



Vlaanderen
is wetenschap

15_092_1
WL rapporten

Haven van Zeebrugge: scenario met een extra opening in de oostelijke havendam

Deelrapport 1 – Schaalmodelonderzoek getijstroming

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Haven van Zeebrugge: scenario met een extra opening in de oostelijke havendam

Deelrapport 1 – Schaalmodelonderzoek getijstroming

Willems, M.; Heyvaert, G.; Hassan, W.; Peeters, P.; Mostaert, F.

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 2016

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Willems, M.; Heyvaert, G.; Hassan, W.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016). Haven van Zeebrugge: scenario met een extra opening in de oostelijke havendam: Deelrapport 1 – Schaalmodelonderzoek getijstroming. Versie 4.0. WL Rapporten, 15_092_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

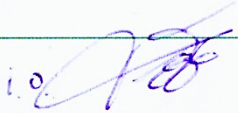
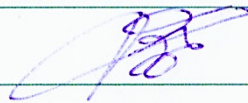
Opdrachtgever:	Maritieme Toegang	Ref.:	WL2016R15_092_1
Keywords (3-5):	Zeebrugge, schaalmodel, getijstroming, scenario-onderzoek		
Tekst (p.):	18	Bijlagen (p.):	20
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Willems, M.; Heyvaert, G.
------------	---------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Hassan, W.	
Projectleider:	Willems, M.	

Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Peeters, P.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	

Abstract

In het kader van het masterplan Vlaamse Baaien en ten behoeve van de optimalisatie van de maritieme toegankelijkheid van de haven van Zeebrugge wordt de mogelijkheid onderzocht voor een tweede haveningang in de oostelijke havendam van Zeebrugge. Via deze nieuwe haveningang zouden binnenschepen de haven veiliger kunnen in- en uitvaren om zo langs de kust en de Westerschelde een vlottere verbinding met het hinterland te realiseren.

In het schaalmodel van de haven van Zeebrugge onderzocht het Waterbouwkundig Laboratorium de getijstroming in deze nieuwe havenconfiguratie. Hieruit blijkt dat de stroomsnelheid in het nieuwe binnenvaartkanaal oploopt tot ongeveer 0.7 m/s in de vloedfase en ongeveer 0.6 m/s in de ebfase met een kortstondige piek tot 1.2 m/s. In de aansluitzone is de stroming maximaal 0.6 m/s en excentrisch gelegen; de stromingsrichting is soms onder een hoek gericht ten opzichte van de vaargeul.

In de vloedfase blijft de instromende 'jet' in het CDNB nabij de kop van de oostelijke havendam bestaan. Door de aanwezigheid van het nieuwe binnenvaartkanaal en door de gewijzigde havenconfiguratie aan de oostkant, is deze een beetje meer naar de oostkant van het CDNB gericht dan in de huidige situatie. Hierdoor verandert ook het stromingspatroon in het CDNB.

Inhoudstafel

Abstract.....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de figuren.....	VI
1 Inleiding	1
2 Beschrijving schaalmodel en scenario's.....	2
2.1 Schaalmodel.....	2
2.2 Referentietoestand: huidige situatie (T0).....	4
2.3 Scenario met tweede haveningang (T24).....	4
3 Resultaten	8
3.1 Waterstand	8
3.2 Snelheidsmetingen	8
3.2.1 Reproduceerbaarheid metingen.....	9
3.2.2 Snelheden in het nieuwe binnenvaartkanaal	12
3.2.3 Stroming in CDNB	14
3.2.4 Resultaten en discussie.....	16
4 Besluit	17
5 Referenties.....	18
Bijlage 1: Figuren T0 en T24 (schaalmodel)	B1
Bijlage 2: Figuren schaalmodel en numeriek model (T24)	B11

Lijst van de figuren

Figuur 1 - 3D-voorstelling van het fysisch model	2
Figuur 2 - Modelgebied en dieptelijnen van het fysisch model (huidige toestand).....	3
Figuur 3 - Overzichtsfoto van het fysisch model (55 m x 35 m).	3
Figuur 4 - Detailfoto van de haven van Zeebrugge in het fysisch model (ongeveer 13 m x 13 m).	3
Figuur 5 – Detail lay-out oostelijke havendam en sterneneiland in huidige haven (T0).....	4
Figuur 6 - Ontwerp scenario met tweede haveningang (T24).....	5
Figuur 7 – Plan schaalmodel met scenario met tweede haveningang (T24).....	6
Figuur 8 - Foto's schaalmodel met scenario T24.	7
Figuur 9 - Waterstand bij gemiddeld springtij in het schaalmodel (T24).	8
Figuur 10 - Meetpunten “Vaargeul01 - Vaargeul07” in scenario T24.	9
Figuur 11 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul01.....	10
Figuur 12 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul02.....	10
Figuur 13 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul03.....	11
Figuur 14 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul04.....	11
Figuur 15 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul07.....	12
Figuur 16 - Stroomsnelheden in aansluiting binnenvaartkanaal-CDNB (meetpunten Vaargeul01 - Vaargeul04). .	13
Figuur 17 - Stroomsnelheden in binnenvaartkanaal (meetpunten Vaargeul04 - Vaargeul07).	13
Figuur 18 - Stromingspatroon 1.5 uur voor hoogwater.	14
Figuur 20 - Stromingspatroon 1 uur voor hoogwater.....	15
Figuur 20 - Stromingspatroon 3 uur na hoogwater.....	15

1 Inleiding

In opdracht van afdeling Maritieme Toegang wordt op het Waterbouwkundig Laboratorium onderzoek uitgevoerd ten behoeve van de optimalisatie van de maritieme toegankelijkheid van de haven van Zeebrugge. Voor dit onderzoek werden de voorbije jaren meerdere modellen opgezet, waaronder een schaalmodel van de haven van Zeebrugge (bouw model: project 780_03; eerder onderzoek: project 00_059).

In het kader van het masterplan Vlaamse Baaien wordt de mogelijkheid onderzocht voor een tweede haveningang in de oostelijke havendam van Zeebrugge. Via deze nieuwe haveningang zouden binnenschepen de haven veiliger kunnen in- en uitvaren om zo langs de kust en de Westerschelde een vlottere verbinding met het hinterland te realiseren. Dit zou kunnen zorgen voor een betere ontsluiting van de haven van Zeebrugge via het water.

In het schaalmodel van de haven van Zeebrugge wordt de stroming onderzocht voor een scenario waarbij er een extra opening is gemaakt ter hoogte van de bocht in de oostelijke havendam. De resultaten van deze stromingsmodellering worden beschreven in dit rapport en vergeleken met de huidige toestand.

Tegelijkertijd met dit modelwerk werd door afdeling Maritieme Toegang de getijstroming in dit nieuwe scenario ook met Telemac berekend. De resultaten van het schaalmodel zullen verder in dit rapport ook vergeleken worden met de resultaten van deze numerieke simulatie.

2 Beschrijving schaalmodel en scenario's

2.1 Schaalmodel

Een fysisch schaalmodel (oppervlakte 2000 m²) van de haven van Zeebrugge werd gebouwd in het Waterbouwkundig Laboratorium (Willems et al., 2011) met horizontale schaal 1:300 en verticale schaal 1:100. Volgens de Froude schaalwetten is de tijdschaal 1:30 en de snelheidsschaal 1:10. Het hydrodynamisch schaalmodel heeft een vaste bodem en simuleert de getijstroming bij springtij in de Pas van het Zand, rondom de haven en in de voorhaven (CDNB).

Figuur 1 tot Figuur 4 tonen het modelgebied en de topografie van de zeebodem. Het model omvat een kustlijn van ongeveer 16 km (van Blankenberge tot Knokke) en gaat 10 km ver in zee tot voorbij de vaargeul 'Scheur'.

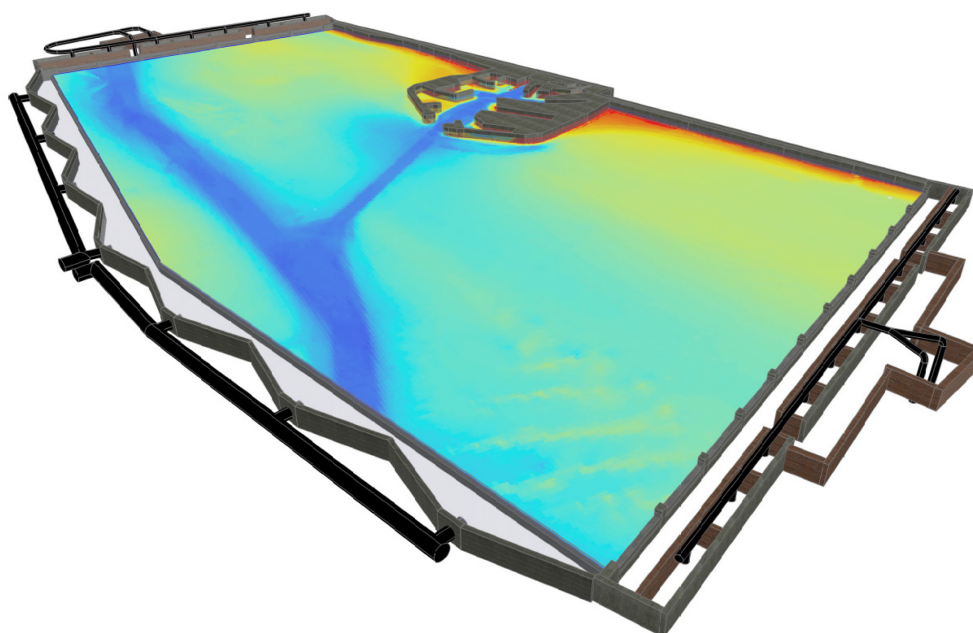
De waterstand is gekalibreerd aan de hand van het gemiddeld springtij in de periode 2004-2011. De stroomsnelheden in de vaargeul Pas van het Zand en in het CDNB (*Centraal Deel Nieuwe Buitenhaven*) zijn gekalibreerd (Willems et al., 2014) aan de hand van het gemiddeld springtij zoals gemeten bij de opmaak van de stroomatlas van de haven van Zeebrugge in 2011 (Vlaamse Overheid Afdeling Kust, 2011). Gedetailleerde vergelijkingen werden uitgevoerd, ook voor het neerpatroon in de haven.

De waterstand in het schaalmodel wordt gemeten met behulp van ultrasone sensoren.

Stroomsnelheden worden gemeten met 2 meettechnieken:

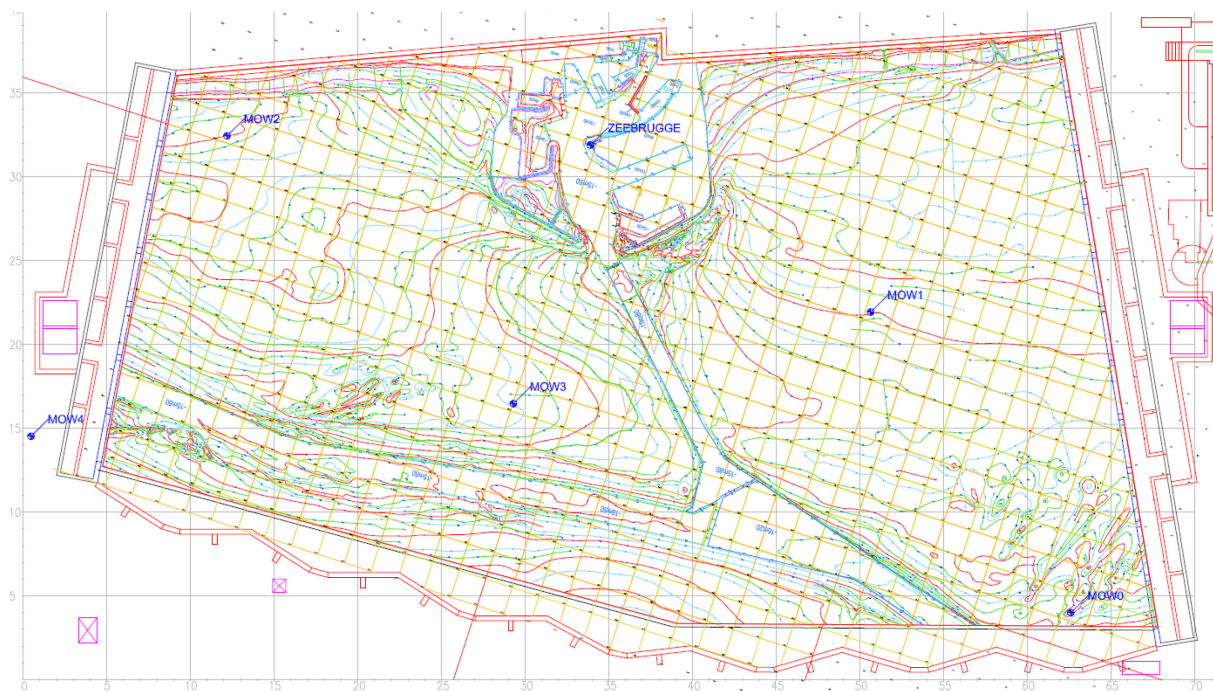
- voor het meten van tijdsafhankelijke snelheden op een bepaalde locatie op een bepaalde hoogte in de waterkolom wordt gebruik gemaakt van elektromagnetische snelheidsmeters (puntmetingen);
- voor het meten van tijdsafhankelijke oppervlaktesnelheden in een bepaalde zone wordt de Particle Tracking Velocimetry techniek (verder: PTV-techniek) gebruikt.

Figuur 1 - 3D-voorstelling van het fysisch model

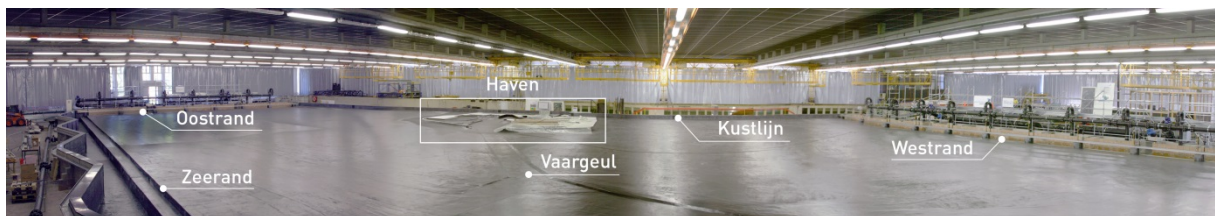


(kleur = bathymetrie model).

Figuur 2 - Modelgebied en dieptelijnen van het fysisch model (huidige toestand).



Figuur 3 - Overzichtsfoto van het fysisch model (55 m x 35 m).



Figuur 4 - Detailfoto van de haven van Zeebrugge in het fysisch model (ongeveer 13 m x 13 m).

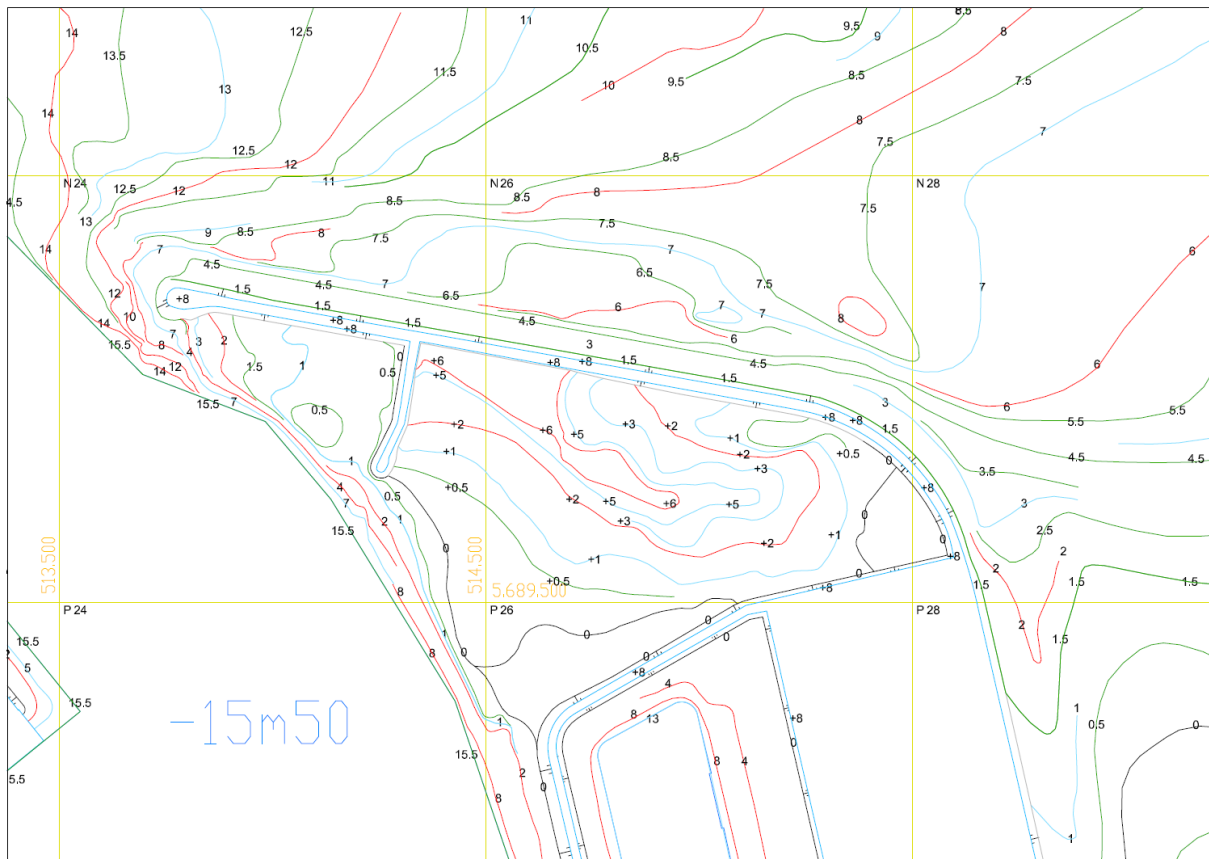


2.2 Referentietoestand: huidige situatie (T0)

Het schaalmodel is gekalibreerd voor de huidige lay-out van de haven. Deze referentietoestand wordt verder 'T0' genoemd.

Figuur 5 toont een detail van de bathymetrie van de oostelijke havendam en het sterneneiland in het schaalmodel in scenario T0.

Figuur 5 – Detail lay-out oostelijke havendam en sterneneiland in huidige haven (T0).



2.3 Scenario met tweede haveningang (T24)

Het te onderzoeken scenario werd door afdeling Maritieme Toegang (Youri Meersschant) via e-mail aangeleverd in dwg-formaat (plan "18/11/2015-03911-"). Dit plan wordt weergegeven in Figuur 6 en bevat enkel de contouren van de haven. In onderling overleg werd de bodemligging ook vastgelegd.

Figuur 6 - Ontwerp scenario met tweede haveningang (T24).



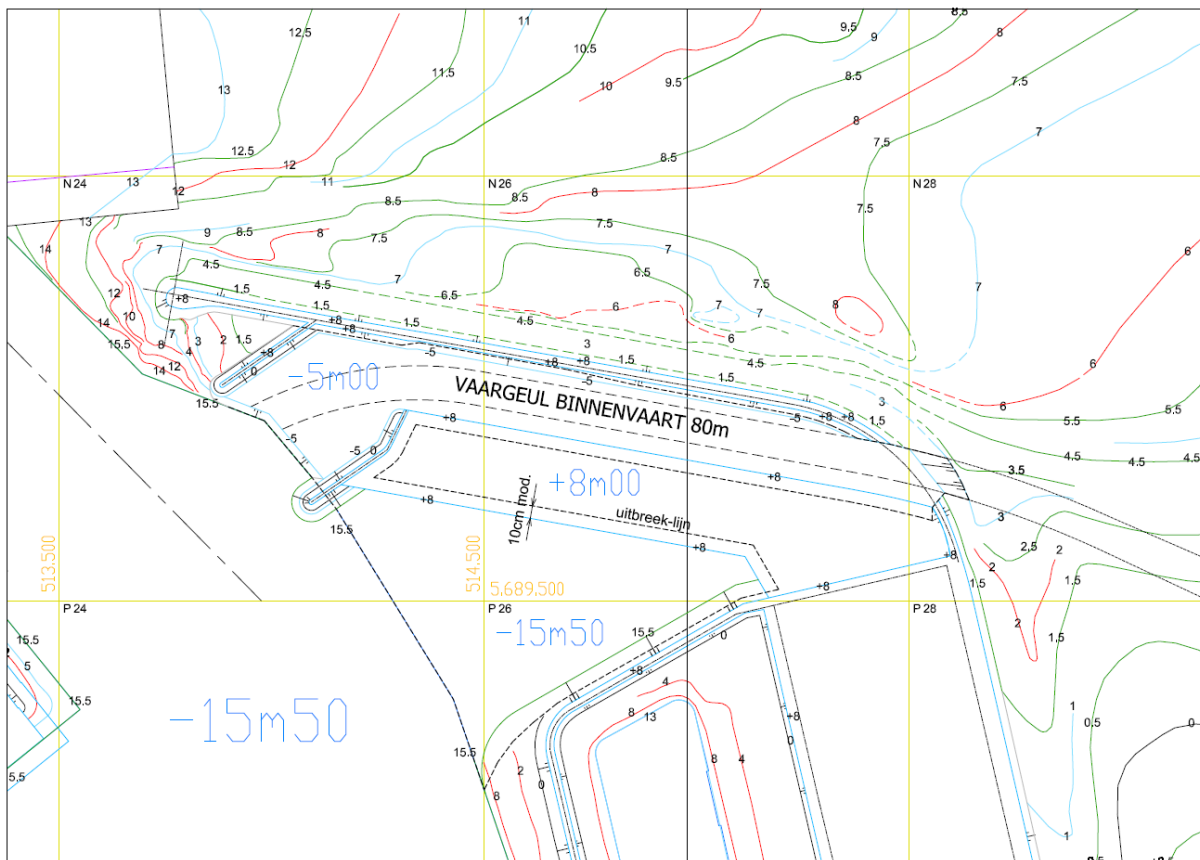
De belangrijkste onderdelen van dit scenario kunnen als volgt omschreven worden.

- Er wordt een opening in de bocht van de oostelijke havendam gemaakt als tweede haveningang. De breedte van de opening is ongeveer 110 m. Op het ontwerpplan staat een versmalling getekend (brugpijlers voor een brug naar de offshore havendam) maar deze versmalling wordt niet gemodelleerd in het schaalmodel.
- Aan de binnenzijde van de noordoostdam, op de plaats van het sterneneiland, wordt een kanaal voor de binnenvaart gecreëerd (breedte 150 m), met een vaargeul van 80 m breed en bodempeil -5 mTAW.
- Ten zuiden van dit kanaal wordt de LNG-terminal uitgebreid met een nieuw kaaivlak van 200 m breed. Dit kaaivlak eindigt met een stortsteendam op de plaats van de huidige Kop Oost.
- Dicht bij de bestaande haveningang wordt een nieuwe kleine stortsteendam aangelegd om het nieuwe kanaal af te schermen.
- Tussen het nieuwe kaaivlak en de bestaande LNG-dam wordt het bodempeil van het CDN overgenomen (-15.5 mTAW). Het sterneneiland wordt volledig weggenomen.
- In het schaalmodel wordt het bodempeil -5 mTAW van het nieuwe kanaal aangesloten op de bestaande dieptelijn -3 mTAW aan de zeezijde van de tweede haveningang. Op zee worden geen wijzigingen aangebracht (geen vaargeul op zee, geen eilanden noch schiereilanden) om de modelbouw te vereenvoudigen.

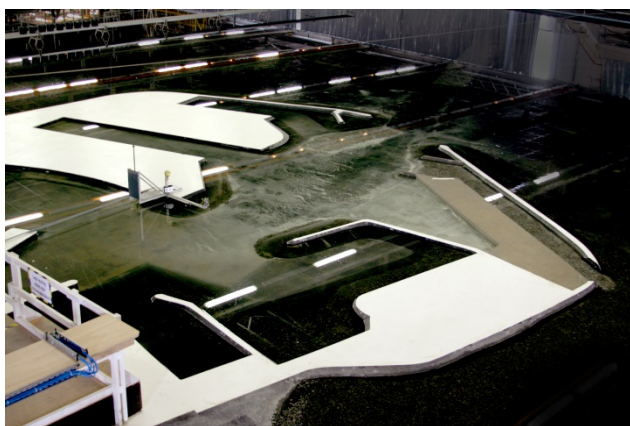
Het schaalmodel wordt met deze nieuwe elementen verbouwd. Het plan van het aangepaste model wordt weergegeven in Figuur 7 en enkele foto's zijn te vinden in Figuur 8. In het binnenvaartkanaal ligt de vaste bodem op -5 mTAW en worden kleine steentjes (extra ruwheid) toegevoegd zoals in de andere ondiepe zones in het model.

Dit scenario wordt verder 'T24' genoemd.

Figuur 7 – Plan schaalmodel met scenario met tweede haveningang (T24).



Figuur 8 - Foto's schaalmodel met scenario T24.

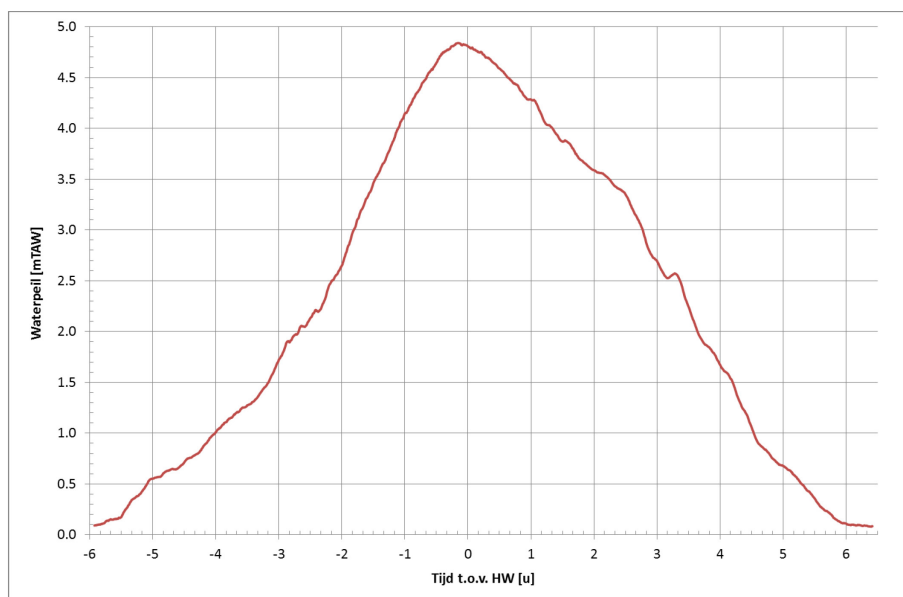


3 Resultaten

3.1 Waterstand

Zoals eerder beschreven is het schaalmodel gekalibreerd voor een gemiddeld springtij. Figuur 9 toont de waterstand, in het schaalmodel opgemeten met een ultrasone sensor op locatie MOW1, voor een volledig getij bij een proef met scenario T24. Deze is quasi gelijk aan het getij in scenario T0. De tijdsas is uitgedrukt ten opzichte van het tijdstip van hoogwater, en deze tijdsas zal gebruikt worden in alle verdere figuren.

Figuur 9 - Waterstand bij gemiddeld springtij in het schaalmodel (T24).



3.2 Snelheidsmetingen

Op het schaalmodel zijn gedetailleerde snelheidsmetingen uitgevoerd in de volledige haven: in de bestaande haveningang, in het CDN, in de zone tussen de 2 binnendammen waar het binnenvaartkanaal uitmondt in het CDN, in het nieuwe binnenvaartkanaal en in de nieuwe tweede haveningang.

De stroming wordt opgemeten met 2 verschillende meettechnieken:

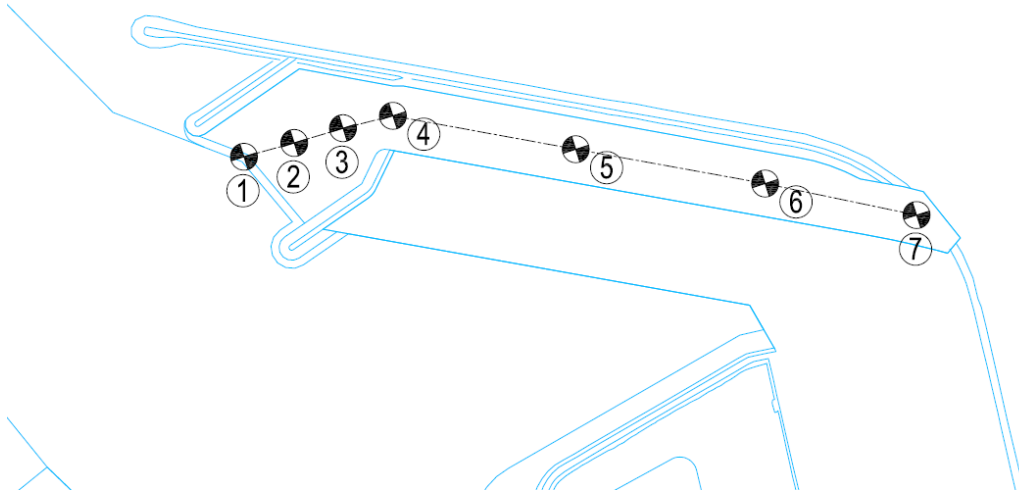
- de veranderlijke snelheid en richting van de getijstroming op een bepaalde plaats wordt opgemeten met een elektromagnetische snelheidsmeter (verder: EMS) op een zekere hoogte in de waterkolom (puntmeting);
- de veranderlijke oppervlakesnelheid en het stromingspatroon in een bepaalde zone worden gemeten gebruikmakend van de Particle Tracking Velocimetry techniek (verder: PTV-techniek). De snelheid wordt berekend door kleine meedrijvende deeltjes (kleine vlotters) te volgen met een camera en de verplaatsing ervan te analyseren.

Alle gerapporteerde EMS-metingen in het schaalmodel zijn uitgevoerd op de standaard verticale positie -2 mTAW. Eerdere controles hebben aangetoond dat op deze positie (vlak onder het laagwaterpeil) de snelheid nagenoeg overeenstemt met de oppervlakesnelheid. Wanneer deze metingen worden uitgevoerd

boven een bodem op peil -5 mTAW waar kleine steentjes (ruwheidselementen) liggen, worden deze steentjes lokaal weggenomen om een mogelijke invloed op het meetvolume onder de meetsonde te voorkomen.

In scenario T24 zijn EMS-metingen uitgevoerd op 7 punten in het midden van het nieuwe binnenvaartkanaal ("Vaargeul01 – Vaargeul07", Figuur 10). De vlottermetingen in deze zone zijn enkel uitgevoerd in die fasen van het getij waarbij de stroming significant is (periodes 8u00-11u00 en 12u15-15u15, met 12u00 als tijdstip van hoogwater).

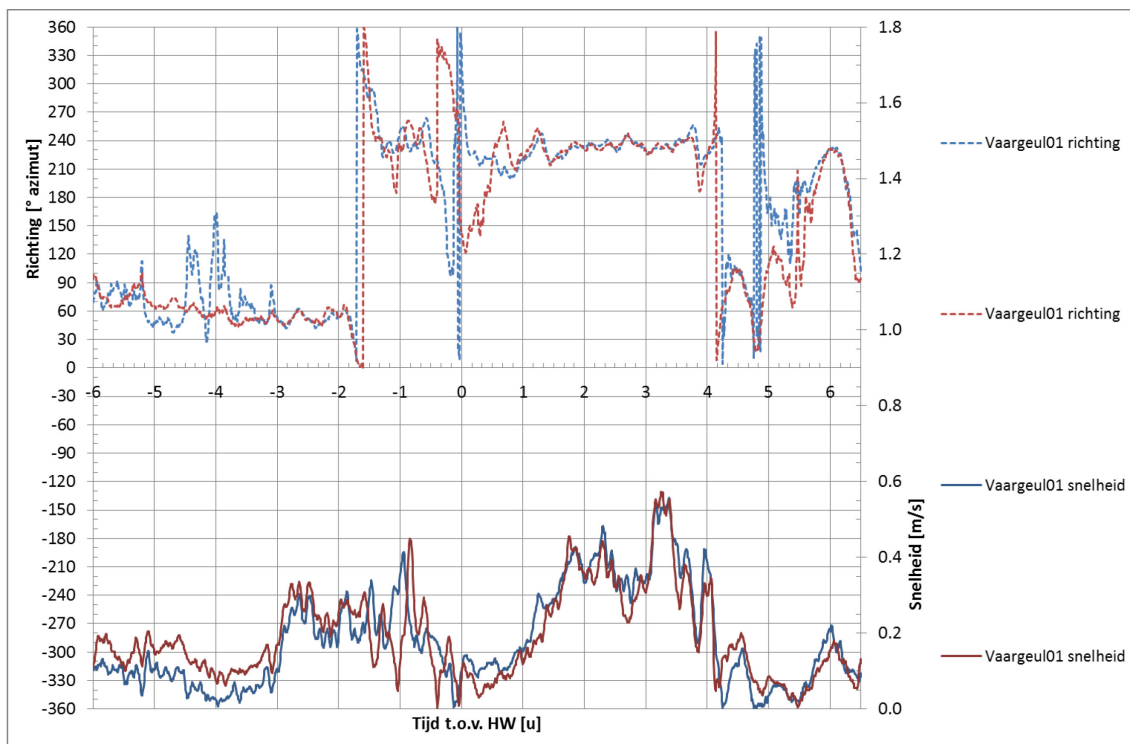
Figuur 10 - Meetpunten "Vaargeul01 - Vaargeul07" in scenario T24.



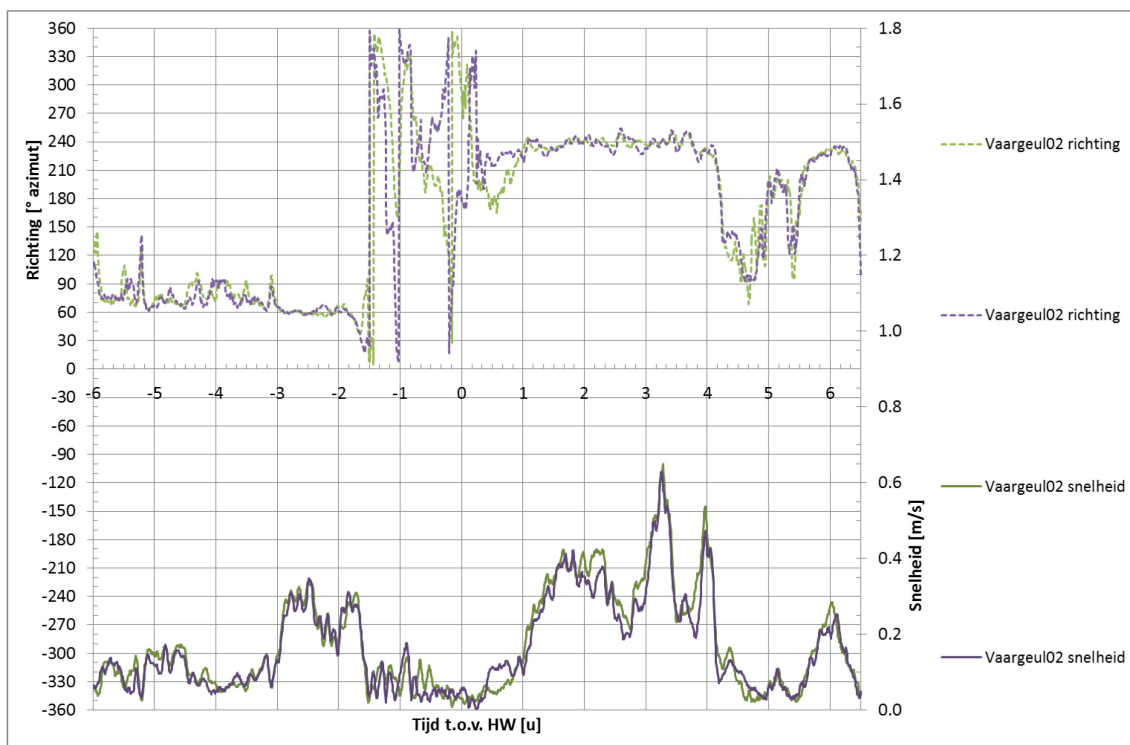
3.2.1 Reproduceerbaarheid metingen

Vooraleer de stroomsnelheid te analyseren, werd de reproduceerbaarheid van de EMS-metingen nagegaan. In Figuur 11 t.e.m. Figuur 15 worden telkens 2 metingen op dezelfde locatie in verschillende proeven weergegeven. De stippellijnen geven de stroomrichting weer (0° = Noord, positief in wijzerzin), de volle lijnen de stroomsnelheid. Hieruit blijkt duidelijk dat de reproduceerbaarheid zeer goed is.

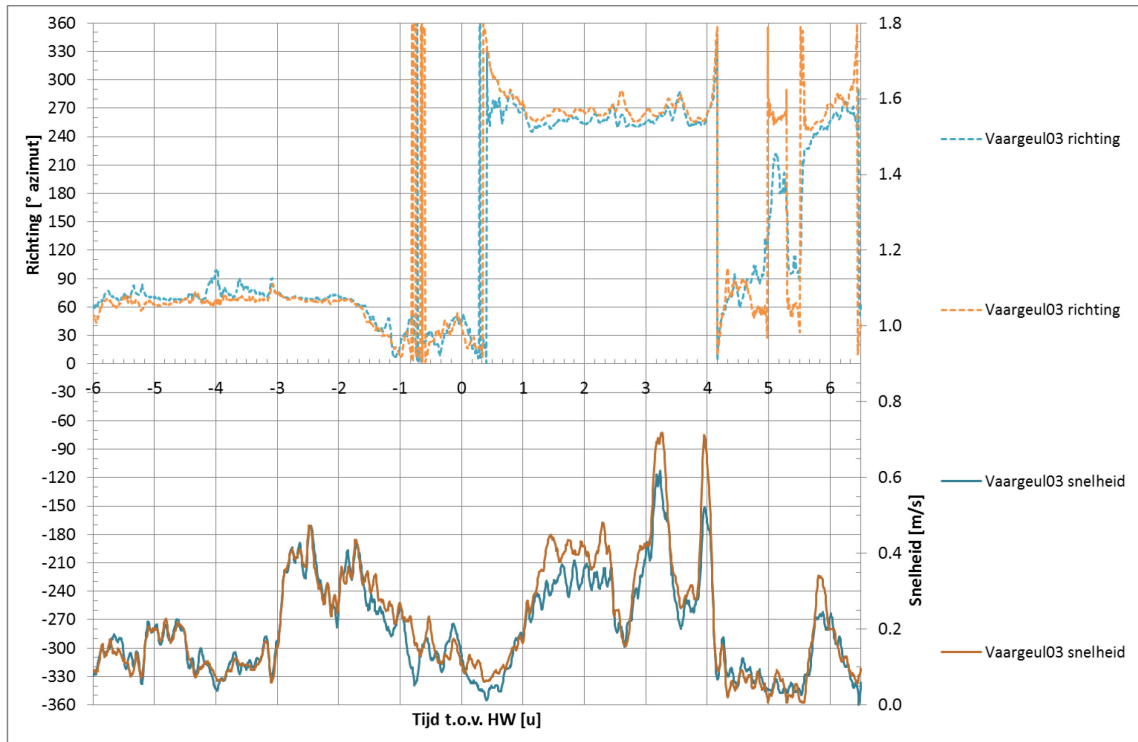
Figuur 11 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul01.



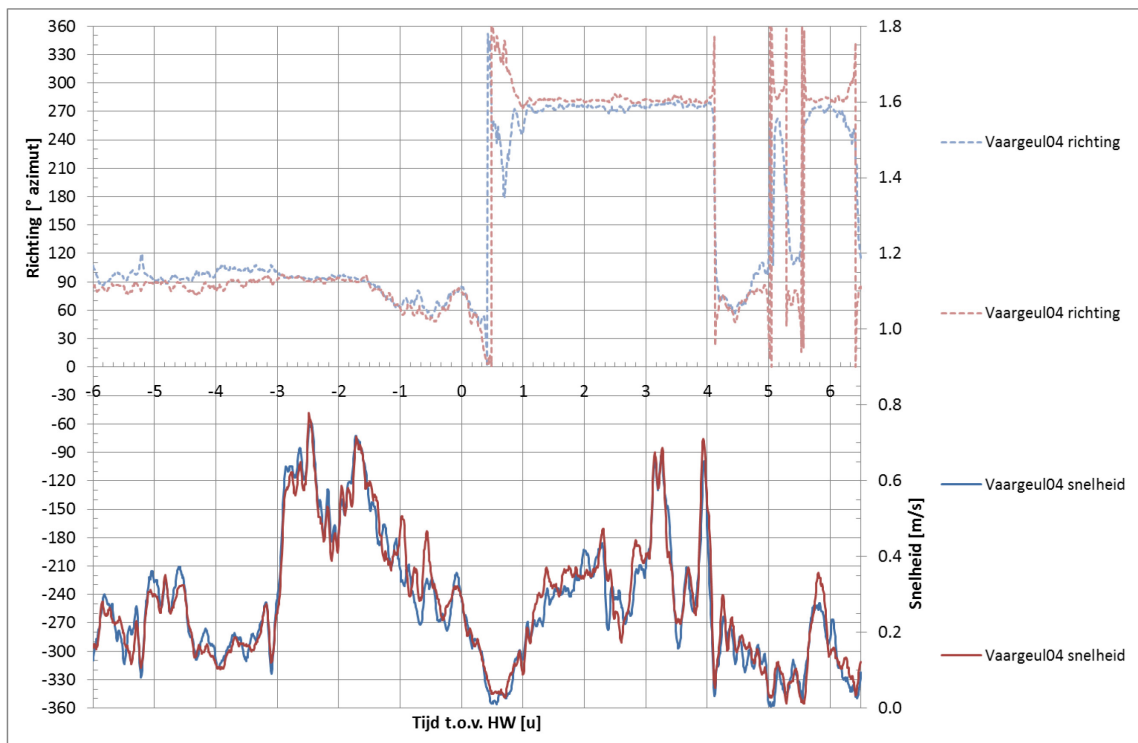
Figuur 12 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul02.



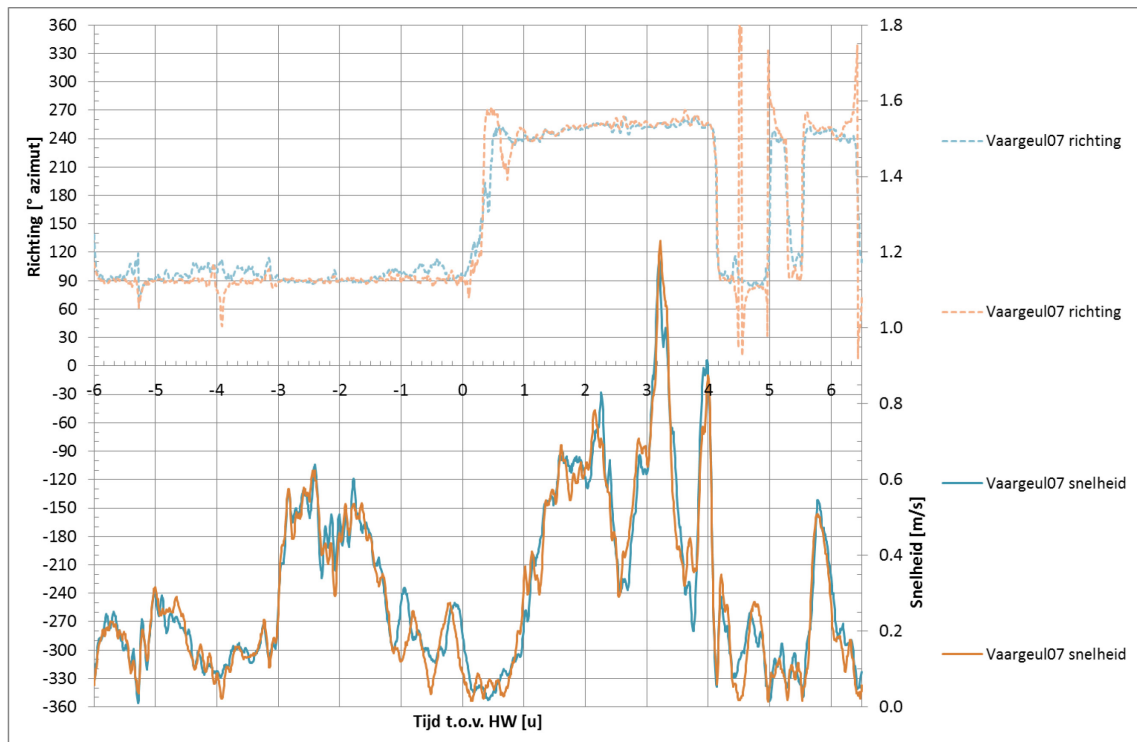
Figuur 13 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul03.



Figuur 14 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul04.



Figuur 15 - Reproduceerbaarheid EMS-meting in meetpunt Vaargeul07.

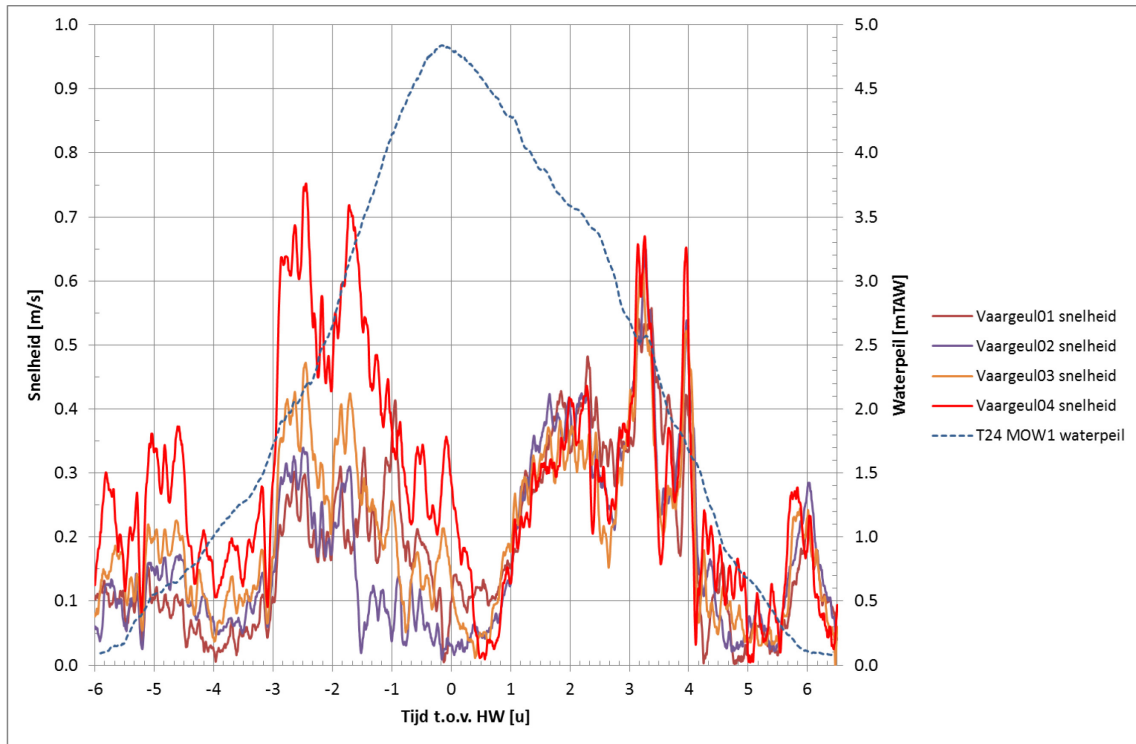


3.2.2 Snelheden in het nieuwe binnenvaartkanaal

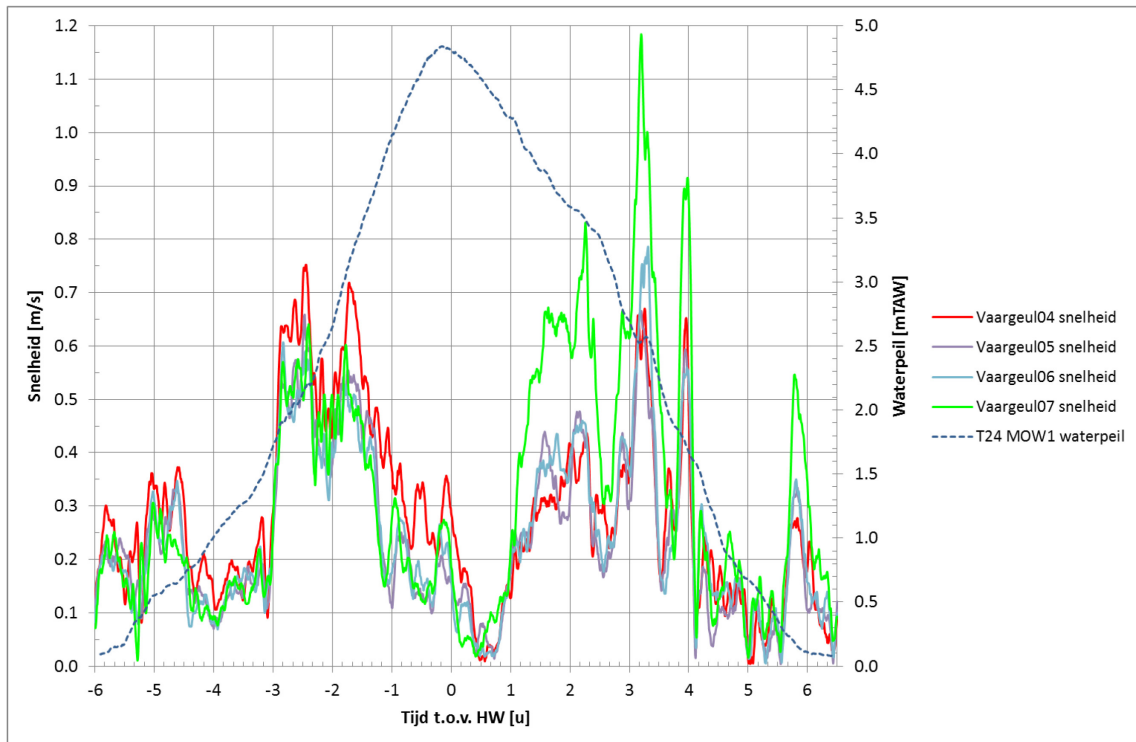
Figuur 16 toont het snelheidsverloop in de meetpunten Vaargeul01 tot Vaargeul04, centraal in de zone waar het nieuwe binnenvaartkanaal aansluit op het CDNB, over het volledige getij. Ter referentie wordt op de achtergrond de tijkromme weergegeven. Figuur 17 is een gelijkaardige figuur voor de meetpunten Vaargeul04 – Vaargeul07 gelegen in het binnenvaartkanaal zelf. Meetpunt Vaargeul04 is in beide figuren opgenomen. Deze metingen geven een goed inzicht in het tijdsverloop van de stroomsnelheden in de gewijzigde zone van scenario T24.

De stroomsnelheid in de vloedfase (3u tot 1u voor HW) bedraagt ongeveer 0.4 m/s in de aansluitzone en 0.7 m/s in het binnenvaartkanaal. In de eb fase (1.5u tot 4u na HW) is dit ongeveer 0.6 m/s behalve aan de nieuwe haveningang waar een kortstondige piek tot 1.2 m/s wordt opgetekend. Verder valt op dat de stroomsnelheid fluctueert, en dit is in de eb fase nog meer uitgesproken dan in de vloedfase. Deze schommelingen waren ook visueel goed waarneembaar tijdens de proeven.

Figuur 16 - Stroomsnelheden in aansluiting binnenvaartkanaal-CDNB (meetpunten Vaargeul01 - Vaargeul04).



Figuur 17 - Stroomsnelheden in binnenvaartkanaal (meetpunten Vaargeul04 - Vaargeul07).



3.2.3 Stroming in CDNB

Om meer inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke verdeling, is het stromingspatroon in de gewijzigde havenconfiguratie ook opgemeten met de PTV-techniek. De volledige tijdreeks stromingspatronen is opgenomen in bijlage, inclusief een vergelijking met de huidige toestand in bijlage 1. De belangrijkste tijdstippen in het getij worden hier verder besproken.

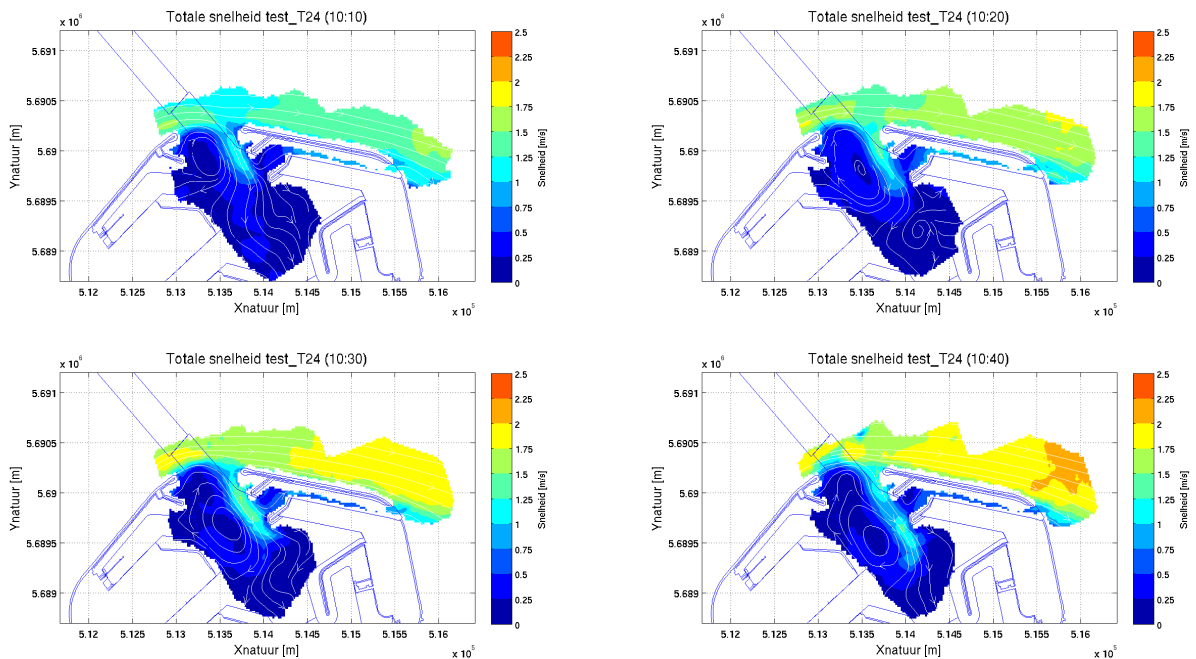
De hoeveelheid informatie in het binnenvaartkanaal is eerder beperkt in de figuren. Er is geen informatie aan de randen van het binnenvaartkanaal omdat de vlotters de neiging hebben om samen te klitten en te blijven hangen tegen de zijwanden. Uit een grondige analyse, zowel bij getijcondities als met een stationaire stroming in het schaalmodel, is gebleken dat de snelheden opgemeten met de PTV-techniek in het binnenvaartkanaal niet bruikbaar zijn om conclusies uit af te leiden. In het binnenvaartkanaal kan enkel gebruik gemaakt worden van EMS-metingen.

Ter herinnering: in de titels van de plots staat het tijdstip van het getij, waarbij 12:00 overeenstemt met het tijdstip van hoogwater.

Vanaf 2 uur voor hoogwater stroomt het water door de bestaande haveningang met een uitgesproken ‘jet’ nabij de kop van de oostelijke havendam. Dit is gelijkaardig aan de instroom in de huidige toestand maar de ‘jet’ in T24 start 10 min vroeger en is ook een beetje sterker. De ‘jet’ bereikt 1.5 uur voor hoogwater een maximale snelheid van ongeveer 1.5 m/s (Figuur 18). Het water dat binnenstroomt door de haveningang dient nu niet enkel meer om het tijgebonden deel van de haven te vullen maar stroomt deels door het nieuwe binnenvaartkanaal ook terug naar buiten. Bovendien is de ligging van de ‘jet’ nog meer oostwaarts dan in T0.

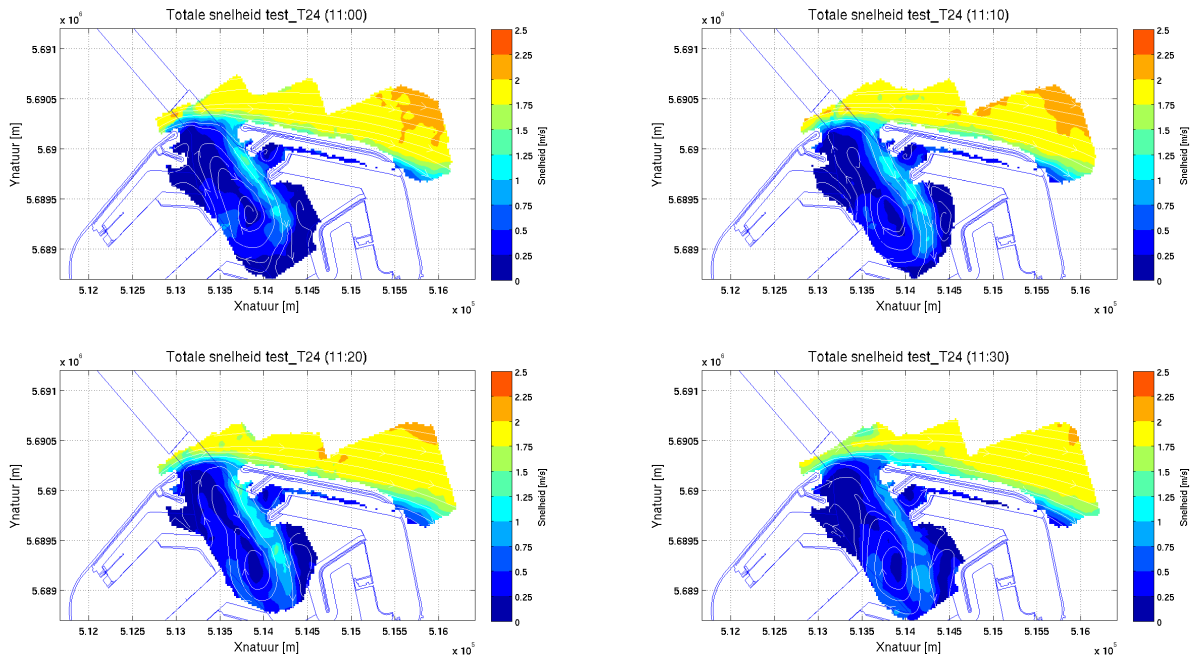
Verder is ook duidelijk te zien dat de stroming in de zone tussen het CDNB en het binnenvaartkanaal excentrisch is.

Figuur 18 - Stromingspatroon 1.5 uur voor hoogwater.



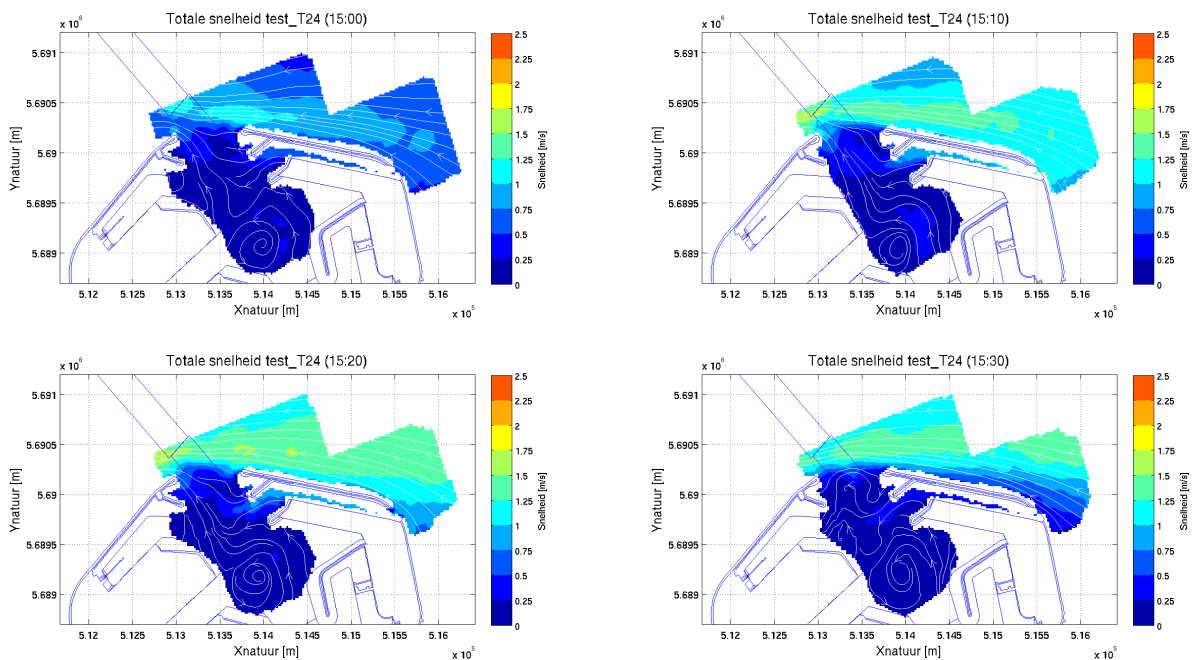
Deze instroom blijft zich sterk manifesteren aan de oostzijde van het CDNB tot ongeveer een half uur voor hoogwater (Figuur 20). Deze stroming creëert een grote neer in wijzerzin in het CDNB en drukt een kleine neer in tegenwijzerzin tegen de LNG-dam.

Figuur 19 - Stromingspatroon 1 uur voor hoogwater.



Een half uur na hoogwater verandert de stroming in het binnenvaartkanaal van richting, om dan geleidelijk aan toe te nemen. De stroming tussen het binnenvaartkanaal en het CDNB is het grootst tussen 3 uur en 4 uur na hoogwater en is ook dan asymmetrisch (Figuur 20).

Figuur 20 - Stromingspatroon 3 uur na hoogwater.



3.2.4 Resultaten en discussie

In voorgaande paragrafen werden de metingen van de snelheden en de stromingspatronen in het schaalmodel voorgesteld op de belangrijkste tijdstippen in het getij. In bijlage staat de volledige PTV-meetreeks voorgesteld, zowel vergeleken met de metingen T0 van het schaalmodel (bijlage 1) als met de berekeningsresultaten van het Telemac model voor T24 (bijlage 2). De EMS-metingen van het schaalmodel staan voorgesteld in Figuur 16 en Figuur 17.

Een vergelijking tussen de EMS-metingen in het binnenvaartkanaal en de Telemac berekeningen toont aan dat beide resultaten beperkte verschillen vertonen en daarnaast vrij goed overeenstemmen. Volgende observaties kunnen vastgesteld worden:

- Tijdens de vloedfase treden in het numeriek model de grootste stroomsnelheden in het binnenvaartkanaal op omstreeks 1u50 à 1u40 voor hoogwater.
- Vlak daarna (ongeveer 1u30 voor hoogwater) treedt er een piek op in de aansluitzone en deze is excentrisch gelegen (waardoor hij niet gemeten wordt door de EMS-meettoestellen in deze zone). Bovendien is deze stroming schuin georiënteerd op de aansluiting met het binnenvaartkanaal. Dit betekent dat er een niet-uniform stroomveld optreedt rondom de schepen in deze zone in deze fase van het getij.
- Het numeriek model toont in de vloedfase geen 2 snelheidspieken in het binnenvaartkanaal zoals het schaalmodel.
- Tijdens de eb fase lopen de stroomsnelheden in het binnenvaartkanaal in het numeriek model op tot 0.5 m/s en dit is een beetje lager dan de EMS-metingen. In de nieuwe haventoeegang treedt een snelheid tot 0.6 m/s op, in tegenstelling tot de 1.2 m/s in het schaalmodel. De oorzaak van dit grote verschil is het verschil in snelheid in beide modellen ten oosten van de haven.

Algemeen kan aangenomen worden dat de EMS-metingen op het schaalmodel een zeer goed beeld geven van de stroomsnelheden in het nieuwe binnenvaartkanaal in scenario T24. Enige onzekerheid bestaat bij de kortstondige hoge snelheidspiek in de eb fase in de nieuwe haventoeegang. Immers, het schaalmodel is gekalibreerd met natuurmetingen in de Pas van het Zand zonder gedetailleerde informatie aan de oostzijde van de haven.

Een vergelijking tussen de PTV-metingen in de haven in scenario T24 en de Telemac berekeningen wordt voor een volledige getijcyclus weergegeven in bijlage 2 (*opgelet: in de Telemac resultaten werden de 2 blauwschakeringen voor snelheden tussen 0.25 m/s en 0.75 m/s door andere kleuren vervangen om de leesbaarheid van de figuren te verbeteren*). Hieruit blijkt dat het stromingspatroon in de haven in beide modellen gelijkaardig is over het getij, maar dat er een klein verschil is in de ligging van de 'jet' in de achterste helft in het CDN. In het schaalmodel ligt de 'jet' iets meer in het oosten, in het numeriek model iets centraler en meer gericht naar de zandopvangkade.

In het CDN in de voorhaven kunnen volgende observaties gemaakt worden (zie ook bijlage 1 en bijlage 2):

- In de vloedfase lijkt de grotere stroomsnelheid nabij de kop van de oostelijke havendam (zogenaamde 'jet') iets langer op te treden dan in T0. Mogelijks komt dit doordat er meer water de haven moet instromen omdat een deel de haven opnieuw verlaat via de tweede opening.
- De jet in de vloedfase is een beetje meer naar de oostkant van het CDN gericht dan in T0, opnieuw door de aanwezigheid van het nieuwe binnenvaartkanaal. Hierdoor ontstaat in het CDN 1 neer in wijzerzin, in tegenstelling tot 2 neren in T0.
- In de eb fase lijkt het uitspoelen van de neer te worden verhinderd door de eb stroom die uit het binnenvaartkanaal in het CDN komt.

4 Besluit

Het Waterbouwkundig Laboratorium heeft in het schaalmodel van Zeebrugge de getijstroming onderzocht voor een scenario waarbij er een tweede haveningang is gemaakt ter hoogte van de bocht in de oostelijke havendam. Dit scenario omvat een nieuw binnenvaartkanaal aan de binnenzijde van de noordoostdam.

Er zijn snelheidsmetingen uitgevoerd in het nieuwe binnenvaartkanaal, in de aansluitzone tussen het binnenvaartkanaal en het CDNB, en in het CDNB. Deze metingen werden 2 keer uitgevoerd met 2 verschillende meettechnieken.

De stroomsnelheid in het binnenvaartkanaal loopt op tot ongeveer 0.7 m/s in de vloedfase (EMS-metingen). In de eb fase is dit ongeveer 0.6 m/s behalve aan de nieuwe haveningang waar een kortstondige piek tot 1.2 m/s wordt opgetekend in het schaalmodel. Enige onzekerheid bestaat bij deze kortstondige hoge snelheidspiek in de eb fase in de nieuwe haventoeegang omdat het schaalmodel gekalibreerd is met natuurmetingen in de Pas van het Zand zonder gedetailleerde informatie aan de oostzijde van de haven.

De stroomsnelheid in de aansluitzone bedraagt ongeveer 0.4 m/s in de vloedfase en ongeveer 0.6 m/s in de eb fase. De stroming in deze zone is excentrisch en de stromingsrichting is soms onder een hoek gericht ten opzichte van de vaargeul in de aansluitzone, waardoor een niet-uniform stroomveld rondom een schip optreedt.

In de vloedfase blijft de instromende 'jet' in het CDNB nabij de kop van de oostelijke havendam bestaan. Deze lijkt iets langer op te treden dan in de huidige situatie. Dit is het gevolg van het feit dat er meer water de haven moet instromen omdat een deel de haven opnieuw verlaat via de tweede opening. De jet in de vloedfase is een beetje meer naar de oostkant van het CDNB gericht dan in de huidige situatie, opnieuw door de aanwezigheid van het nieuwe binnenvaartkanaal en door de gewijzigde havenconfiguratie aan de oostkant. Hierdoor ontstaat in het CDNB 1 neer in wijzerzin, in tegenstelling tot 2 neren in T0.

In de eb fase lijkt het uitspoelen van de neer te worden verhinderd door de ebstroom die uit het binnenvaartkanaal in het CDNB komt.

5 Referenties

Vlaamse Overheid Afdeling Kust (2011). 'Stroomatlas: haven van Zeebrugge 2011: stroommetingen in de Pas van het Zand en de haven van Zeebrugge', Afdeling Kust, Oostende, België. (in Dutch).

Willems, M.; Van Dingenen, B.; Delgado, R.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2011). 'Nautische toegankelijkheid haven Zeebrugge: technisch ontwerp schaalmodel. versie 2.0'. 'WL Rapporten model 780_03. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen'.

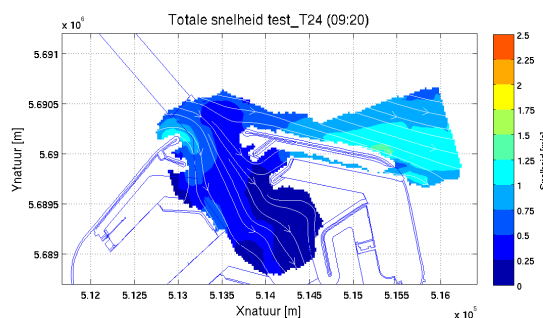
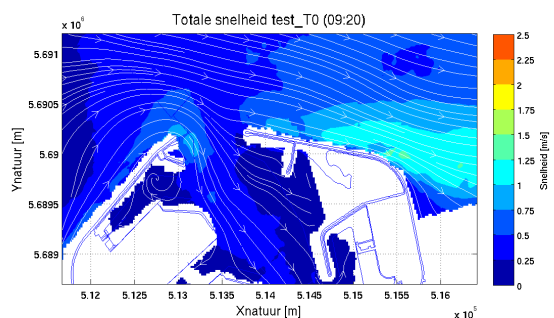
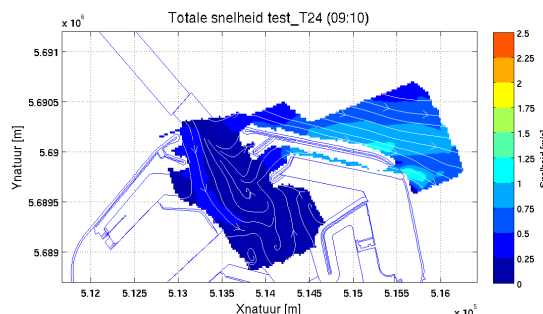
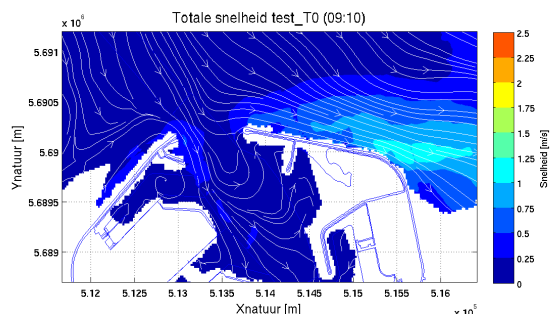
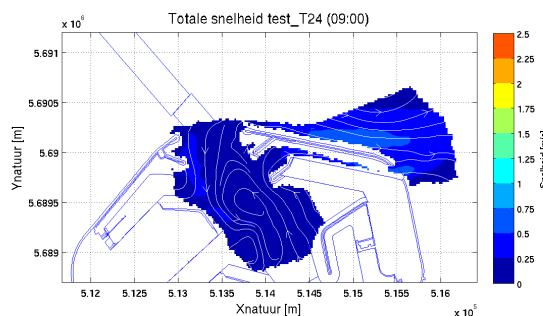
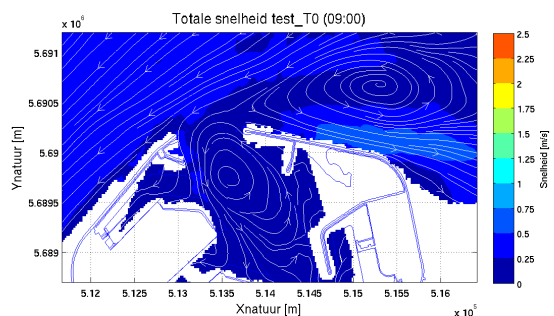
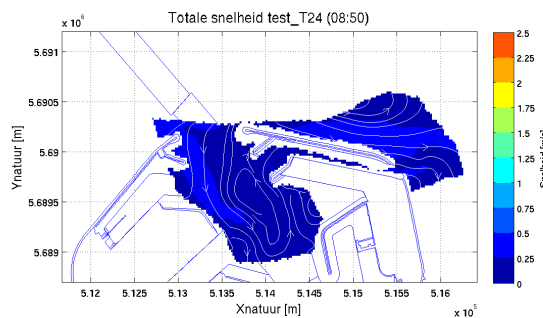
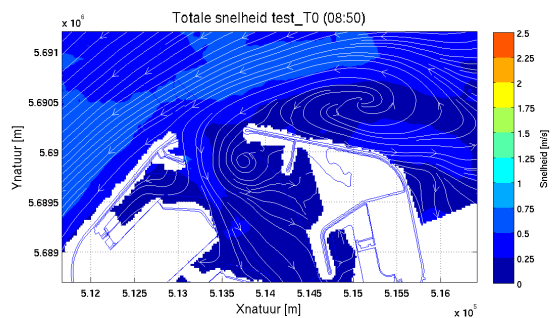
Willems, M., Hassan, W., Heyvaert, G. (2014). 'Calibration of the large physical model of the port of Zeebrugge', 3rd IAHR Europe Congress, book of proceedings, 2014, Porto–Portugal.

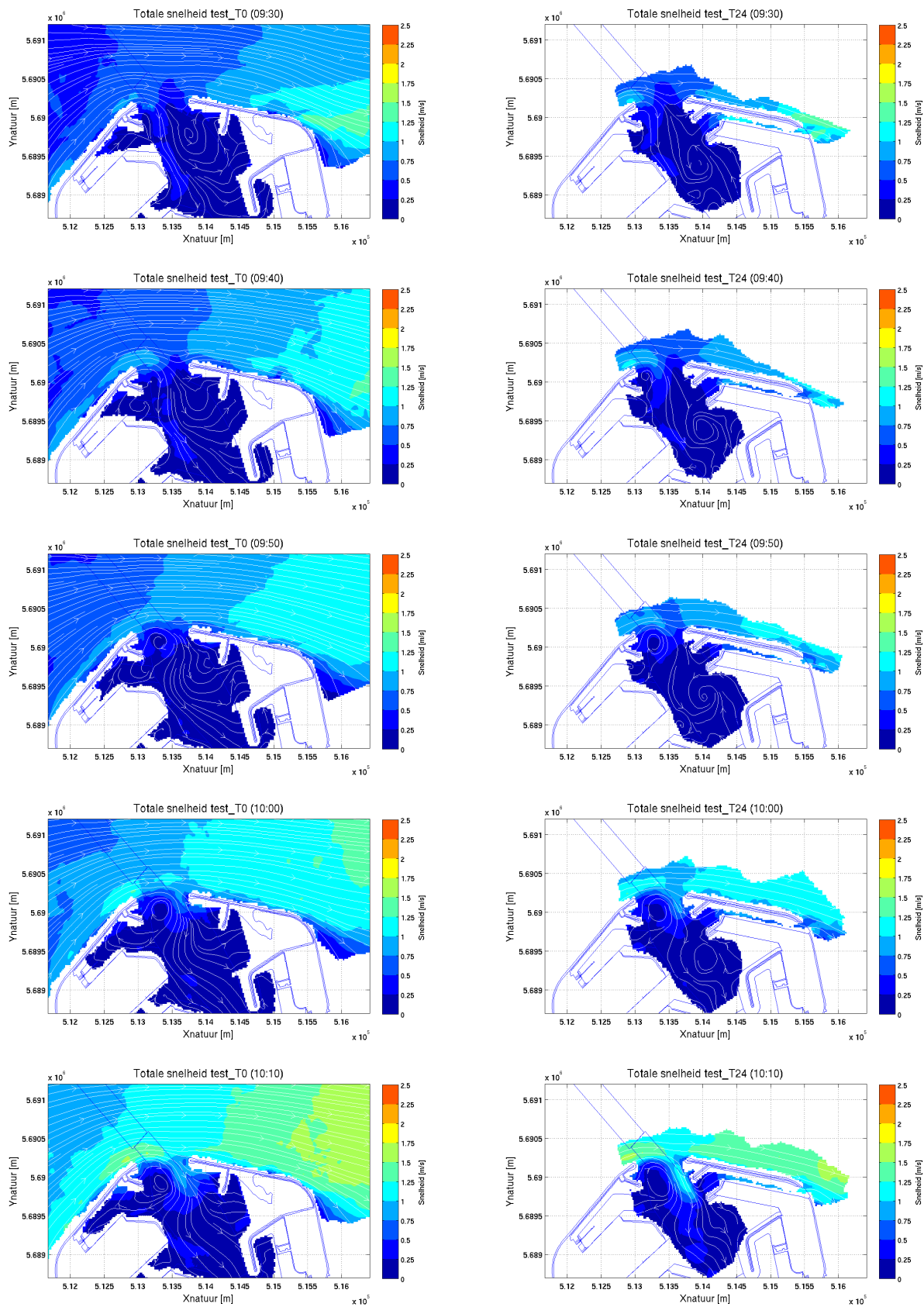
Bijlage 1: Figuren T0 en T24 (schaalmodel)

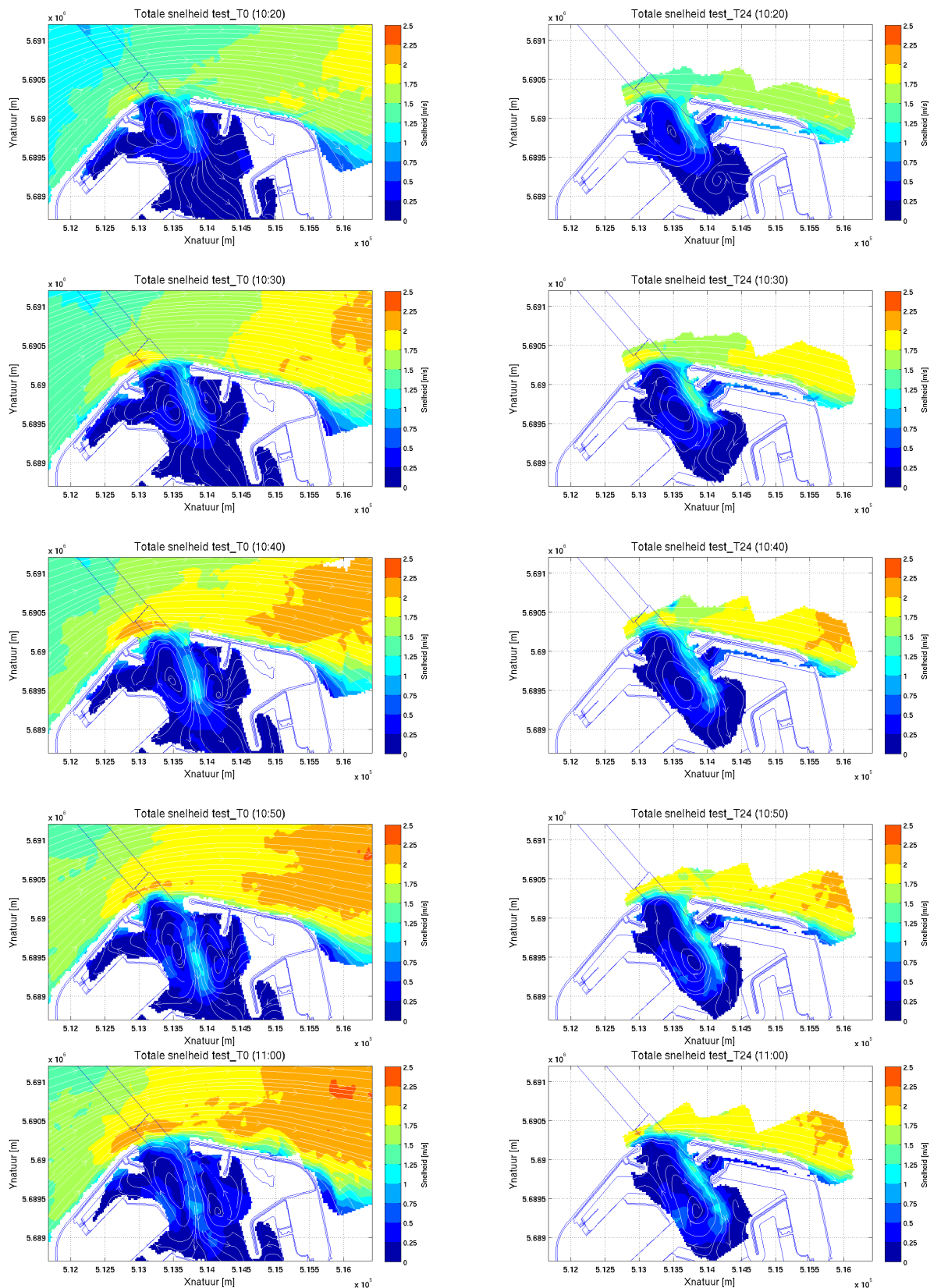
Stroombeelden

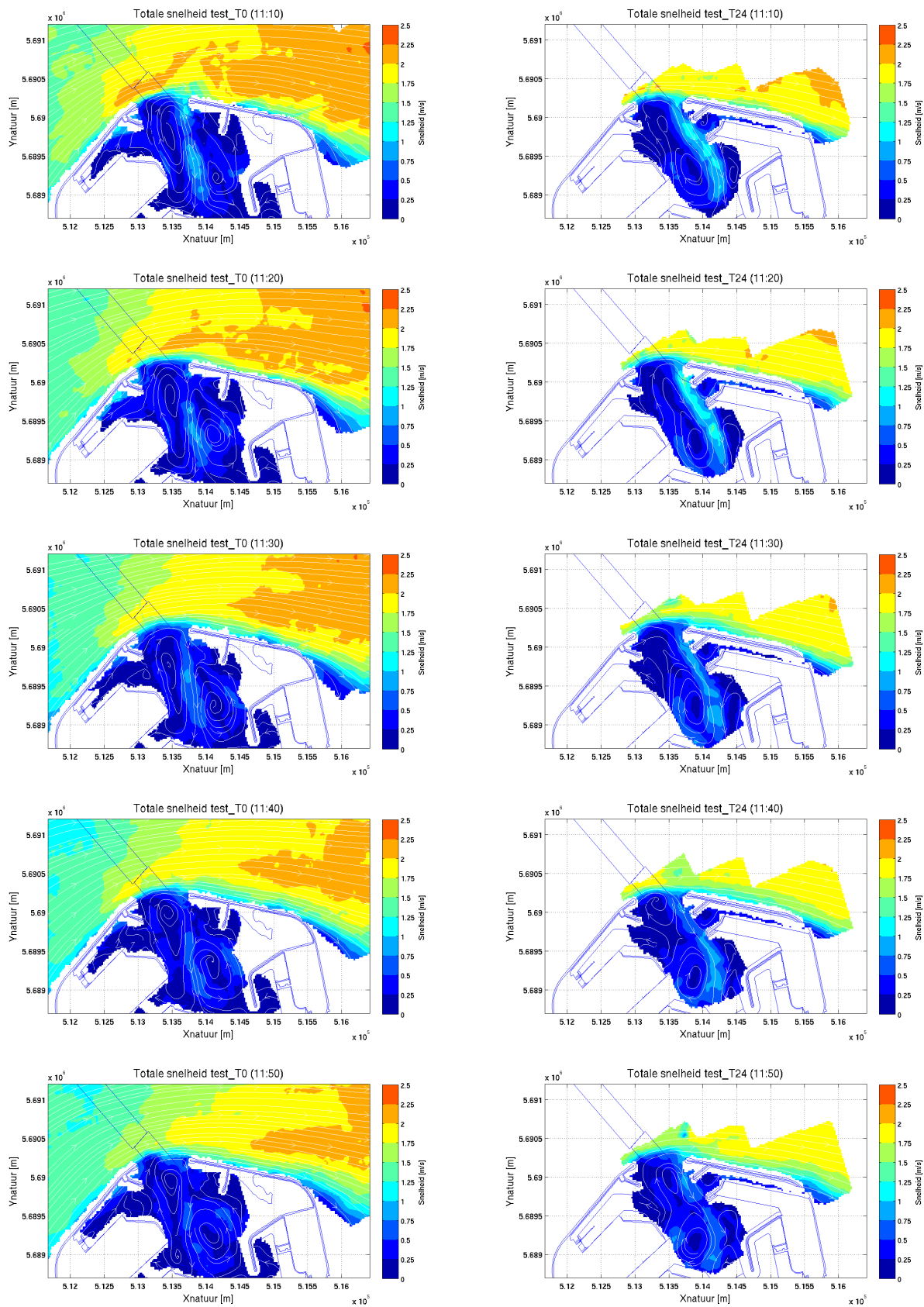
T0 (schaalmodel)

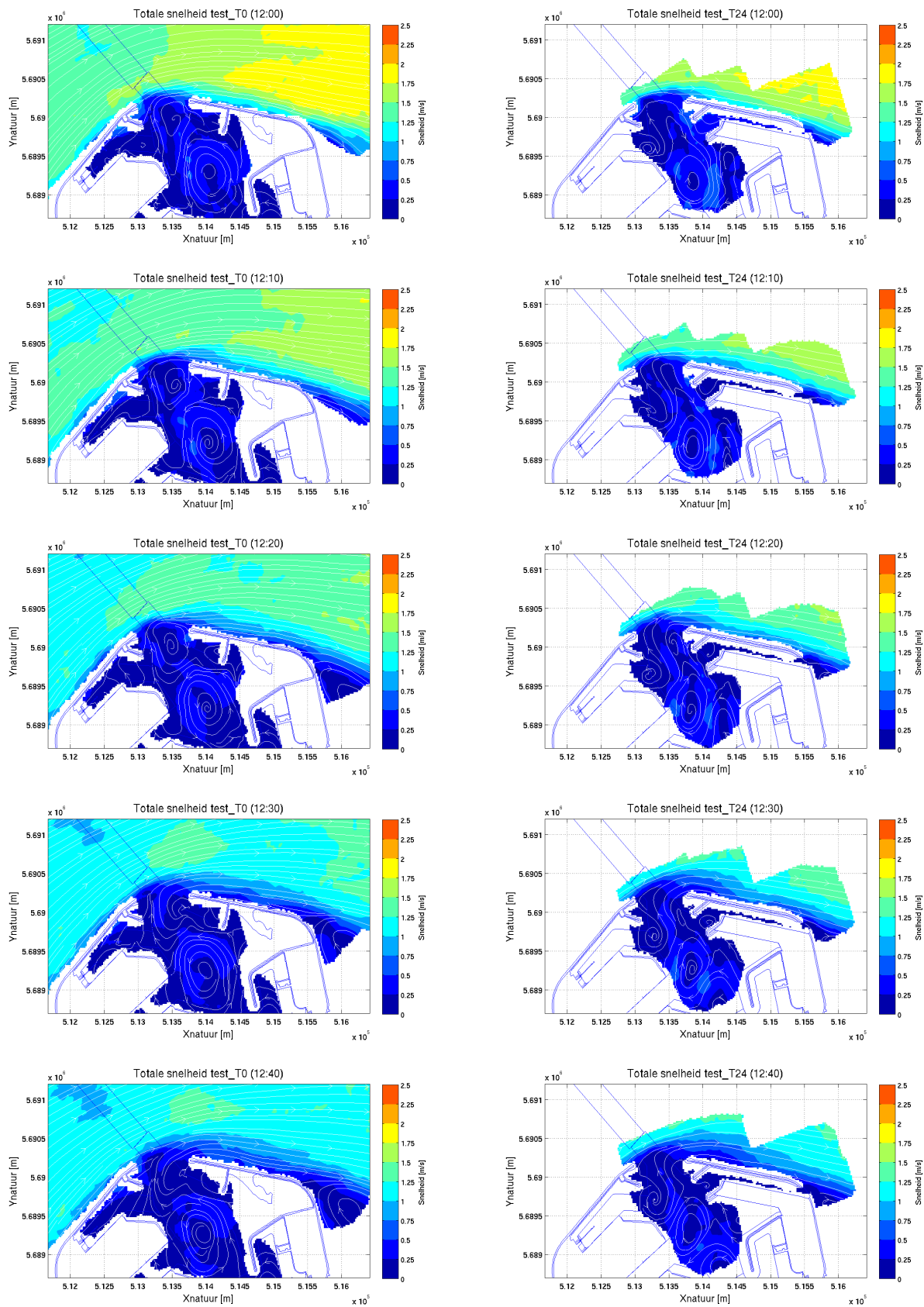
T24 (schaalmodel)

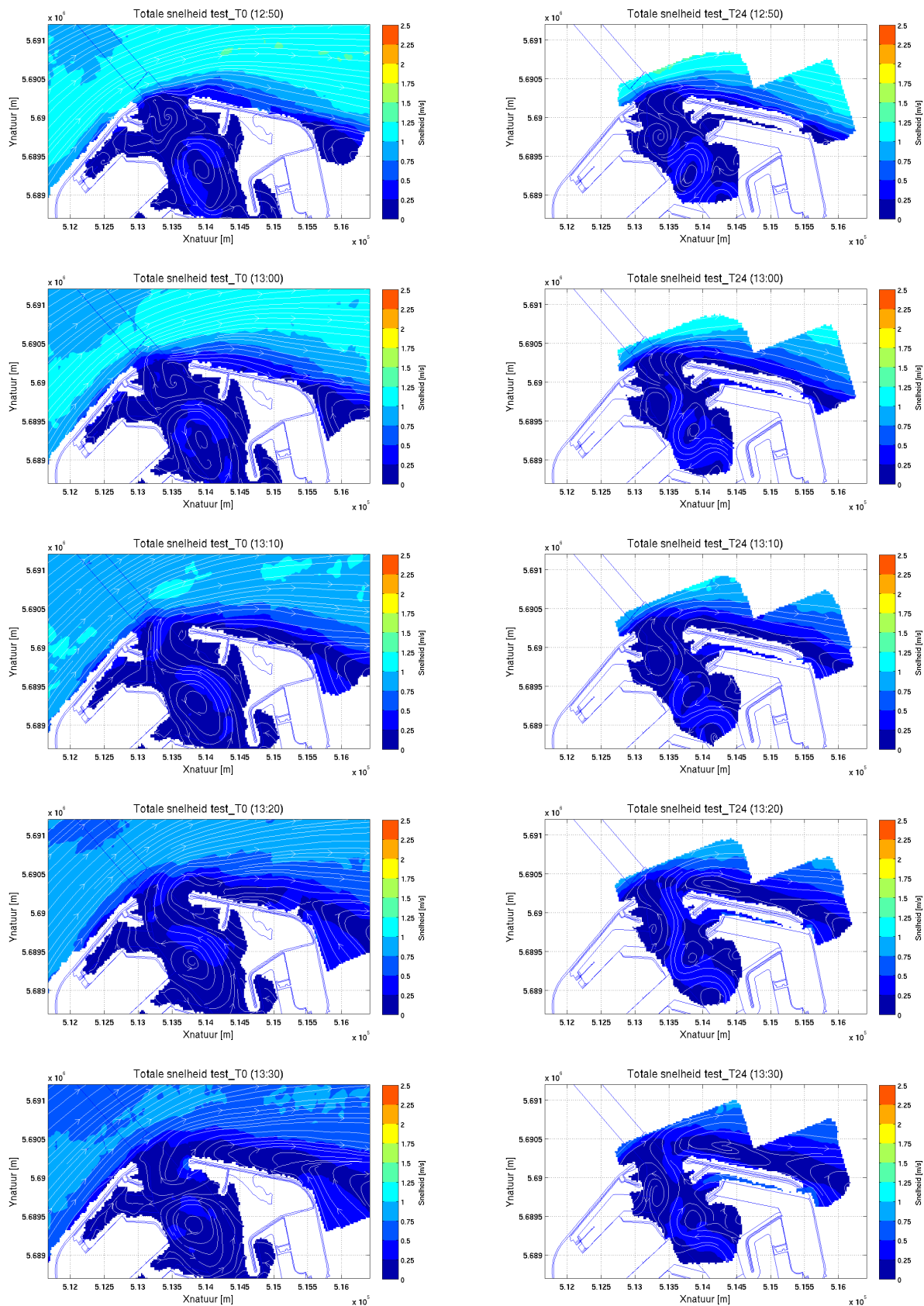


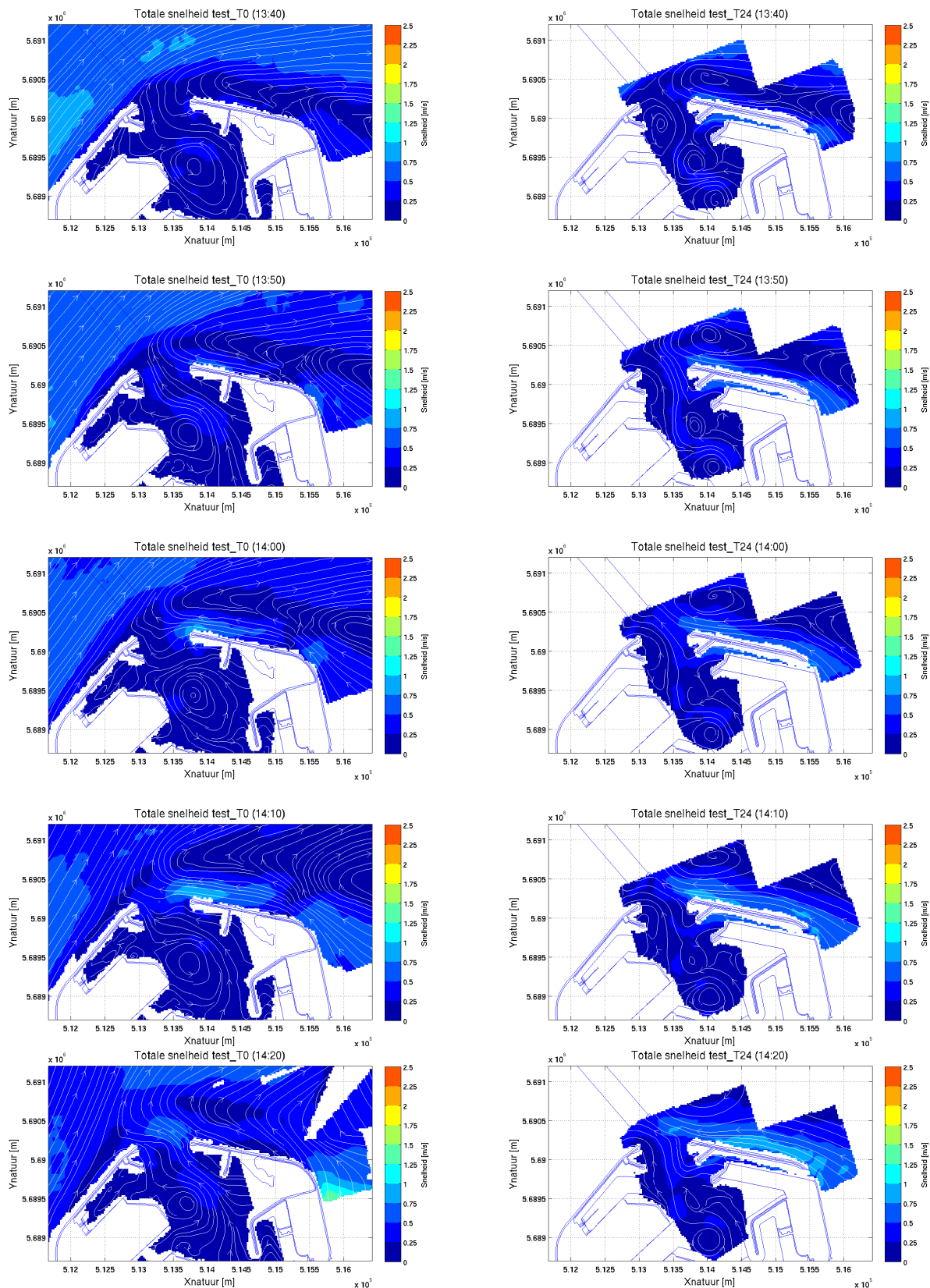


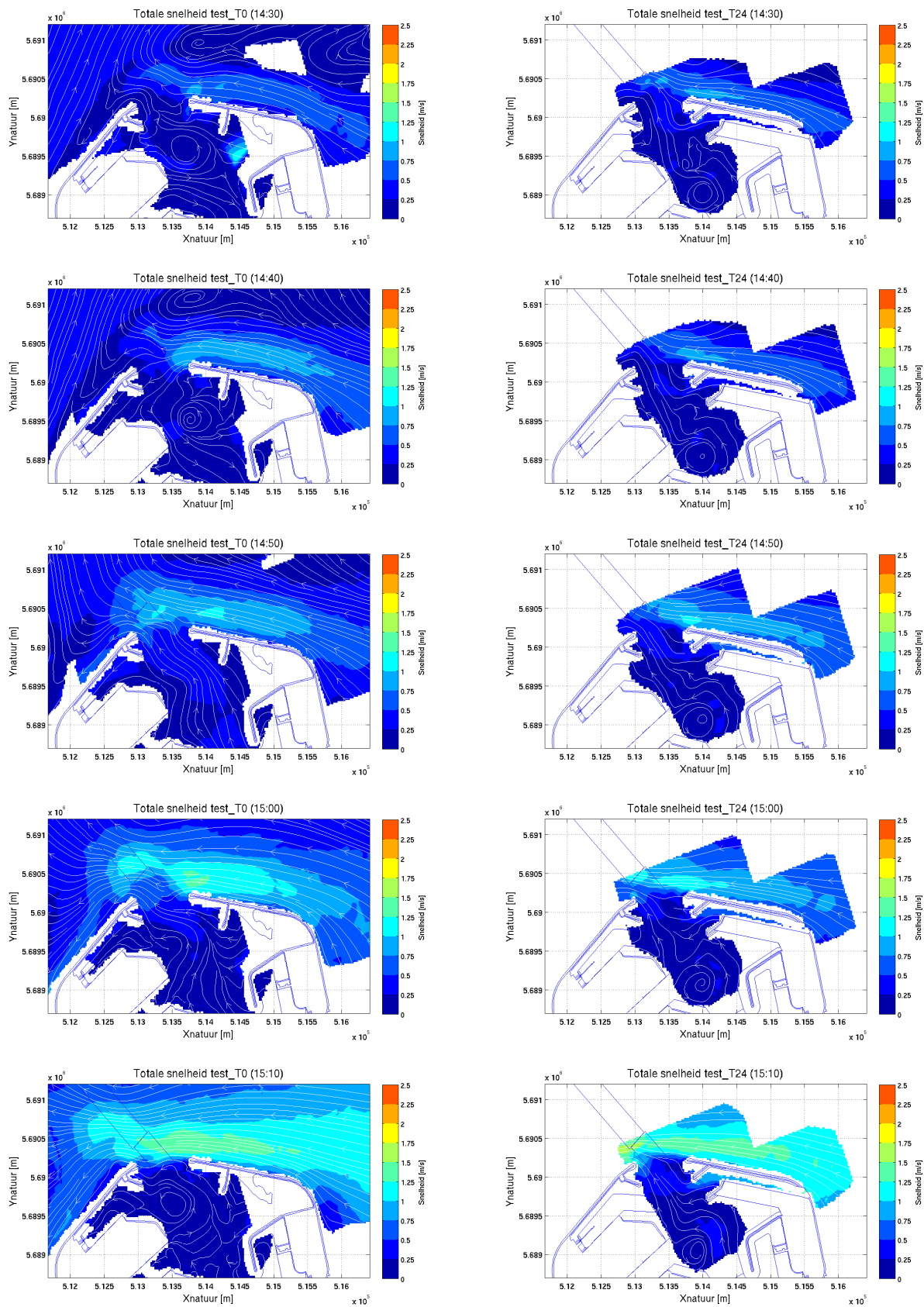


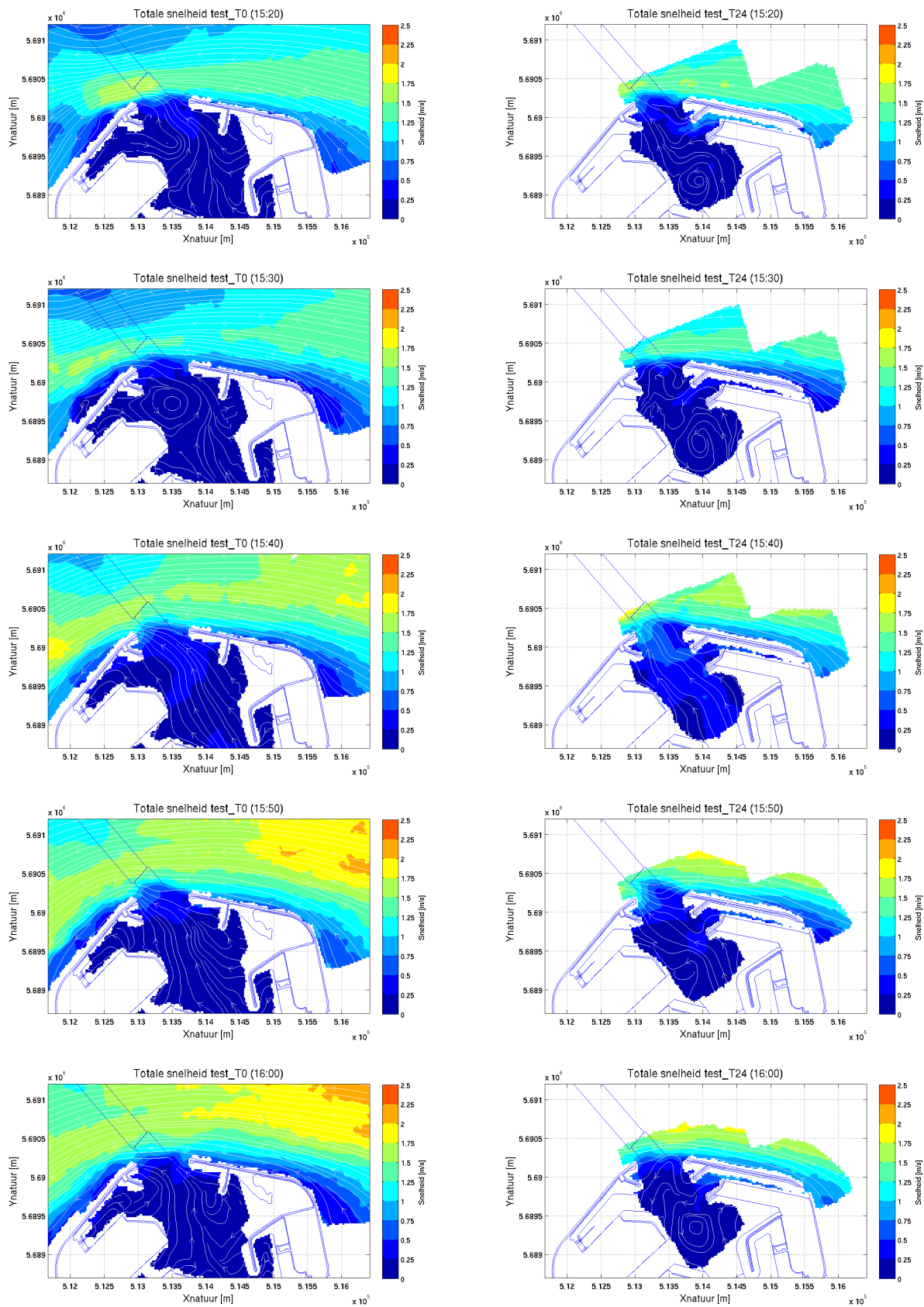


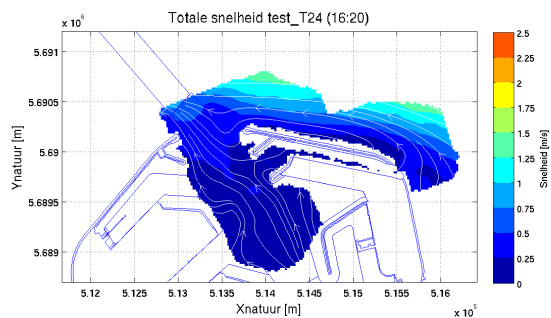
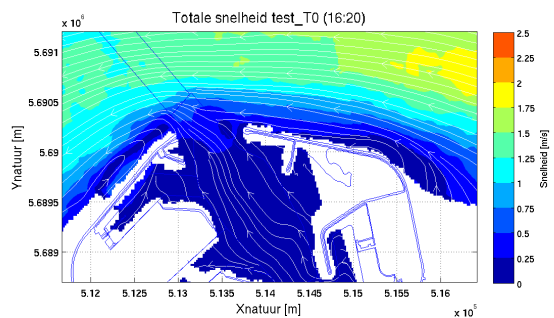
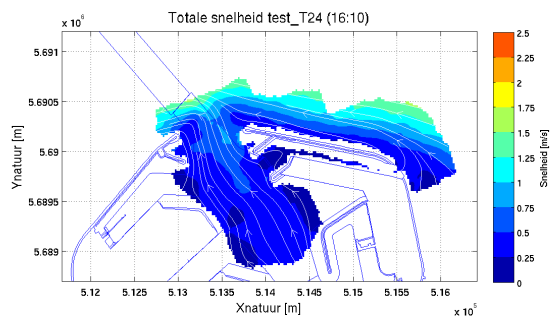
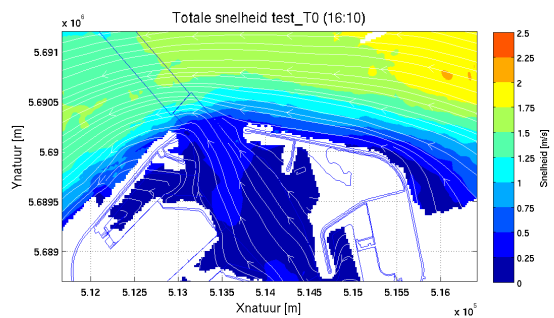






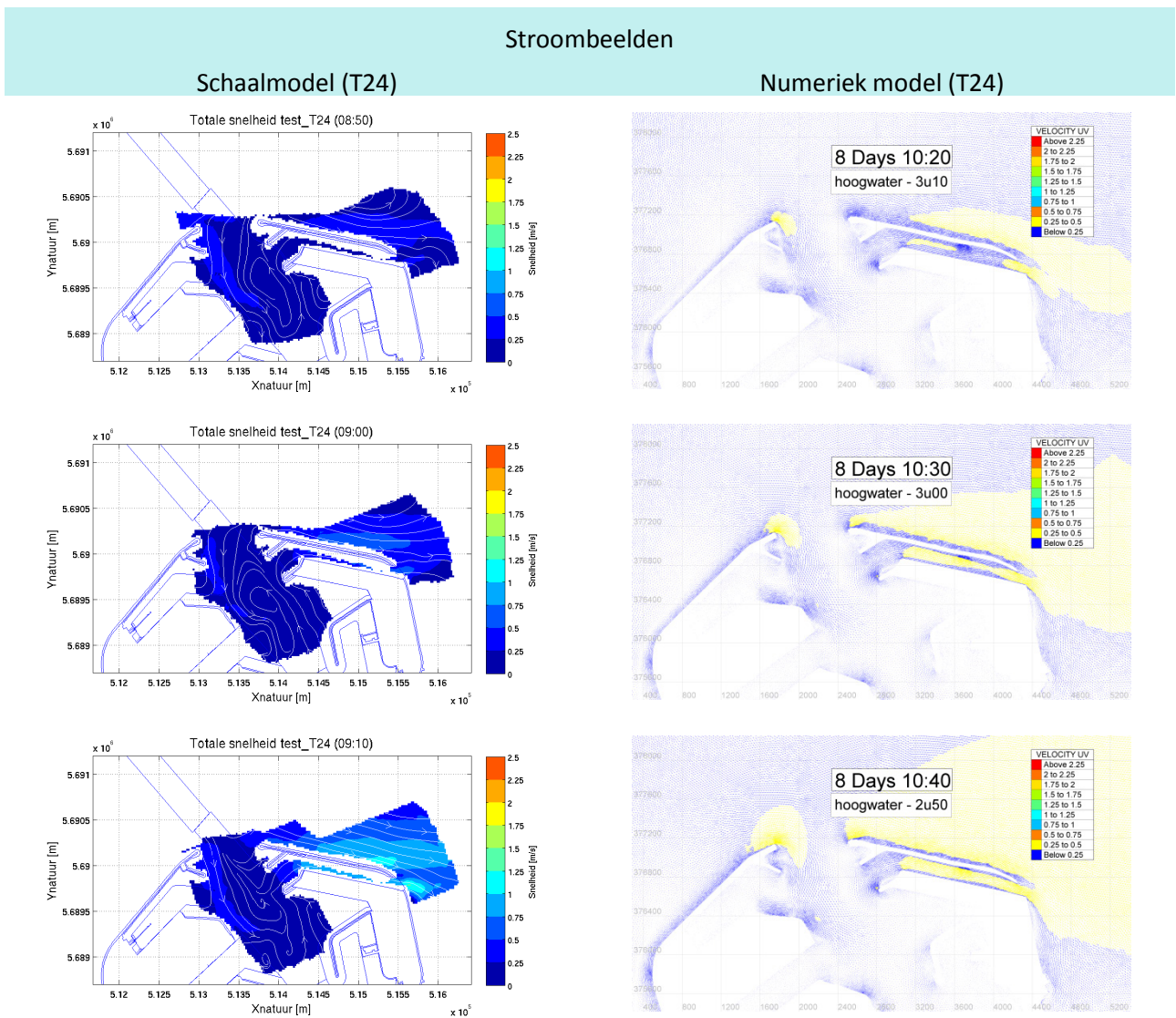


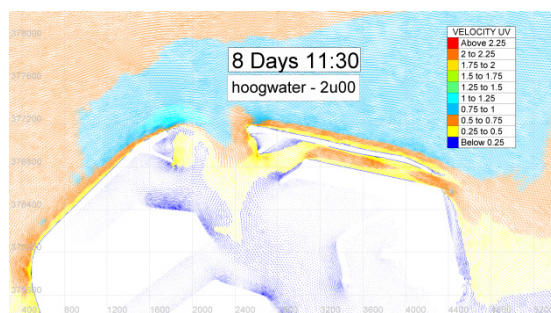
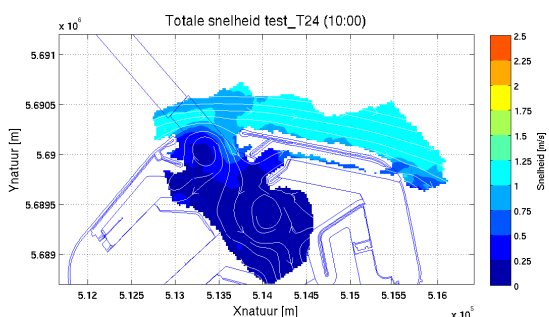
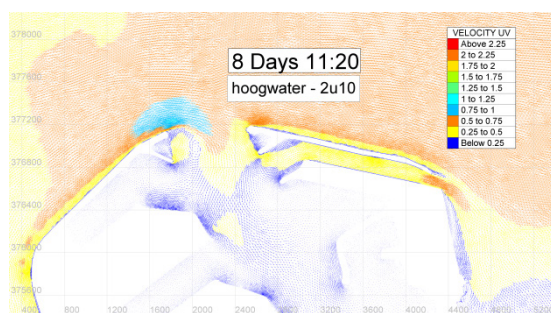
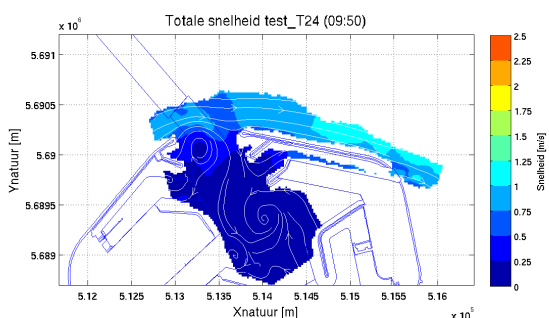
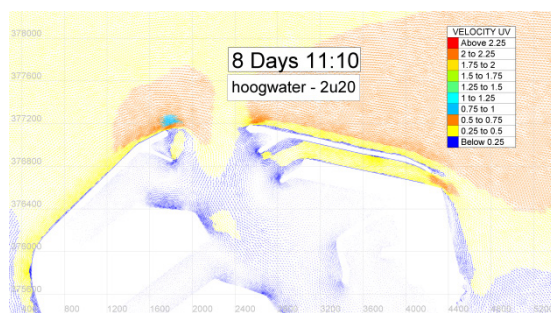
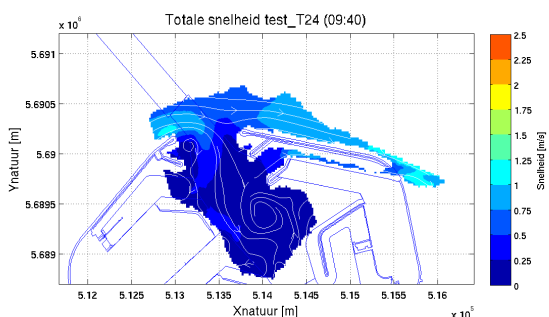
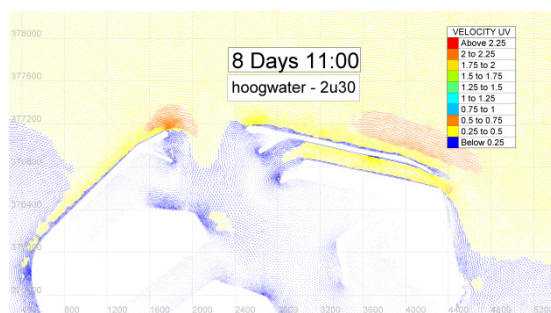
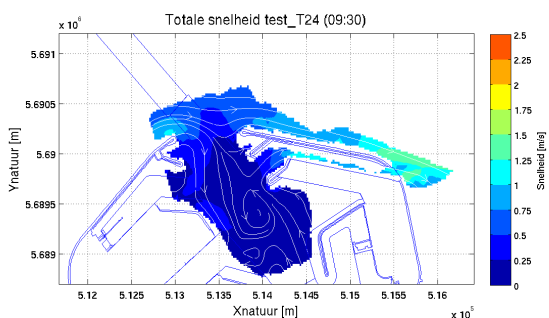
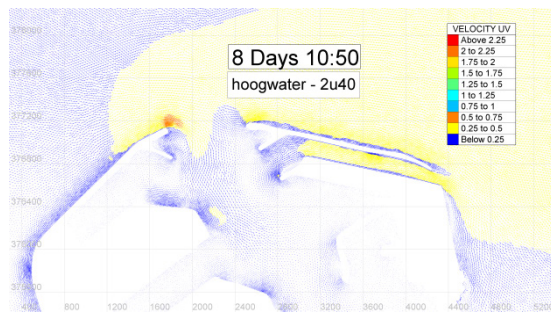
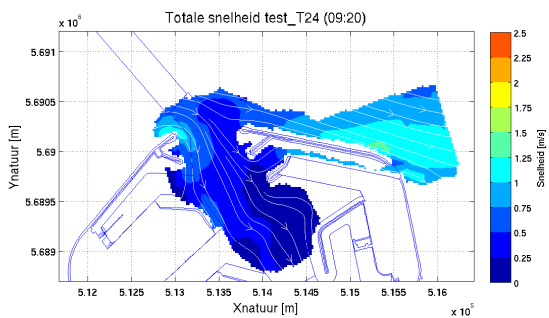


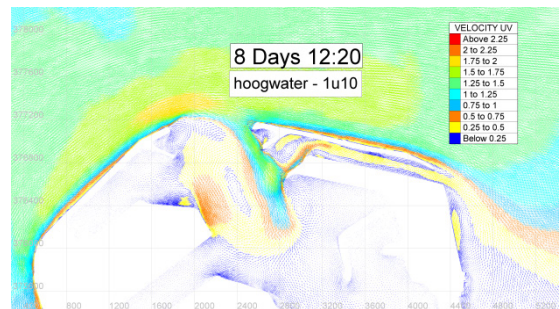
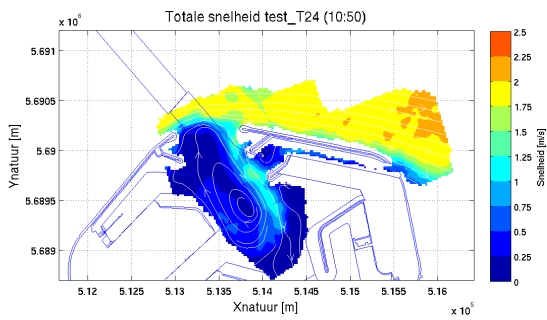
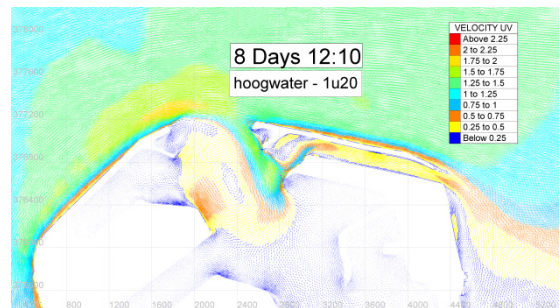
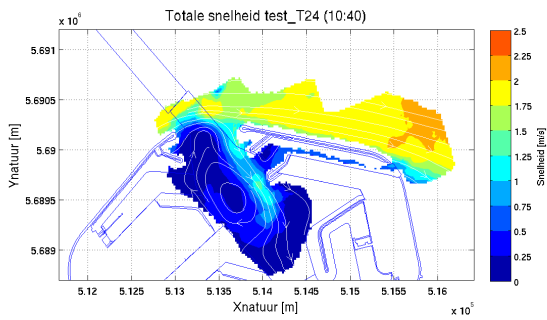
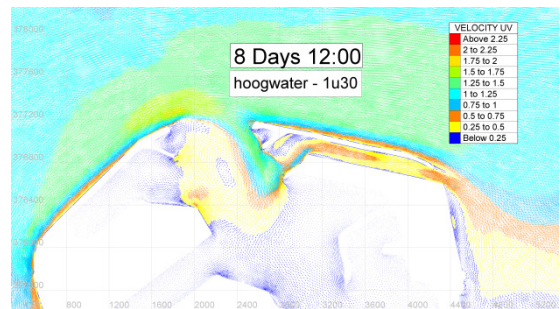
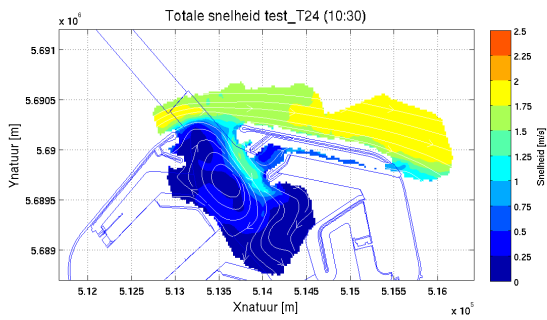
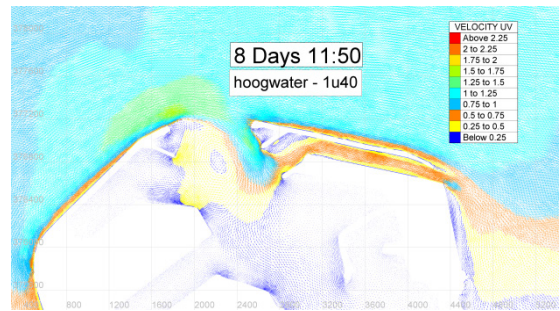
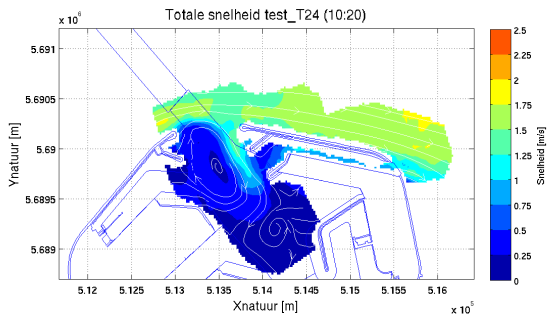
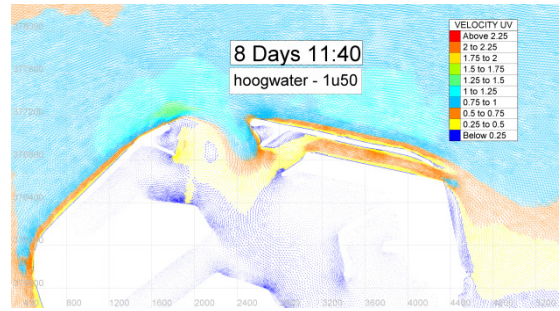
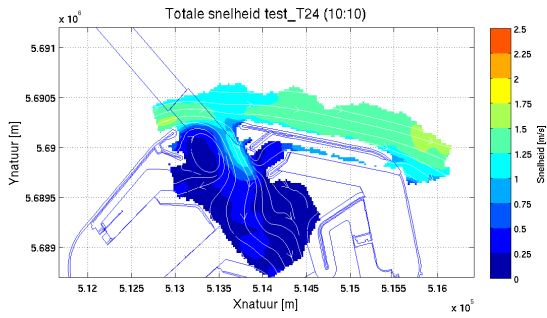


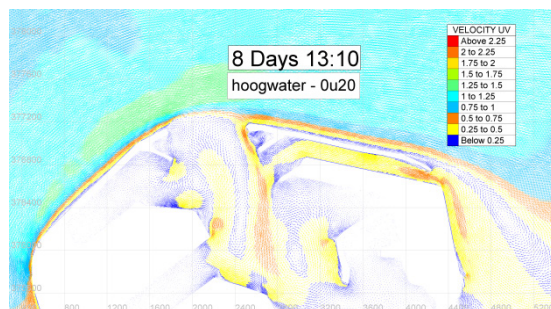
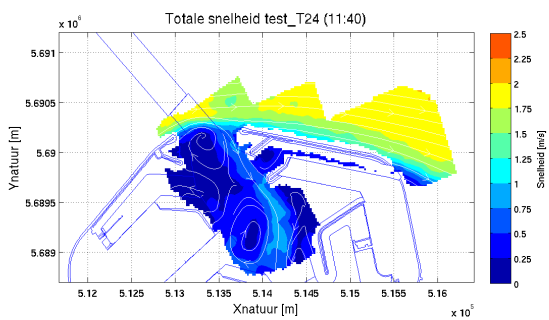
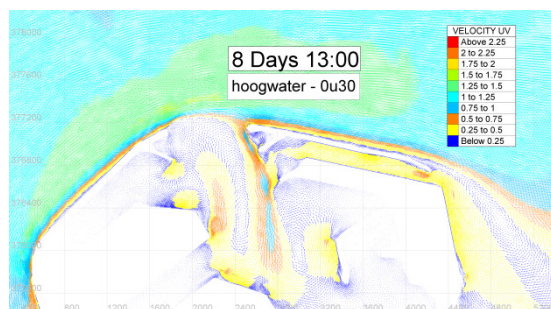
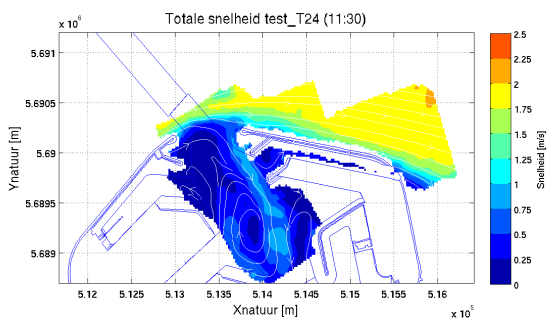
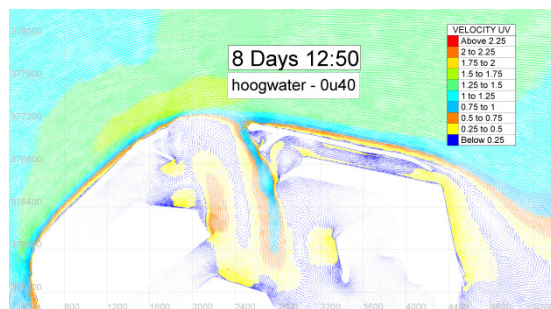
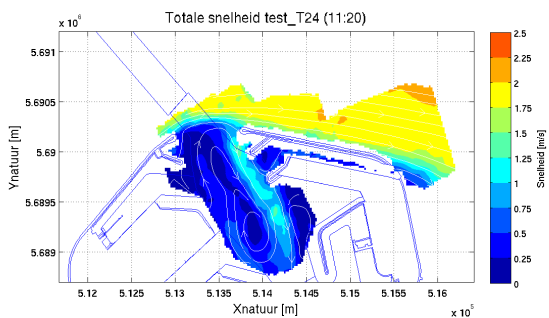
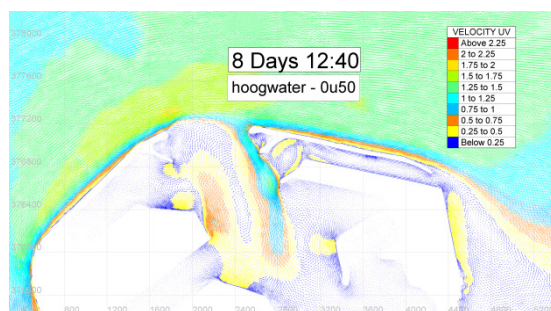
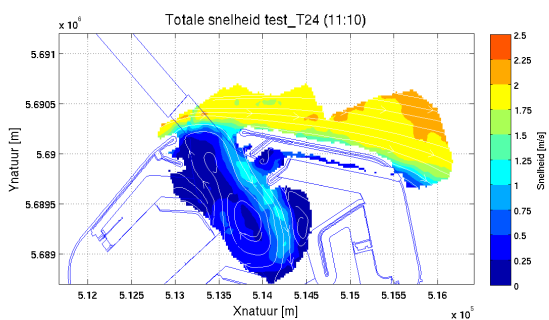
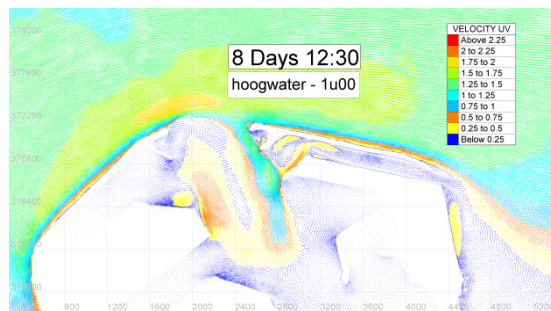
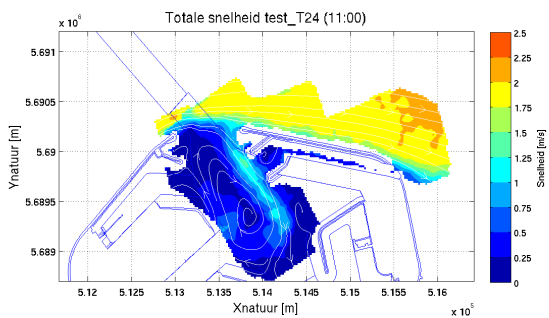
Bijlage 2: Figuren schaalmodel en numeriek model (T24)

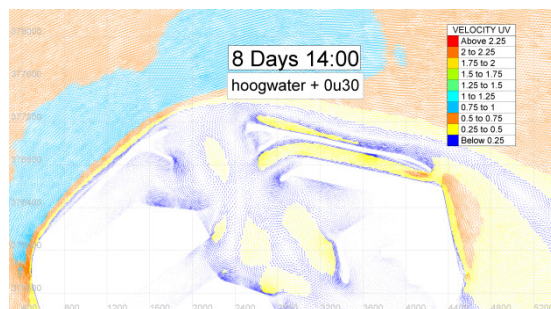
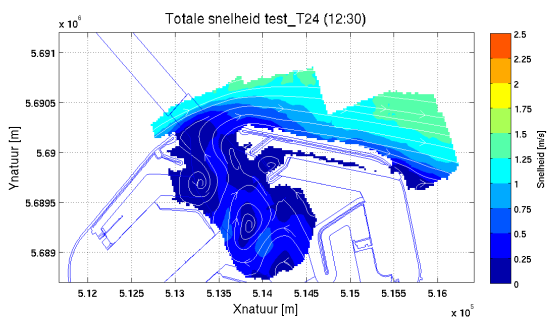
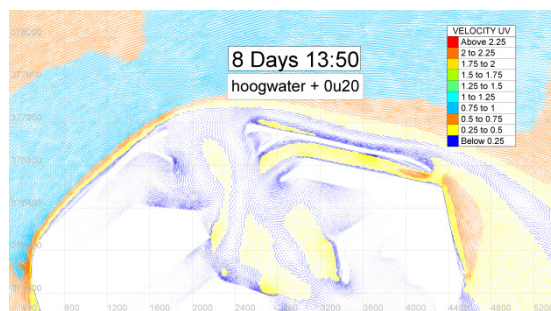
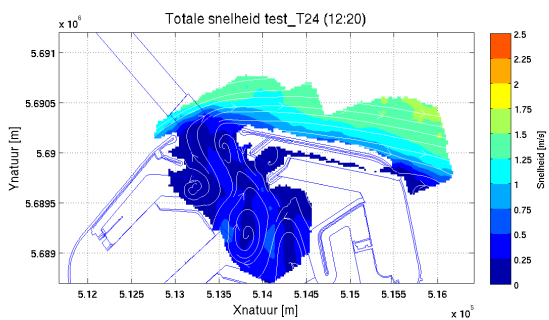
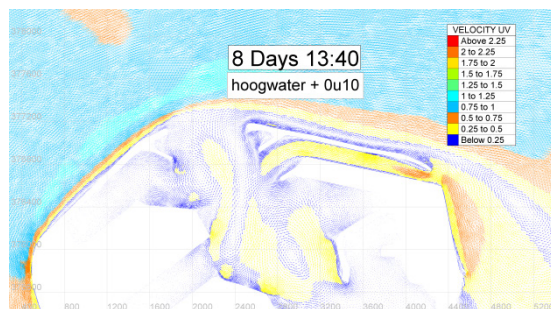
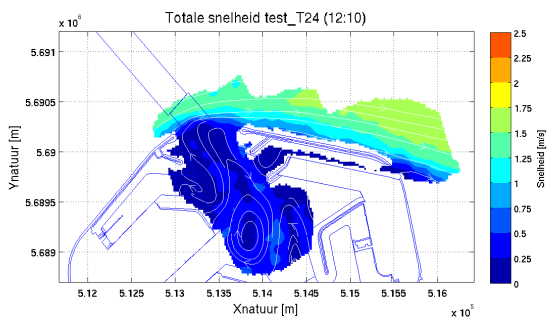
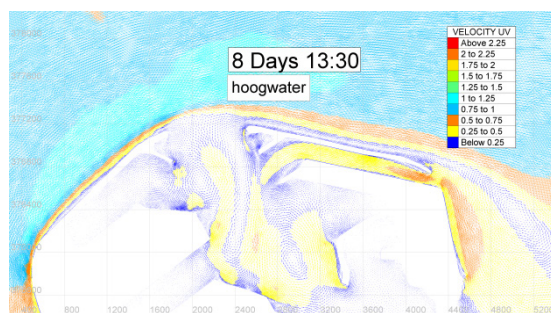
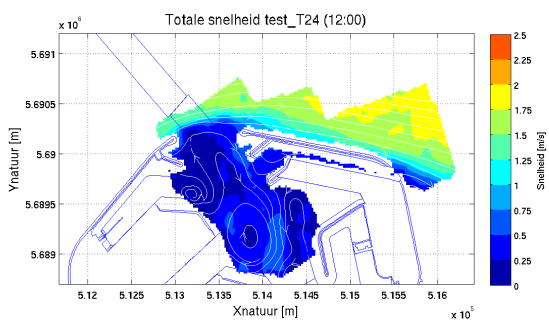
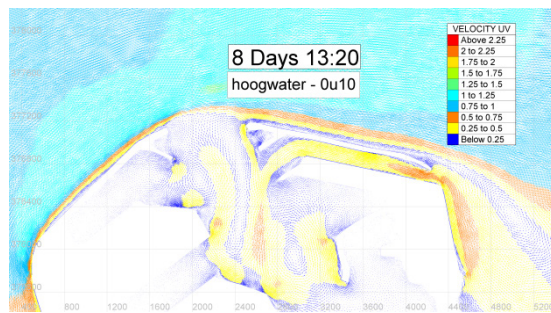
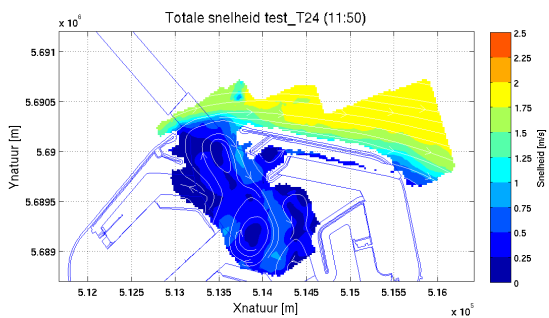
Opmerking: beide reeksen hebben eenzelfde schaalverdeling voor de snelheid, maar in de figuren van het numeriek model (rechterkolom) werden de 2 blauwskakeringen voor de snelheden tussen 0.25 m/s en 0.75 m/s door andere kleuren vervangen om de leesbaarheid van de figuren te verbeteren.

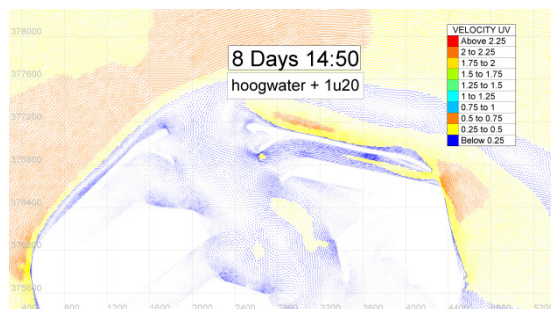
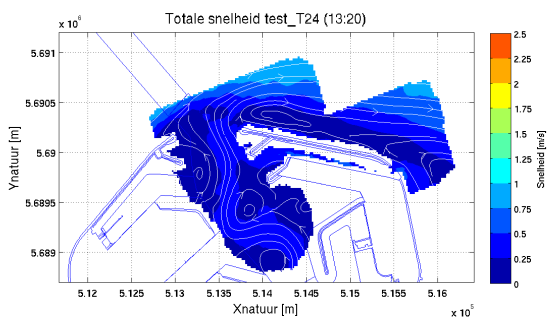
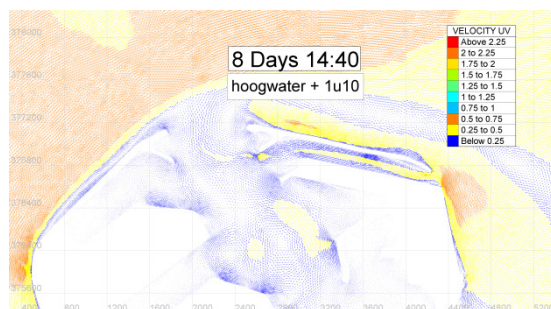
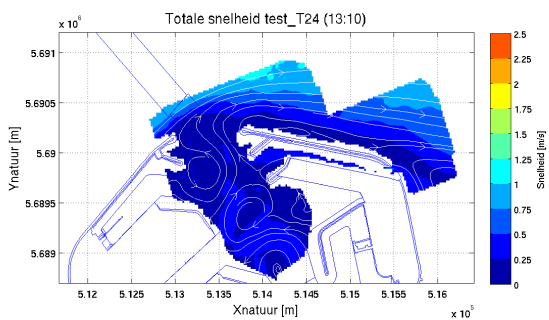
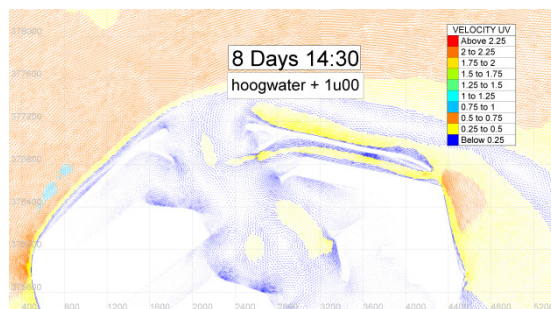
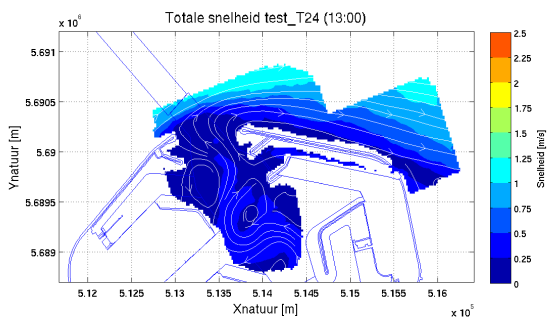
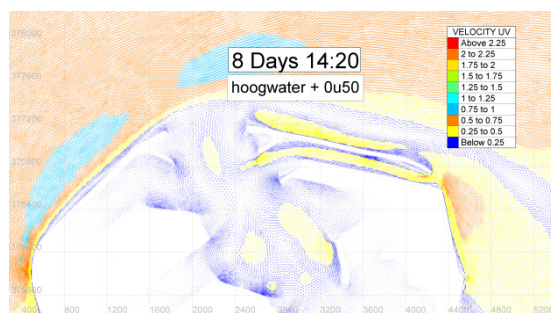
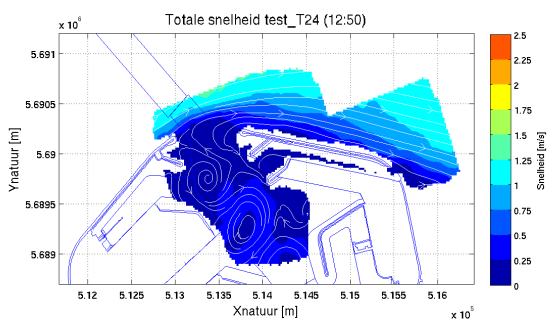
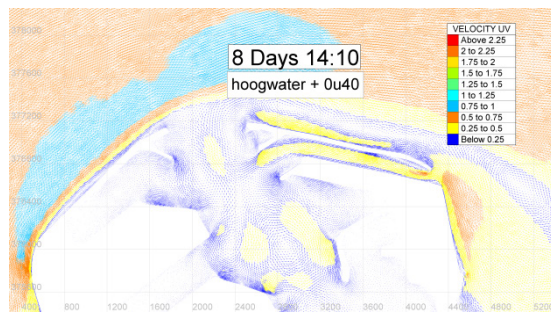
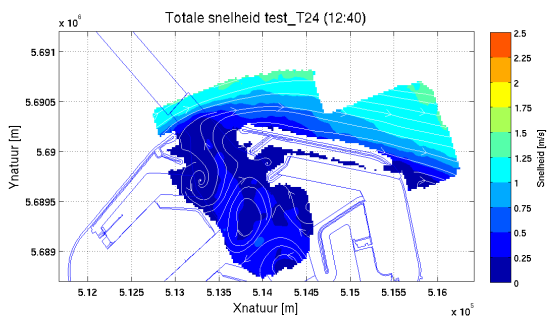


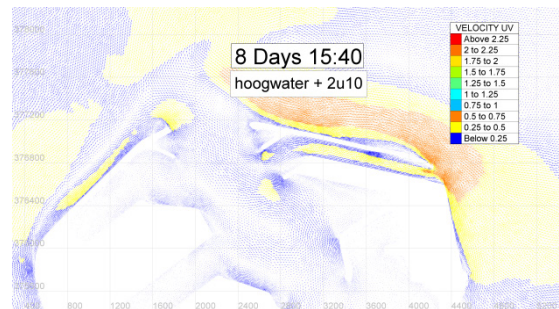
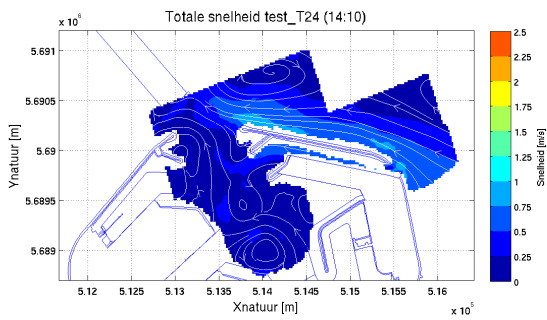
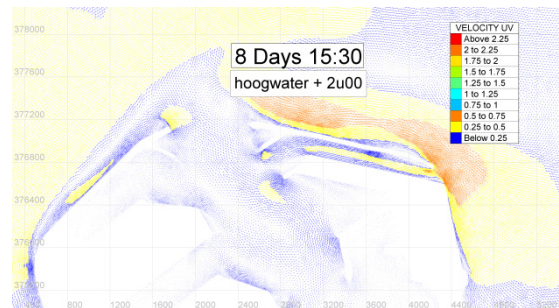
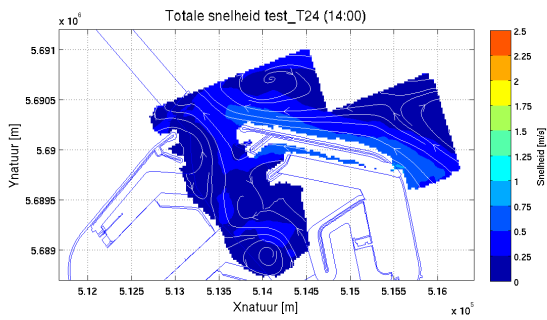
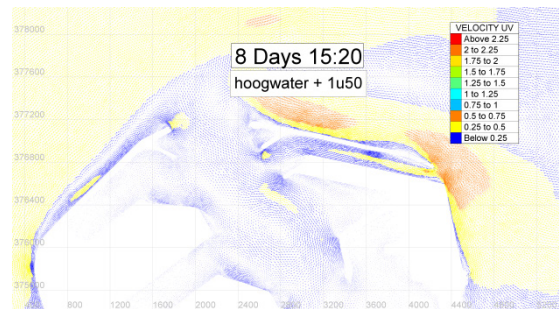
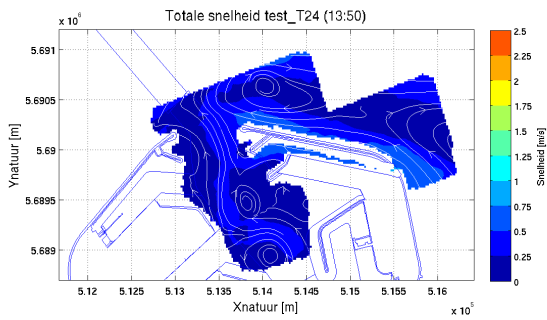
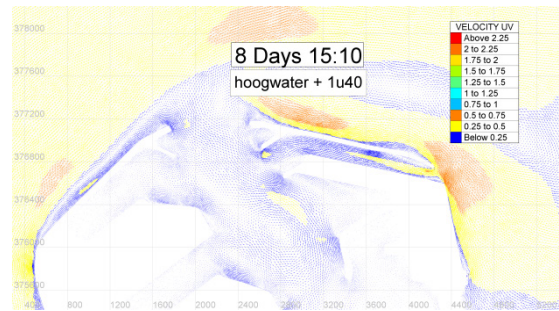
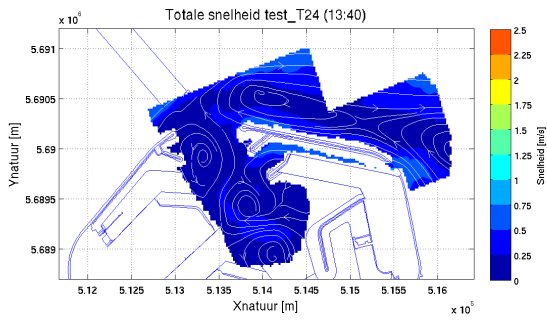
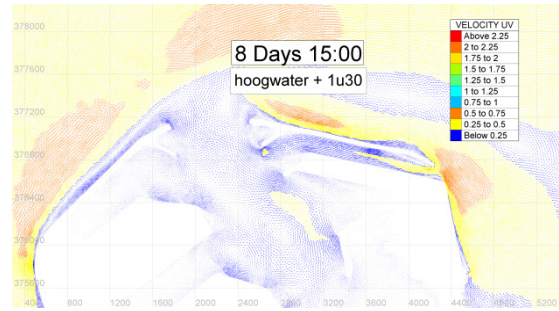
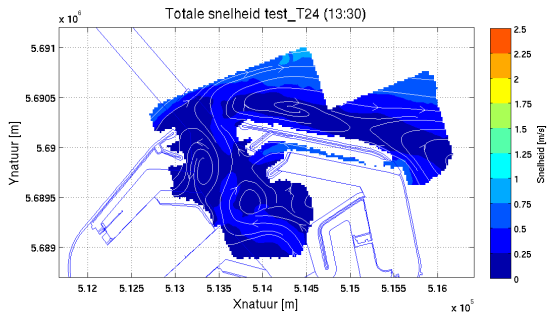


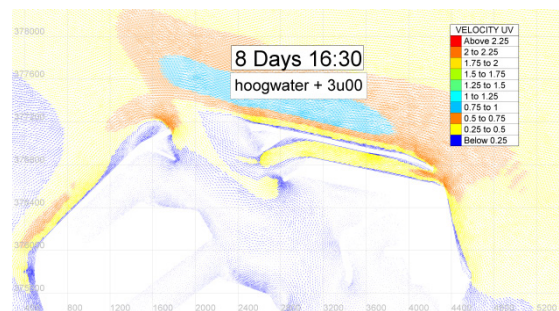
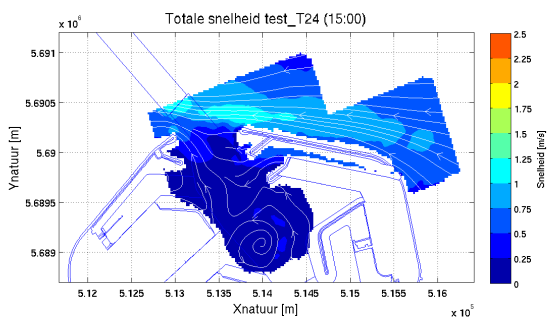
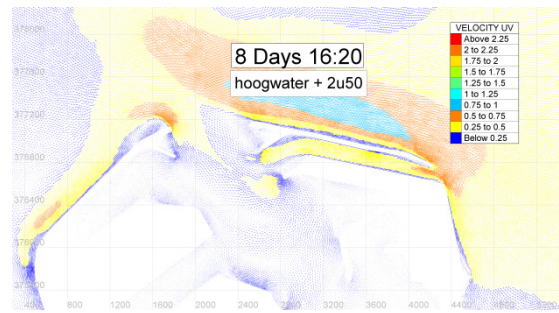
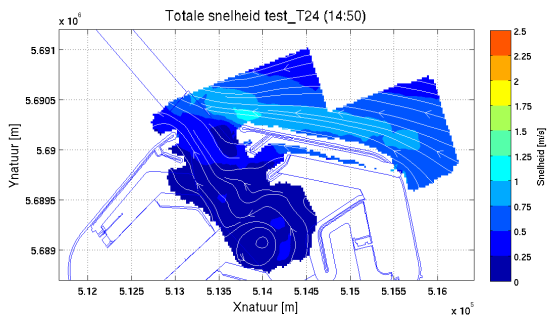
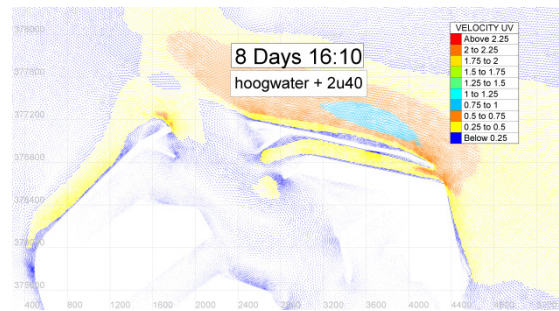
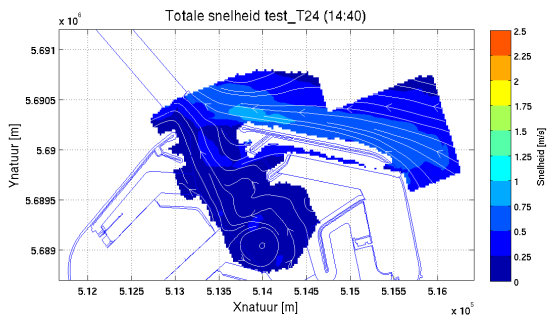
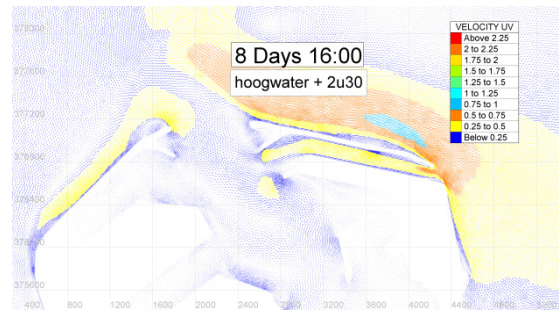
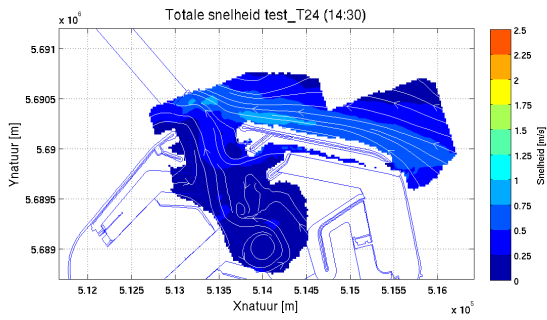
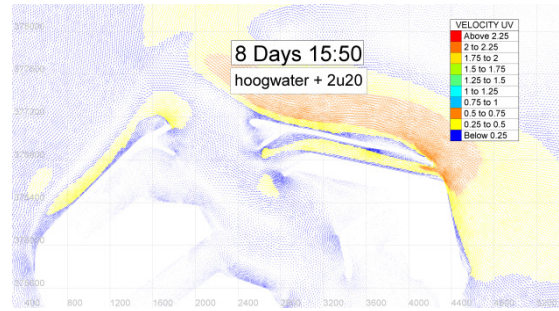
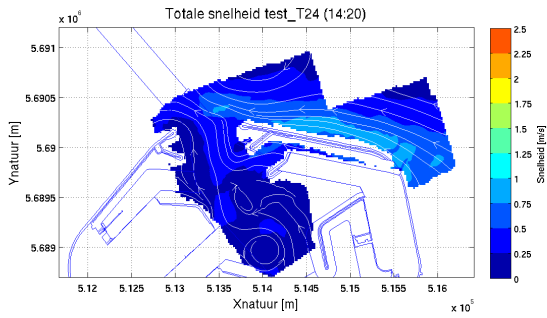


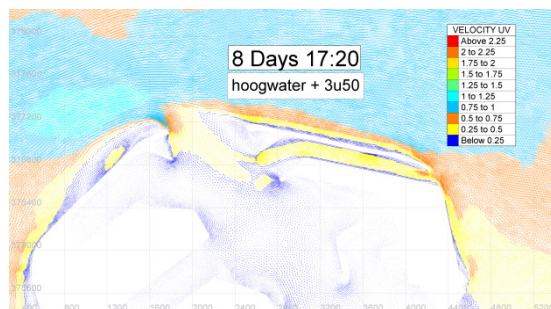
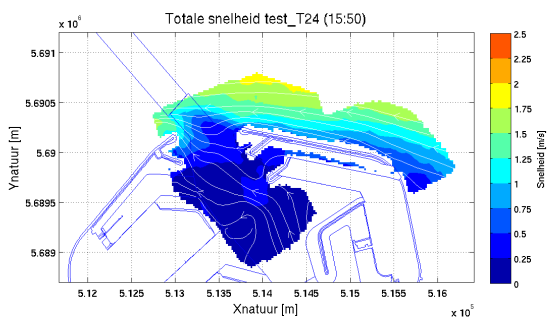
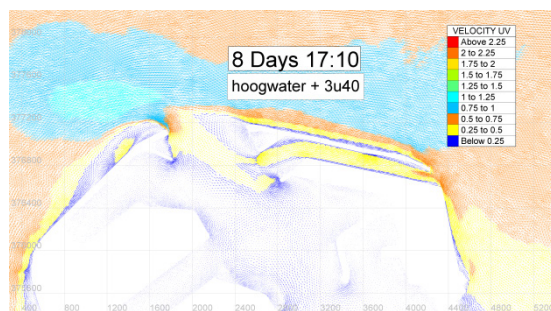
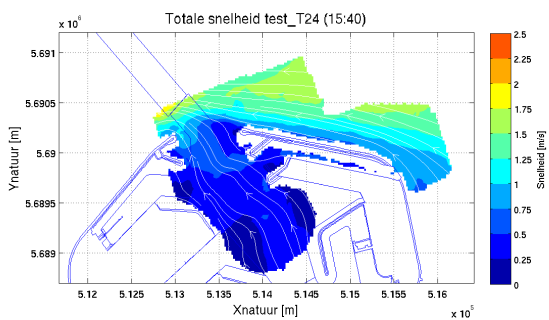
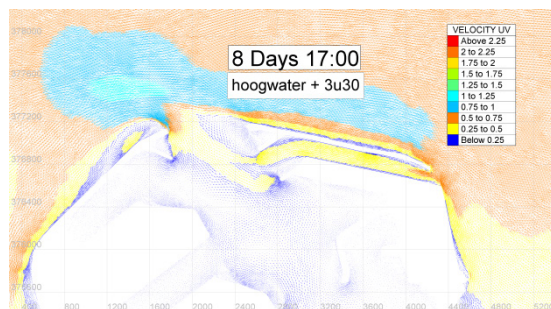
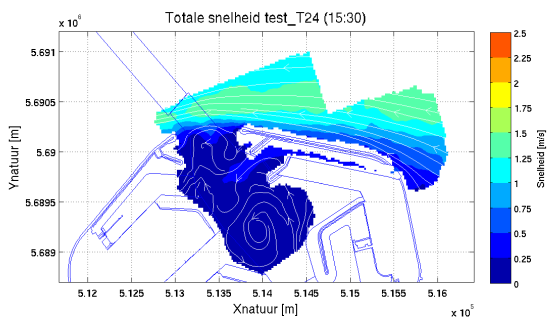
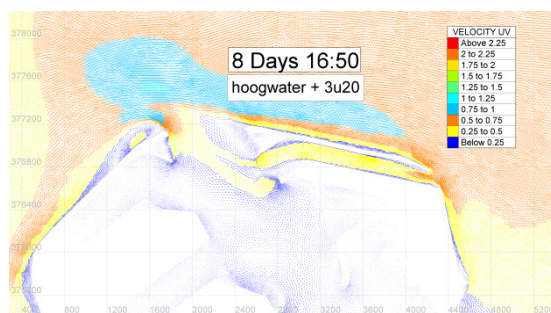
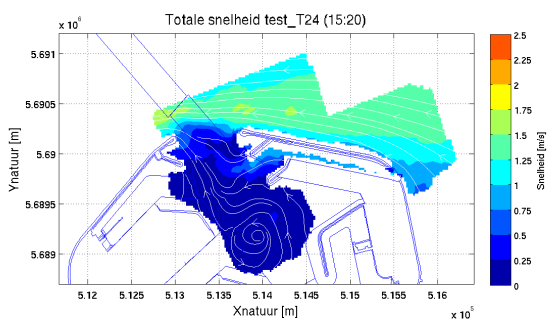
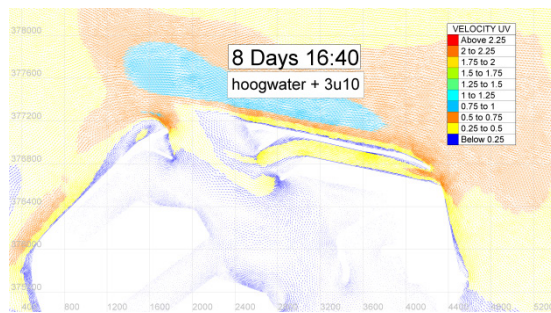
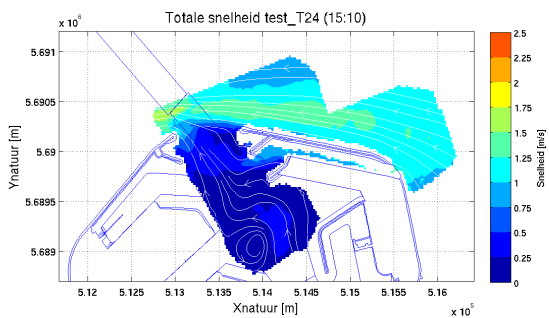


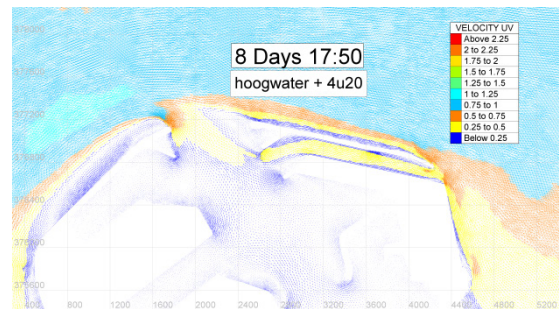
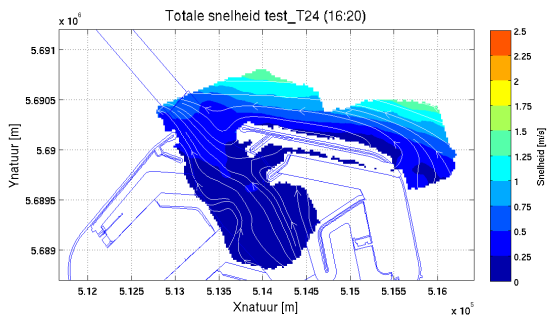
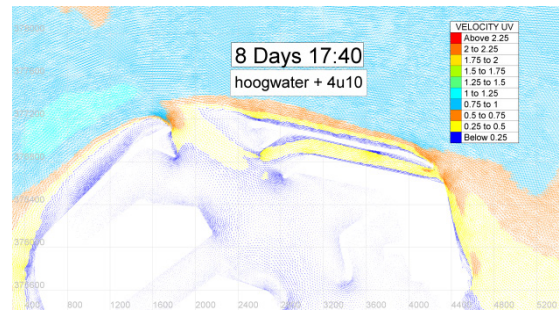
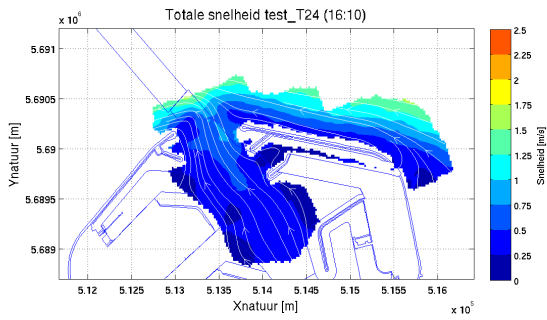
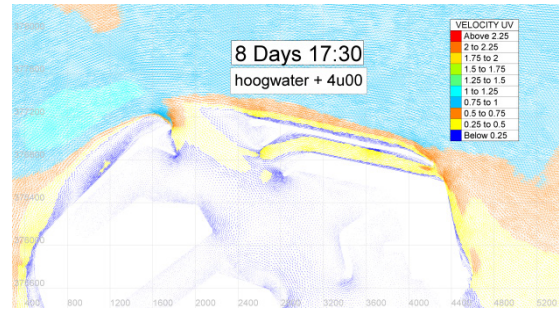
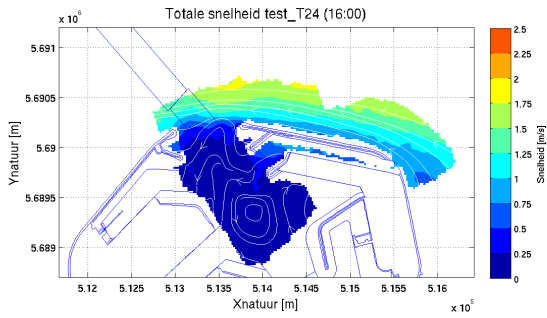












DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be