolder. Die toename kan worden toegeschreven aan een kleine toename in sterkte van de neer die rond hoogwater, als gevolg van tegengestelde stroomrichtingen in de vaargeul en langs de oever, vormt in de omgeving van de jachthaven.

De impact van de oostvariant op de maximale stroomsnelheden is omgekeerd (i.e., toename aan de kant van het Galgeschor en afname aan de kant van de potpolder). Het gebied dat in de oostvariant van de nieuwe jachthaven wordt beïnvloedt is echter zeer beperkt.

De modelsimulaties laten geen wijziging in stroomsnelheden zien in de jachthaventjes zelf. Deze zijn in zowel de huidige situatie als de twee varianten zeer laag waardoor alle sediment dat in de jachthaventjes bezinkt daar zal accumuleren. Op basis van de modelresultaten wordt daarom geen wijziging in verticale ophogingssnelheid in de jachthaven verwacht in één van beide varianten. Omwille van het verschil in oppervlakte van de jachthaventjes tussen beide varianten wordt wel een groter totaal sedimentatievolume verwacht in de westvariant. Overigens is de sedimentatiesnelheid in de jachthaven afhankelijk van de lokale sedimentconcentratie in de Schelde. Als deze in de toekomst wijzigt, dan heeft dat direct invloed op de sedimentatie in de jachthaven en op de ophogingssnelheid van de omliggende intergetijdengebieden. Gelet op de beperking van het numeriek model in intertidale zones zou met behulp van baggergegevens en/of peilingen een kwantitatieve inschatting van de potentiële verandering in sedimentatiesnelheid gemaakt kunnen worden.

Referenties

Chu, K.; Vanlede, J.; Decrop, B.; Mostaert, F. (2020). Validation of North Sea models: sub report 1. Validation and sensitivity analysis. Version 3.0. *FHR reports*, 19_058_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=325253>

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

Vanlede, J.; Chu, K.; Fonias, E. (2020a). Introducing the VIMM toolbox for the (re)calibration of the SCALDIS model, *in*: (2020a). *Online proceedings of the papers submitted to the 2020 TELEMAC-MASCARET User Conference*. IMDC. ISBN 9789464207194. pp.153–158. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=332091>

Vanlede, J.; Chu, K.; Smolders, S.; Decrop, B.; Mostaert, F. (2020b). Update SCALDIS 2019: a 3D hydrodynamic model of the Scheldt Estuary: calibration report. Version 3.. *FHR reports*, PA016_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=334271>

Bijlage A – Modelinstellingen

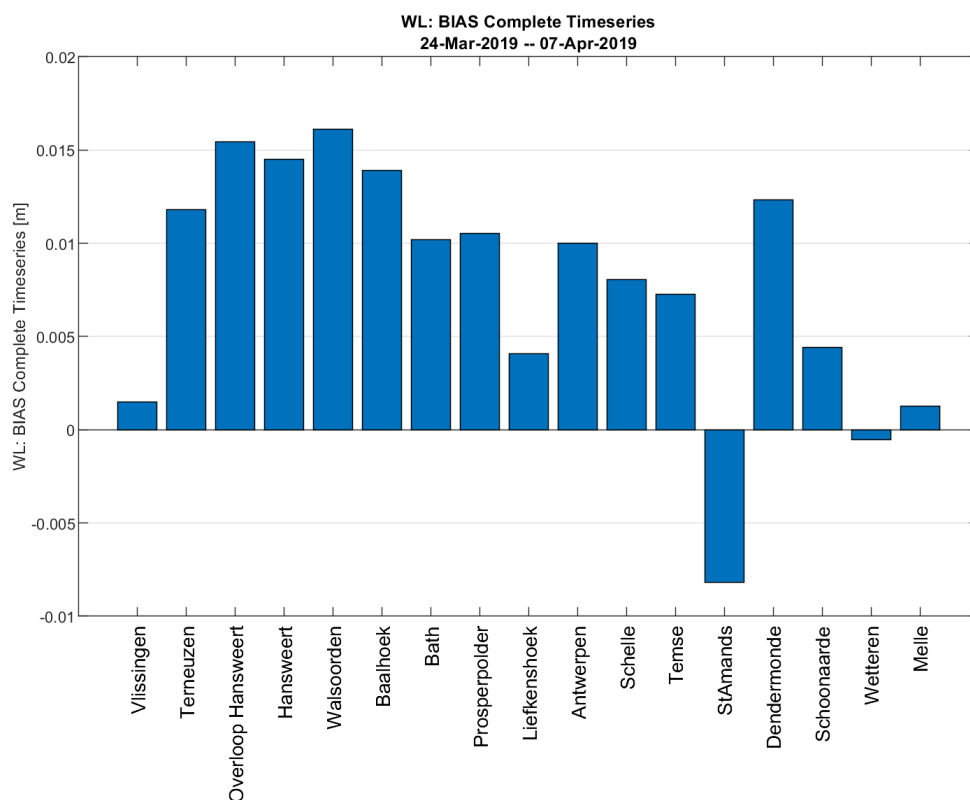
Tabel 2 – Parameterinstellingen Scaldis2019 model.

Parameter	Value
Time step	4 s
Initial condition	2 days spin-up from constant water level
Number of vertical levels	5
Version TELEMAC	v7p2r1
Salt transport	On
Roughness formula	Nikuradse law
Bed roughness value	varying roughness field
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: Smagorinski
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

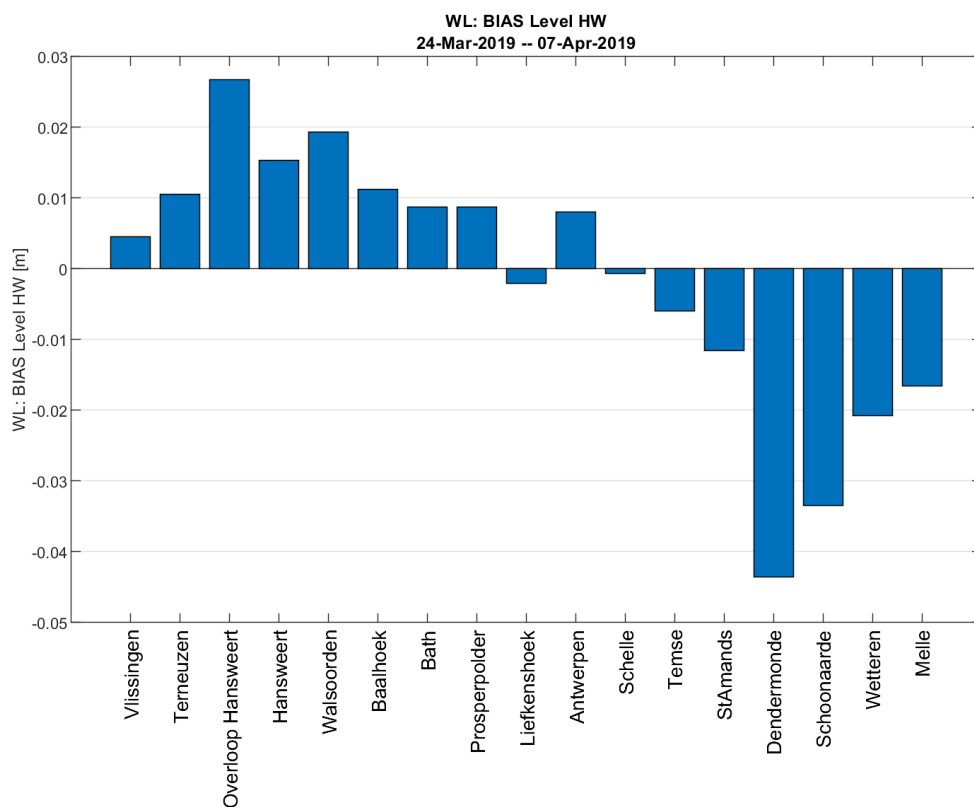
Bijlage B – Effect aanpassingen rekenrooster

Waterstanden

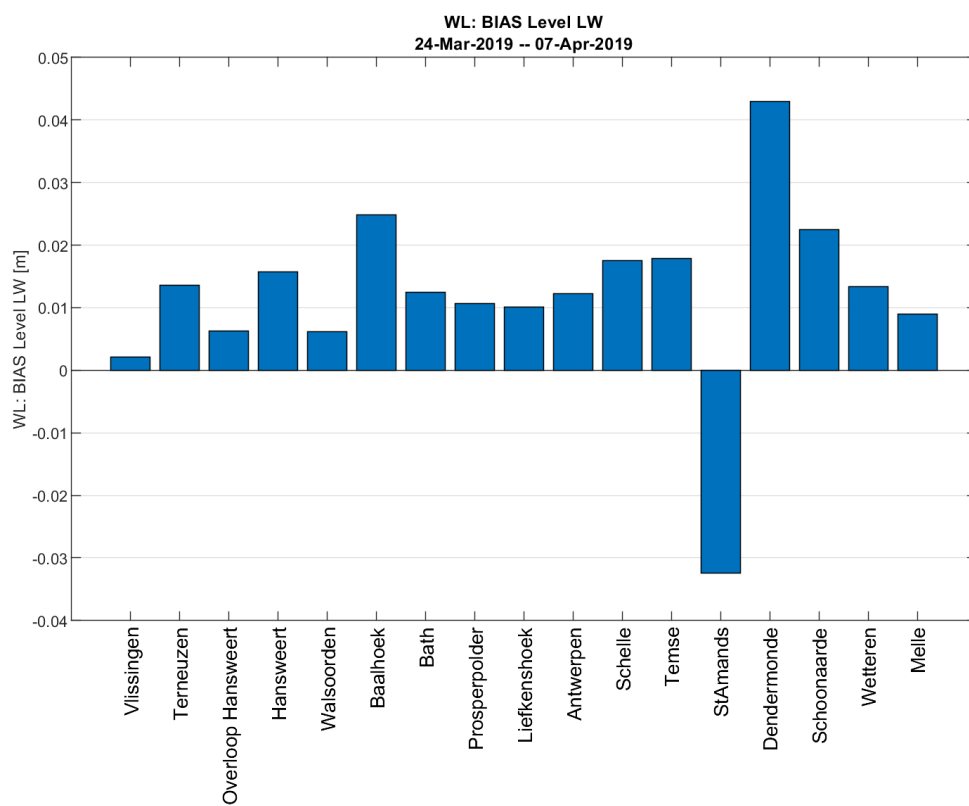
Het effect van aanpassingen aan het rekenrooster op de modelprestatie wordt geanalyseerd op basis van de gemodelleerde getijvoortplanting (afwijkingen in waterstandsverloop, hoogwaters en laagwaters). Figuur 18, Figuur 19 en Figuur 20 laten de afwijkingen in gemodelleerde waterstanden, hoogwaters en laagwaters zien tussen een referentiesimulatie met het aangepast rekenrooster en het reguliere Scadis2019 model. De afwijkingen ten gevolge van de verfijning van het rekenrooster rond Lillo blijven beperkt tot enkele centimeters. Afwaarts van de roosterverfijning nemen de hoogwaters iets toe tot maximaal +0,03 m, terwijl opwaarts van de roosterverfijning de hoogwaters juist licht afnemen tot maximaal -0,04 m. De afwijking in laagwaters betreft voornamelijk een toename die op een enkel station na beperkt blijft tot +0,02 m. In de directe omgeving van het studiegebied, bij station Liefkenshoek, is de afwijking op zowel het waterstandsverloop, als de hoog- en laagwaters zeer gering (i.e., < 0,01 m). De afwijkingen als gevolg van de aanpassingen van het rekenrooster zijn een orde kleiner dan de algemene modelonzekerheden (Vanlede *et al.*, 2020b). Bijgevolg kan men stellen dat het aangepaste model representatief is voor de het studiegebied.



Figuur 18 – Invloed rekenrooster op gemodelleerde waterstanden langs estuarium.



Figuur 19 – Invloed rekenrooster op gemodelleerde hoogwaters langs estuarium.



Figuur 20 – Invloed rekenrooster op gemodelleerde laagwaters langs estuarium.

Stroomsnelheden

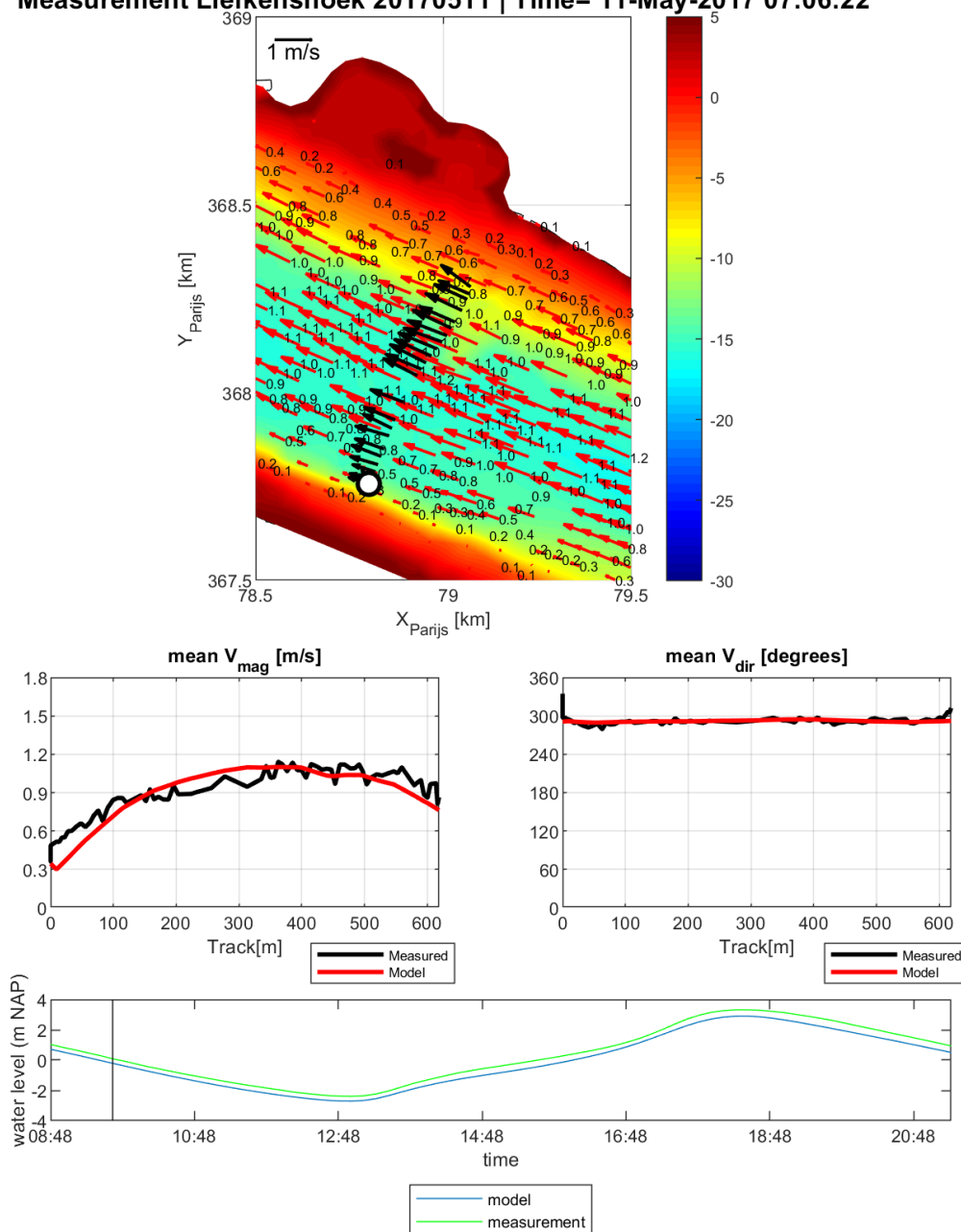
Daarnaast wordt de kwaliteit van de gemodelleerde stroomsnelheden vergeleken aan de hand van de representatie van gevaren ADCP-raaien ter hoogte van Liefkenshoek (i.e., meetcampagne 11/05/2017). Deze vergelijking gebeurt op basis van een gelijkaardig getij in de simulatieperiode. (i.e., 26/03/2019). Dit getij werd geselecteerd door een zogenaamde ‘comparable tide analysis’ met de VIMM toolbox (Vanlede *et al.*, 2020a).

Tabel 3 geeft de resultaten van de vergelijking tussen de gemodelleerde en gemeten stroomsnelheden langs de dwarsraai bij Liefkenshoek weer voor beide modelroosters op basis van de RMSE en RMAE van alle gevaren ADCP-raaien. De representatie van de stroomsnelheden is zeer gelijkaardig. De verfijning van het modelrooster resulteert in een iets grotere afwijking van de gemodelleerde stroomsnelheden. De RMSE-waarden kunnen volgens Vanlede *et al.* (2020a) als redelijk worden ingedeeld (i.e., RMSE = 10-20 cm/s), terwijl de RMAE-waarden zelfs als goed worden geclassificeerd (i.e., RMAE = 0,2-0,4). Figuur 21 – Figuur 24 laten een ruimtelijk beeld van de gemodelleerde stroming in het studiegebied zien tijdens maximum vloed en maximum eb. Figuur 21 en Figuur 23 geven de stroomvelden uit het reguliere Scaldis2019 weer, terwijl Figuur 22 en Figuur 24 de stroomvelden uit het verfijnd model betreft. Deze figuren bevatten ook een vergelijking van de gemodelleerde en gesimuleerde stroming langs de gevaren ADCP-raai bij Liefkenshoek. Tijdens de eb fase worden de hoogste stroomsnelheden aan de kant van de voormalige potpolder en Fort Lillo gevonden. Tijdens de vloed fase zijn de stroomsnelheden juist opvallend lager langs deze zijde van het estuarium. Deze verdelingen van de stroomsnelheid over de dwarssectie worden in beide modelconfiguraties goed gerepresenteerd. Ook voor stroming is het effect van de lokale roosterverfijning is een orde kleiner dan de nauwkeurigheid van het model.

Tabel 3 – Vergelijking van de RMSE en RMAE van de gemodelleerde snelheden ten opzichte van de ADCP-metingen bij Liefkenshoek voor beide modelroosters.

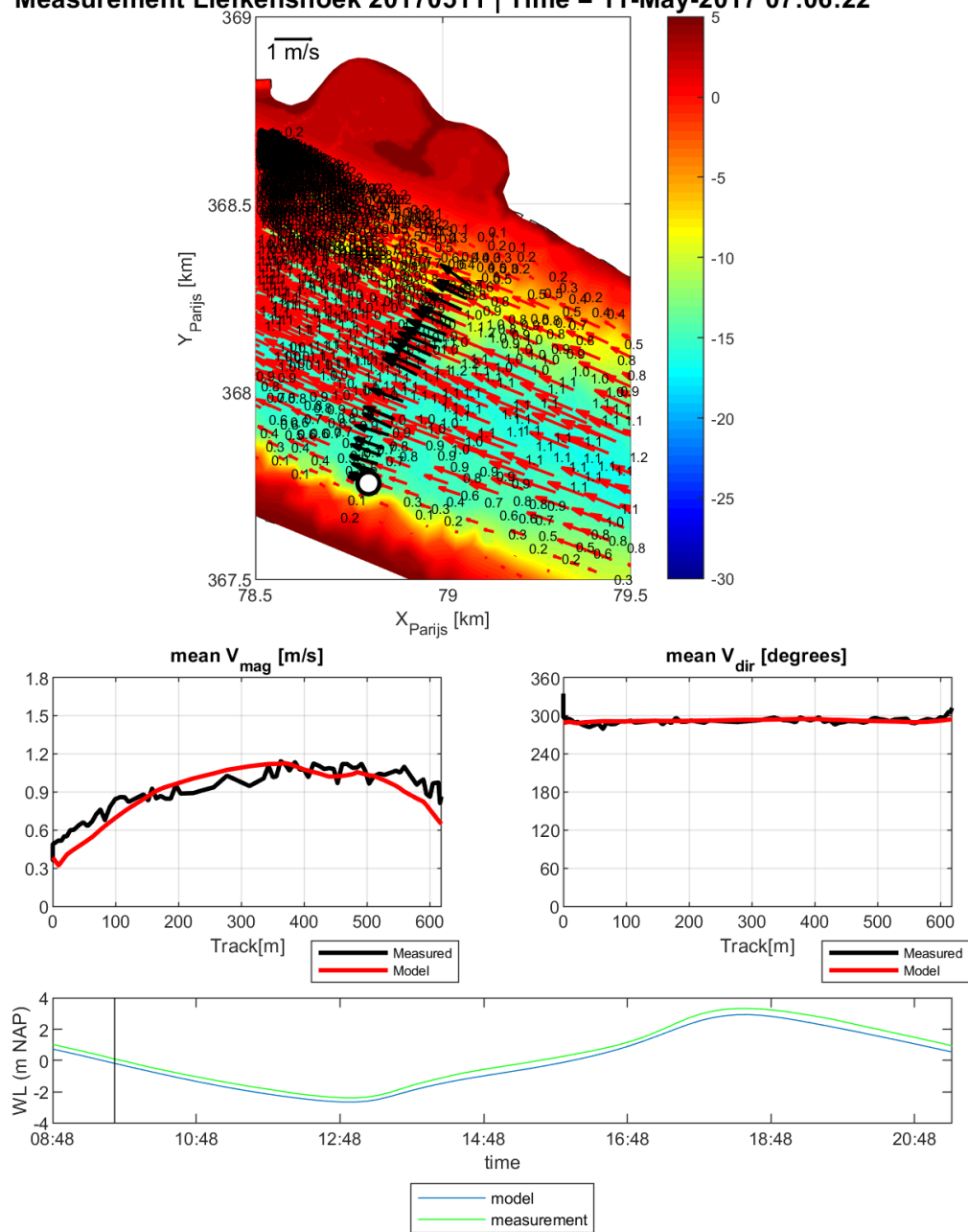
Model	RMSE [cm/s]	RMAE [-]
Scaldis2019	13,3	0,24
Scaldis-model met lokale verfijning bij Lillo	14,8	0,26

Model Telemac 2D (Run Run02) | Time= 26-Mar-2019 09:40:00
Measurement Liefkenshoek 20170511 | Time= 11-May-2017 07:06:22

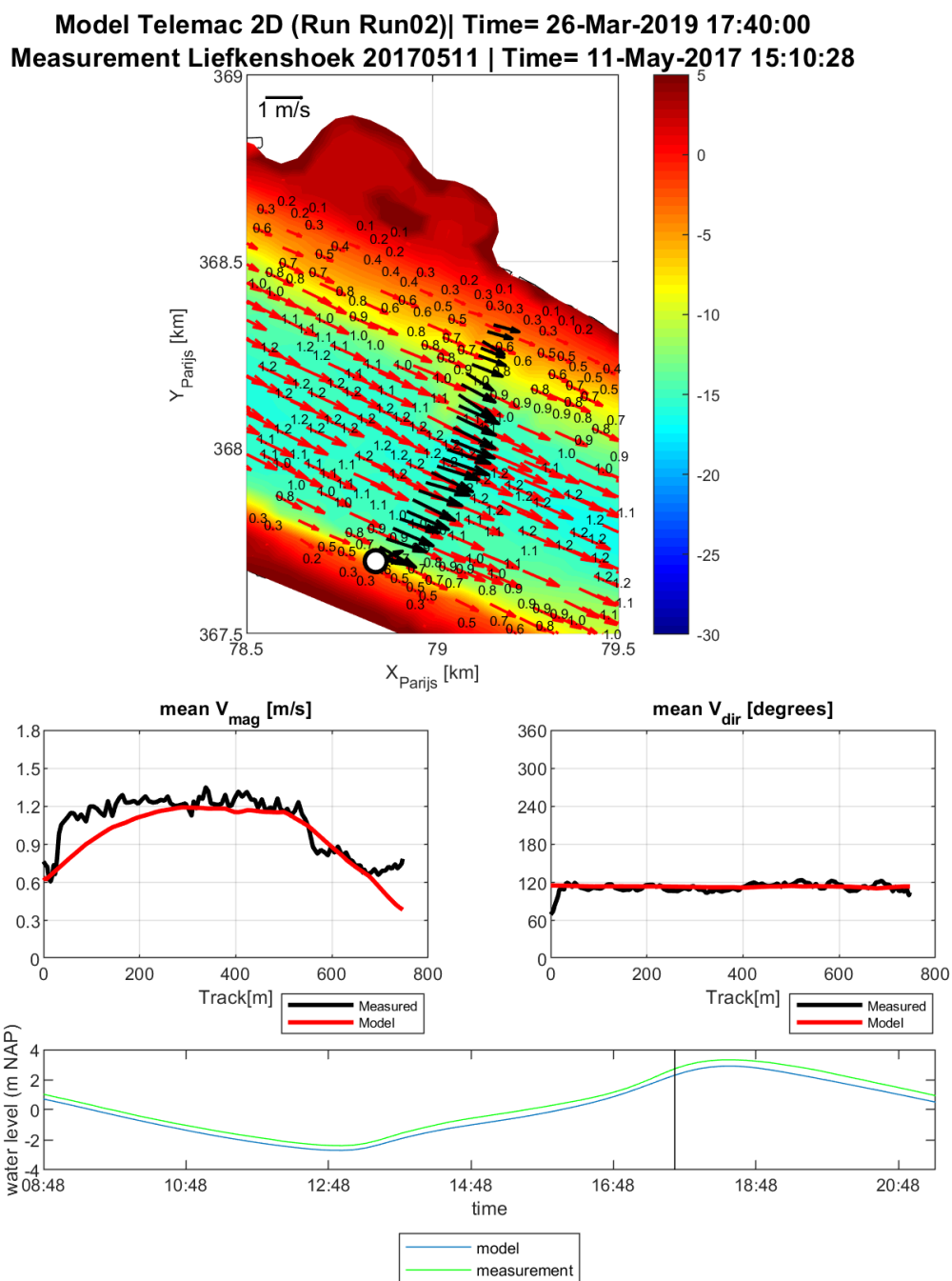


Figuur 21 – Vergelijking tussen gemeten en met Scaldis2019 gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens eb.

Model Telemac 2D (Lillo (REF_VAL02)) | Time = 26-Mar-2019 09:40:00
Measurement Liefkenshoek 20170511 | Time = 11-May-2017 07:06:22

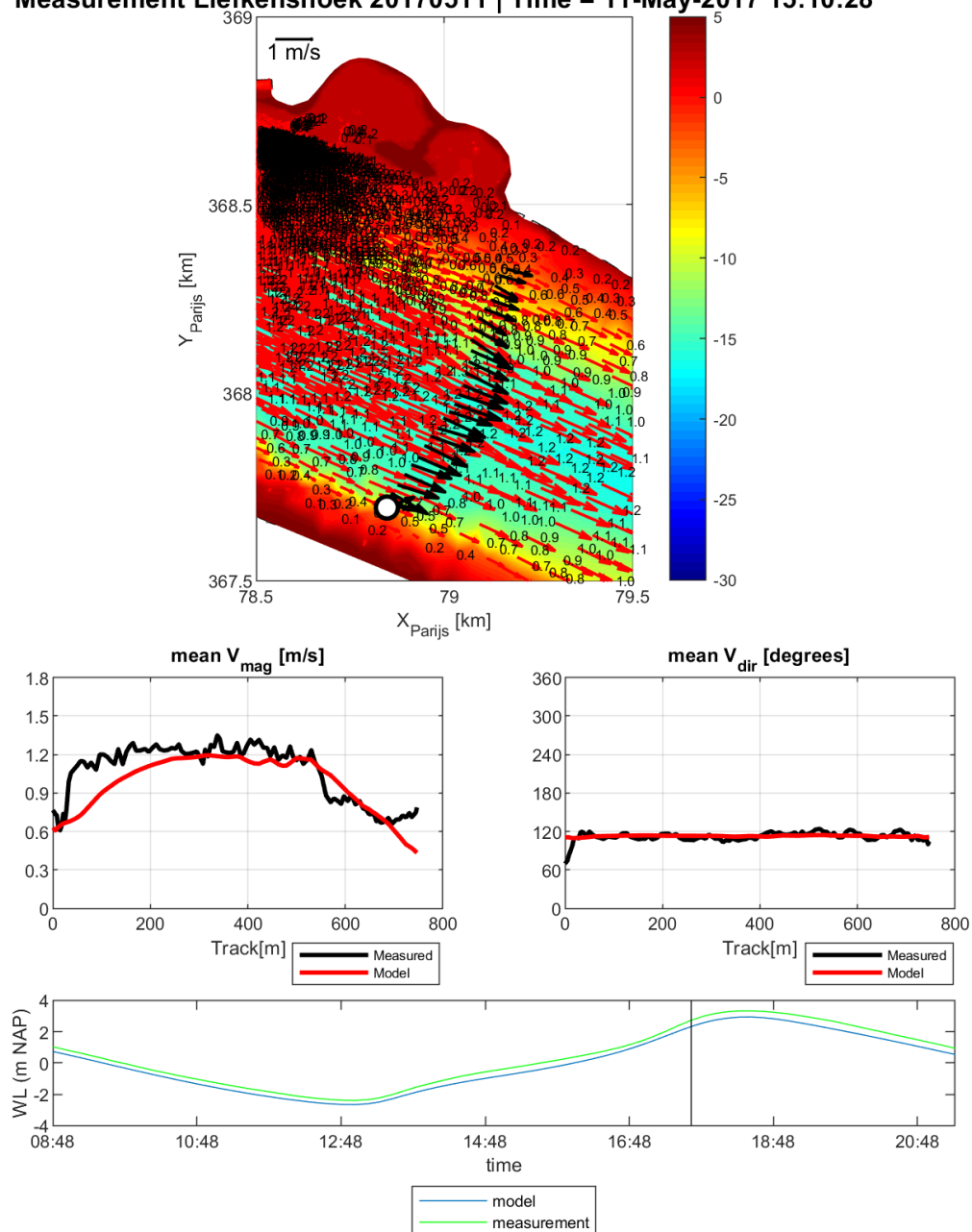


Figuur 22 – Vergelijking tussen gemeten en met het verfijnd model gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens eb.



Figuur 23 – Vergelijking tussen gemeten en met Scaldis2019 gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens flood.

Model Telemac 2D (Lillo (REF_VAL02)) | Time = 26-Mar-2019 17:40:00
Measurement Liefkenshoek 20170511 | Time = 11-May-2017 15:10:28



Figuur 24 – Vergelijking tussen gemeten en met het verfijnd model gemodelleerde stroomsnelheid bij Liefkenshoek tijdens vloed.

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