

Vlaanderen
is wetenschap

21_021_1
WL rapporten

Verversingstijden voor stroombeelden van neervorming Ossenisse

Hoogfrequente modeluitvoer van Delft3D-NeVla voor springtij 12/03/2020

DEPARTEMENT
MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Verversingstijden voor stroombeelden van neervorming Ossenisse

Hoogfrequente modeluitvoer van Delft3D-NeVla voor springtij 12/03/2020

Stark, J.; Plancke, Y.; Mostaert, F.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

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/2021/3241/145

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Stark, J.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2021). Verversingstijden voor stroombeelden van neervorming Ossenisse: Hoogfrequente modeluitvoer van Delft3D-NeVla voor springtij 12/03/2020. Versie 2.0. WL Rapporten, 21_021_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	RWS Zee & Delta	Ref.:	WL2021R21_021_1
Trefwoorden (3-5):	Neervorming; Dwarsstroming; Schelde-estuarium; Platen van Ossenisse; Delft3D		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en Sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen > Numerieke modelleringen Hydraulica en Sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen > In situ metingen		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	41
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Stark, J.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door:Yves Plancke (Signature) Getekend op:2021-08-24 14:34:44 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Yves Plancke
Projectleider:	Stark, J.	Getekend door:Jeroen Stark (Signature) Getekend op:2021-08-25 09:43:16 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Jeroen Stark

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F. Voor het afdelingshoofd, afwezig Patrik Peeters, Ingenieur, belast met de leiding van de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium	Getekend door:Stefan Geerts (Signature) Getekend op:2021-08-26 10:36:21 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Stefan Geerts

CERTIFIED LR ISO 9001

Abstract

Voorliggend rapport bevat een aanvulling op een eerdere modelvalidatie voor dwarsstromingen ten gevolge van neervorming die tijdens gevaren ADCP-metingen langs de oostrand van de Platen van Ossenisse op 12 maart 2020 werden geobserveerd. De modelvalidatie werd uitgevoerd voor het Delft3D-NeVla model met ruwheidsvelden uit de kalibratie van het 2D NeVla randvoorwaardenmodel en uit eerder AvdT-onderzoek naar sedimenttransport nabij de Drempel van Hansweert. Uit eerder modelonderzoek blijkt dat het Delft3D-NeVla model in staat is om de neervorming in dit gebied te reproduceren. Uit de validatieoefening voor dit specifieke getij, bleek dat de geobserveerde dwarsstromingen onderschat worden in modelsimulaties, ongeacht welk van de eerder gekalibreerde ruwheidsvelden wordt gebruikt. Een mogelijke verklaring van het minder reproduceren van neer, is de afwijking van het gemodeleerd waterstandsverloop ten opzichte van de metingen. Het betreffende getij kende een eerder uitzonderlijk verloop rond het moment van hoogwater.

In het huidige rapport worden op basis van één van de uitgevoerde validatieruns de ruimtelijke stromingspatronen tijdens de neervorming bij de Platen van Ossenisse minuut per minuut geïllustreerd. Deze beelden vormen de basis voor een advies omtrent de benodigde verversingstijd om de beweging van de neer adequaat in beeld te brengen met stroombeelden die zullen worden gemeten met een hoge frequente radar (HF-radar) die in het studiegebied zal worden geplaatst.

De modelresultaten laten zien dat het centrum van de neer met maximaal 20-30 m per minuut verschuift. Een verversingstijd van 5 minuten zou dan voldoende frequent zijn om de ruimtelijke beweging van de neer goed te representeren.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VI
Lijst van de figuren VII
1 Introductie 1
1.1 Situering 1
1.2 Doelstelling 1
1.3 Leeswijzer 1
2 Studiegebied 3
3 Literatuuronderzoek 4
3.1 Ontstaan van de neer 4
3.2 Onderzoek in het kader van Agenda voor de Toekomst 4
4 Meetcampagne 12 maart 2020 6
4.1 Gevaren ADCP-transecten 6
4.2 Geobserveerd waterstandsverloop 7
4.3 Geobserveerde stroomsnelheden 8
5 Modelopzet 9
5.1 Modelrooster 9
5.2 Topo-bathymetrische gegevens 10
5.3 Randvoorwaarden 10
5.3.1 Afwaartse randvoorwaarden 10
5.3.2 Opwaartse randvoorwaarden 10
5.3.3 Randvoorwaarden saliniteit 10
5.4 Wind 11
5.5 Bodemruwheid 12
5.6 Initieel zoutveld 13
5.7 Overige modelinstellingen 14
6 Modelresultaten 15
7 Conclusies 18
8 Referenties 19
Bijlage A B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Opwaartse randvoorwaarden. 11

Tabel 2 – Basisinstellingen Delft3D-NeVla model 14

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzichtskaart van geulen en platen in het studiegebied. 3

Figuur 2 – Resultaten van de modelkalibratie van het Delft3D-NeVla model en TELEMAC-3D model op twee meetpunten op het ondiepe plateau langs de Platen van Ossenisse tijdens hoogwater springtij op 08/05/2016 5

Figuur 3 – Modelresultaten van het gekalibreerde Delft3D-NeVla model op het ondiepe plateau langs de Platen van Ossenisse bij neervorming tijdens hoogwater springtij op 08/05/2016 5

Figuur 4 – Gevaren transecten (blauw) langs de groene boeienlijn (groen) tijdens de meetcampagne in de vaargeul langs de oostrand van de Platen van Ossenisse op 12-03-2020. 6

Figuur 5 – Geobserveerd waterstandsverloop te Hansweert en Terneuzen, alsmede het verhang tussen beide stations en de stijgsnelheid te Hansweert, voor het geanalyseerde getij van 12 maart 2020. 7

Figuur 6 – Gemeten stroomsnelheidsverloop (boven), gemeten verloop van de dwarscomponent (midden) en de maximale dwarsstroming (onder) langs de groene boeienlijn rond hoogwater tijdens de meetcampagne op 12-03-2020. 8

Figuur 7 – Illustratie van het Delft3D-NeVla rooster met locatie van de afgeknipte rand bij Westkapelle-Cadzand 9

Figuur 8 – Opgelegde waterstandreeksen aan afwaartse rand. 11

Figuur 9 – Opgelegde windsnelheden en windrichtingen. 12

Figuur 10 – Gecombineerd Manning's ruwheidsveld Delft3D-NeVla model voor huidige modelvalidatie. ... 13

Figuur 11 – Initieel saliniteitsveld in Delft3D-NeVla. 13

Figuur 12 – Gemodelleerd stroomsnelheidsverloop (boven), de dwarscomponent (midden) en de maximale dwarsstroming (onder) langs de groene boeienlijn rond hoogwater voor het onderzochte getij op 12-03-2020 met gecombineerd ruwheidsveld 16

Figuur 13 – Gesimuleerde beweging van de neer op basis van lokaal minimum stijghoogte. 17

Figuur 14 – Gesimuleerde migratiesnelheid van de neer op basis van verschuiving lokaal minimum stijghoogte. 17

Figuur 15 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:40 ..... B1

Figuur 16 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:41 ..... B2

Figuur 17 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:42 ..... B2

Figuur 18 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:43 ..... B3

Figuur 19 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:44 ..... B3

Figuur 20 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:45 ..... B4

Figuur 21 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:46 ..... B4

Figuur 22 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:47 ..... B5

Figuur 23 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:48 ..... B5

Figuur 24 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:49 ..... B6

Figuur 25 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:50 ..... B6

Figuur 26 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:51 ..... B7
Figuur 27 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:52 ..... B7
Figuur 28 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:53 ..... B8
Figuur 29 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:54 ..... B8
Figuur 30 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:55 ..... B9
Figuur 31 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:56 ..... B9
Figuur 32 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:57 ..... B10
Figuur 33 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:58 ..... B10
Figuur 34 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:59 ..... B11
Figuur 35 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:00 ..... B11
Figuur 36 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:01 ..... B12
Figuur 37 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:02 ..... B12
Figuur 38 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:03 ..... B13
Figuur 39 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:04 ..... B13
Figuur 40 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:05 ..... B14
Figuur 41 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:06 ..... B14
Figuur 42 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:07 ..... B15
Figuur 43 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:08 ..... B15
Figuur 44 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:09 ..... B16
Figuur 45 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:10 ..... B16
Figuur 46 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:11 ..... B17
Figuur 47– Gesimuleerd stromingsveld om 17:12 ..... B17
Figuur 48– Gesimuleerd stromingsveld om 17:13 ..... B18
Figuur 49– Gesimuleerd stromingsveld om 17:14 ..... B18
Figuur 50– Gesimuleerd stromingsveld om 17:15 ..... B19
Figuur 51– Gesimuleerd stromingsveld om 17:16 ..... B19
Figuur 52– Gesimuleerd stromingsveld om 17:17 ..... B20
Figuur 53– Gesimuleerd stromingsveld om 17:18 ..... B20
Figuur 54– Gesimuleerd stromingsveld om 17:19 ..... B21
Figuur 55– Gesimuleerd stromingsveld om 17:20 ..... B21
Figuur 56 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:21 ..... B22
Figuur 57 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:22 ..... B22
Figuur 58 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:23 ..... B23
Figuur 59 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:24 ..... B23
Figuur 60 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:25 ..... B24
Figuur 61 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:26 ..... B24
Figuur 62 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:27 ..... B25

Figuur 63 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:28..... B25
Figuur 64 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:29..... B26
Figuur 65 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:30..... B26
Figuur 66 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:31..... B27
Figuur 67 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:32..... B27
Figuur 68 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:33..... B28
Figuur 69 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:34..... B28
Figuur 70 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:35..... B29
Figuur 71 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:36..... B29
Figuur 72 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:37..... B30
Figuur 73 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:38..... B30
Figuur 74 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:39..... B31
Figuur 75 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:40..... B31
Figuur 76 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:41..... B32
Figuur 77 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:42..... B32
Figuur 78 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:43..... B33
Figuur 79 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:44..... B33
Figuur 80 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:45..... B34
Figuur 81 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:46..... B34
Figuur 82 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:47..... B35
Figuur 83 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:48..... B35
Figuur 84 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:49..... B36
Figuur 85 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:50..... B36
Figuur 86 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:51..... B37
Figuur 87 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:52..... B37
Figuur 88 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:53..... B38
Figuur 89 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:54..... B38
Figuur 90 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:55..... B39
Figuur 91 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:56..... B39
Figuur 92 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:57..... B40
Figuur 93 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:58..... B40
Figuur 94 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:59..... B41
Figuur 95 – Gesimuleerd stromingsveld om 18:00..... B41

1 Introductie

1.1 Situering

In navolging van de stranding van de Fowairet ter hoogte van de Platen van Ossenisse in 2005 werden verschillende onderzoeken opgestart om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van dit ongeval. Er werden zowel stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd als numerieke modellen opgezet (e.g. Decrop *et al.*, 2009, 2010) om de lokale stroompatronen nabij de oostrand van de Platen van Ossenisse in beeld te brengen. Deze metingen toonden aan dat bij sterke springtijen (ook "giertij" genoemd) er ter hoogte van de rand van de vaargeul aan de oostzijde van de Platen van Ossenisse een aanzienlijke stromingscomponent dwars op de vaargeul aanwezig kan zijn. De dwarsstroming wordt veroorzaakt door een grote neer die bij hoge (spring)tijen aanwezig is in dit gebied. Door IMDC *et al.* (2013) is later onderzoek gedaan naar mogelijke morfologische ingrepen om het ontstaan van de neer te voorkomen of de intensiteit van de neer en bijbehorende dwarsstromingen te verminderen.

Recentelijk werd door Stark *et al.* (2020c) een extra validatie uitgevoerd voor het springtij van 12 maart 2020. Tijdens dit springtij werden door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) en Rijkswaterstaat (RWS) stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd in de vorm van gevaren ADCP-transecten.

Op basis van een uitgebreide verkenning van verschillende meettechnieken werd geconcludeerd dat HF-radar de meest geschikte techniek is om aan de verschillende doelstellingen te voldoen. Eind 2020 werd een Vlaams-Nederlands project opgestart waarbinnen de aankoop van en het operationeel krijgen van de HF-radar installatie zal worden gerealiseerd. Eén van de vragen die tijdens dit project naar boven kwamen is het belang van de verversingstijd waarmee de stroombeelden gegenereerd dienen te worden om de ruimtelijke ontwikkeling van de neer adequaat in beeld te brengen. Een te korte verversingstijd (uitgangspunt is één stroombeeld per 3') kan ten koste gaan van de ruimtelijke resolutie/nauwkeurigheid van de stroombeelden. Het verhogen van de verversingstijd naar 5' zal de nauwkeurigheid ten goede komen, maar daarbij stelt zich de vraag of deze verversingstijd voldoende is om de complexe stroombeelden in beeld te brengen.

1.2 Doelstelling

Dit rapport heeft als doel om de ruimtelijke evolutie van de neervorming bij Ossenisse met behulp van numerieke modelresultaten (als proxy voor gemeten beelden) met een hoge frequentie in beeld te brengen om de benodigde verversingstijd van stroombeelden van de toekomstige HF-radar te bepalen. De frequentie van de modeluitvoer (i.e., stroombeelden) van de door Stark *et al.* (2020c) uitgevoerde validatierun met het Delft3D-NeVla model wordt hiervoor verhoogd naar één uitvoerbeeld per minuut, zodat verschillende scenario's (veelvoud van 1 minuut) inzake verversingstijd onderzocht kunnen worden.

1.3 Leeswijzer

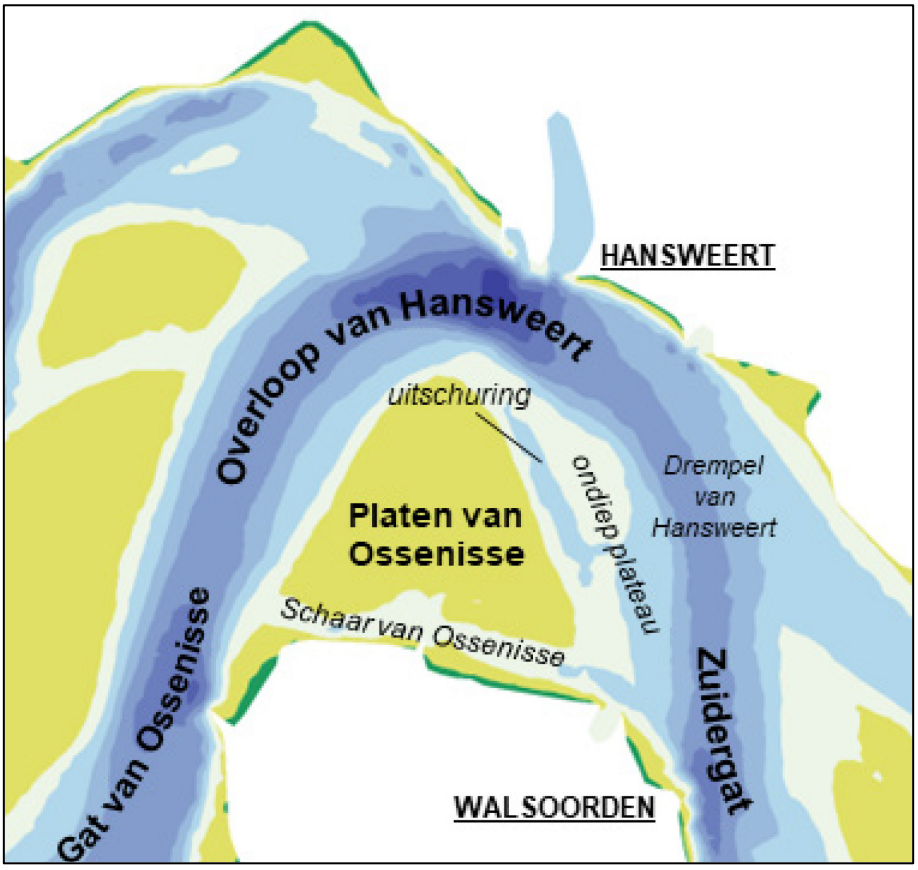
De inhoud van dit rapport werd grotendeels overgenomen uit Stark *et al.* (2020c). Enkel Bijlage A met hoogfrequente gesimuleerde stroombeelden van het springtij op 12 maart 2020 vormt een toevoeging op deze eerdere rapportage, evenals de conclusies in Hoofdstuk 7.

In Hoofdstuk 2 wordt eerst het studiegebied besproken, waarna in Hoofdstuk 3 een beknopt overzicht wordt gegeven rond de vorming van de neer en recent modelonderzoek naar de neervorming en dwarsstroming

langs de oostrand van de Platen van Ossenisse. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de geobserveerde stroomsnelheden tijdens de meetcampagne op 12 maart 2020. De modelinstellingen van het Delft3D NeVla model worden gegeven in Hoofdstuk 5. Vervolgens worden de modelresultaten van de validatierun getoond in Hoofdstuk 6. Bijlage A bevat de hoogfrequente stroombeelden voor de validatierun.

2 Studiegebied

De focus van dit onderzoek ligt op de omgeving van de oostrand van de Platen van Ossenisse. Deze plaat wordt omringd door de Overloop van Hansweert, de Drempel van Hansweert, het Zuidergat en de Schaar van Ossenisse (Figuur 1). Dit deel van de Westerschelde omvat verschillende momenteel vergunde en potentiële toekomstige stortlocaties, alsmede de Drempel van Hansweert waar doorgaans intensieve onderhoudsbaggerwerken plaatsvinden (Vos *et al.*, 2017). Ten oosten van de Platen van Ossenisse bevindt zich een ondiep plateau dat zich de laatste decennia heeft ontwikkeld (Decrop *et al.*, 2009). Dit plateau heeft op basis van recente bathymetrische gegevens uit 2020 een hoogteligging die varieert van -7 m NAP in het zuidoostelijk deel tot -2 m NAP op het noordelijk deel. Op dit ondiepe plateau vindt de initiële neervorming plaats die dwarsstromingen in de vaargeul kan veroorzaken. Tussen het ondiepe plateau en de Platen van Ossenisse heeft zich een diepe geul of uitschuring ontwikkeld met een diepteligging tot ongeveer -9 m NAP in 2020. Ook ten zuiden van de plaat bevindt zich een ondiepe geul: de Schaar van Ossenisse.



Figuur 1 – Overzichtskaart van geulen en platen in het studiegebied.

3 Literatuuronderzoek

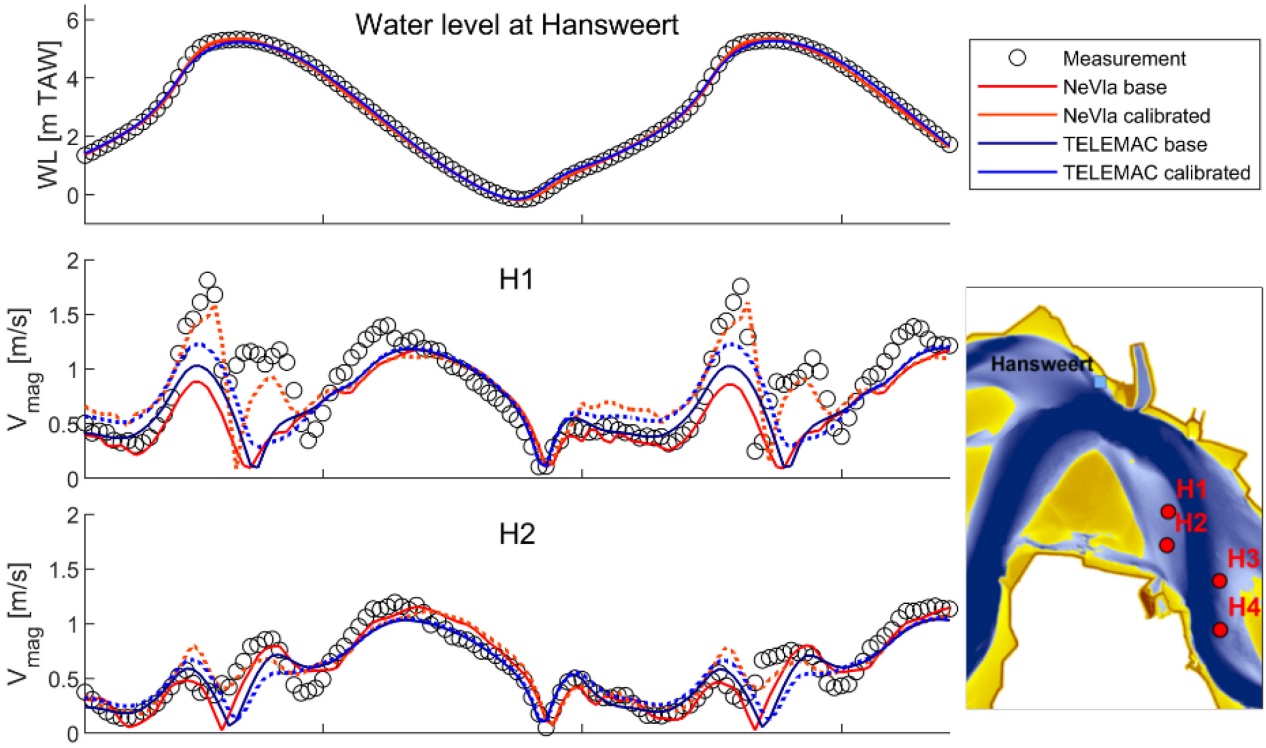
3.1 Ontstaan van de neer

In eerdere studies werd de vorming van de neer bij de Platen van Ossenisse al uitvoerig beschreven (e.g. Decrop *et al.*, 2009; 2010; Stark *et al.*, 2020b; Plancke *et al.*, 2020). De grote neer op de Platen van Ossenisse ontstaat in de late vloedfase van hogere (spring)tijen. De Platen van Ossenisse (en het ondiepe plateau ten oosten van de plaat) bevinden zich in de binnenbocht van de vaargeul (Figuur 1) en kennen door verschillen in waterdiepte en bodemwrijving een langzamere waterstandsstijging dan de vaargeul aan de oostzijde van de plaat. De waterstanden stijgen het langzaamst op het noordelijk deel van het ondiepe plateau, welke in de luwte ligt van het hoogste deel van de plaat. De waterstandsgradiënt die dientengevolge ontstaat tussen het zuidelijk deel van de plaat (i.e., inclusief de Schaar van Ossenisse) en het noordelijk deel van het ondiep plateau zorgt voor een noordwaartse tegenstroom over het ondiepe plateau en door de uitschuring. Daarnaast zorgt het verschil in traagheid tussen de vloedstroom in de vaargeul en de vloedstroom over de ondiepte er na de kentering ook voor dat de eb op het ondiepe plateau eerder gepaard gaat met zeewaarts gerichte stroming dan in de vaargeul zelf. Als de twee tegengestelde stromingen (i.e., zuidwaarts in de vaargeul en noordwaarts op het ondiep plateau) de waterstandsdepressie op het plateau omsluiten zorgen drukgradiënten voor een afbuiging van de twee stromingen en ontstaat er een neer. Deze wordt gekenmerkt door een lokale waterstandsdepressie en een circulair stromingsveld (i.e., met de klok mee) rondom deze depressie. Nadat de neer boven de ondiepte is gevormd kan deze zich onder invloed van de vloedstroming in de vaargeul nog enkele kilometers richting de vaargeul en opwaarts verplaatsen. Als de stroomrichting in de vaargeul tijdens eb omkeert beweegt de neer zich juist stroomafwaarts. Vervolgens neemt de neer snel in intensiteit af omdat er geen sprake meer is van tegengestelde stroomrichtingen.

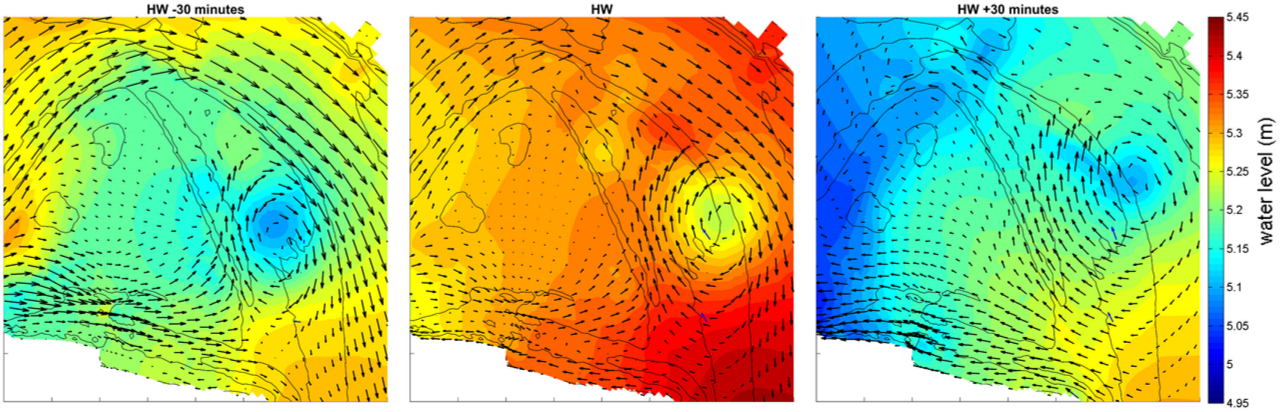
3.2 Onderzoek in het kader van Agenda voor de Toekomst

In het kader van het Agenda voor de Toekomst (AvdT) onderzoek *"Hydro- en sedimentdynamische en morfologische processen op mesoschaal"* werd door het Waterbouwkundig Laboratorium het modelinstrumentarium voor hydrodynamica en sedimenttransport geoptimaliseerd, bijvoorbeeld om de processen verantwoordelijk voor de sedimentatie ter hoogte van de Drempel van Hansweert te onderzoeken (Stark *et al.*, 2019). Deze drempel is gelegen aangrenzend aan de Platen van Ossenisse waardoor de neervorming en bijbehorende stromingspatronen eveneens relevant zijn. Binnen dit onderzoek werd dan ook veel aandacht geschonken aan het representeren van de neer. Meer specifiek werd het Delft3D-NeVla model geoptimaliseerd voor de representatie van stroomsnelheden en sedimenttransport op de ondiepte tussen de Platen van Ossenisse en de Drempel van Hansweert door middel van een herkalibratie van de (lokale) bodemruwheid. Na deze kalibratie bleek het Delft3D-NeVla model in staat om de hoge snelheidspieken op dit plateau goed te representeren (Figuur 2). Bovendien suggereren Stark *et al.* (2019) op basis van een beperkte set meetgegevens en modelresultaten dat de frequentie van voorkomen van neren en dwarsstromingen in de vaargeul is toegenomen sinds de eerste studie door Decrop *et al.* (2009).

In het kader van een volgende AvdT-studie werd naast het reeds bestaande Delft3D-NeVla model ook een driedimensionaal TELEMAC-3D model van de Westerschelde gevalideerd voor snelheidsmetingen in dit studiegebied (Stark *et al.*, 2020a). De neervorming en bijbehorende dwarsstroming worden door beide modellen gereproduceerd (Figuur 3). Uit een vergelijking tussen beide modellen bleek echter dat het Delft3D model momenteel beter in staat is om de hoge snelheidspieken tijdens springtij op het ondiepe plateau te reproduceren (Figuur 2). De resultaten van het AvdT-onderzoek met betrekking tot de neervorming bij de Platen van Ossenisse en de vergelijking tussen de twee modellen zijn samengevat in Plancke *et al.* (2020).



Figuur 2 – Resultaten van de modelkalibratie van het Delft3D-NeVla model en TELEMAC-3D model op twee meetpunten op het ondiepe plateau langs de Platen van Ossenisse tijdens hoogwater springtij op 08/05/2016 (bron: Stark *et al.*, 2019).

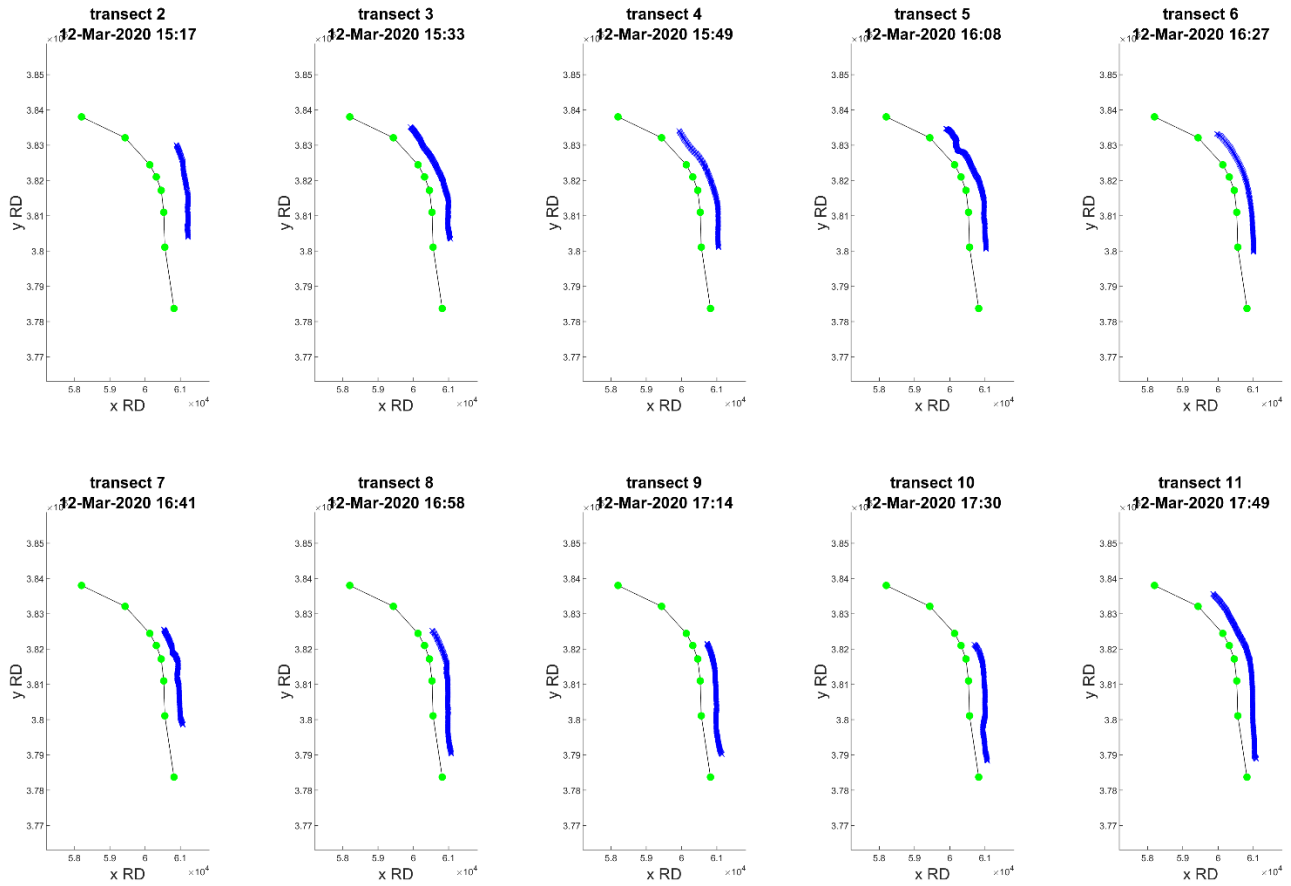


Figuur 3 – Modelresultaten van het gekalibreerde Delft3D-NeVla model op het ondiepe plateau langs de Platen van Ossenisse bij neervorming tijdens hoogwater springtij op 08/05/2016 (bron: Stark *et al.*, 2019).

4 Meetcampagne 12 maart 2020

4.1 Gevaren ADCP-transecten

Op 12 maart 2020 werden varende ADCP-metingen uitgevoerd in de vaargeul langs de oostrand van de Platen van Ossenisse. Hierbij werden gedurende een periode van ongeveer 3 uur raaien evenwijdig aan de groene boeienlijn gevaren. Figuur 4 toont de gevaren transecten die grofweg lopen tussen Boei 49 aan het noordelijke uiteinde tot Boei 57 aan het zuidelijke uiteinde. De meeste transecten lopen echter van Boei 49 tot Boei 55. De afstand tussen de gevaren transecten en de groene boeienlijn varieert tussen 300-800 m.

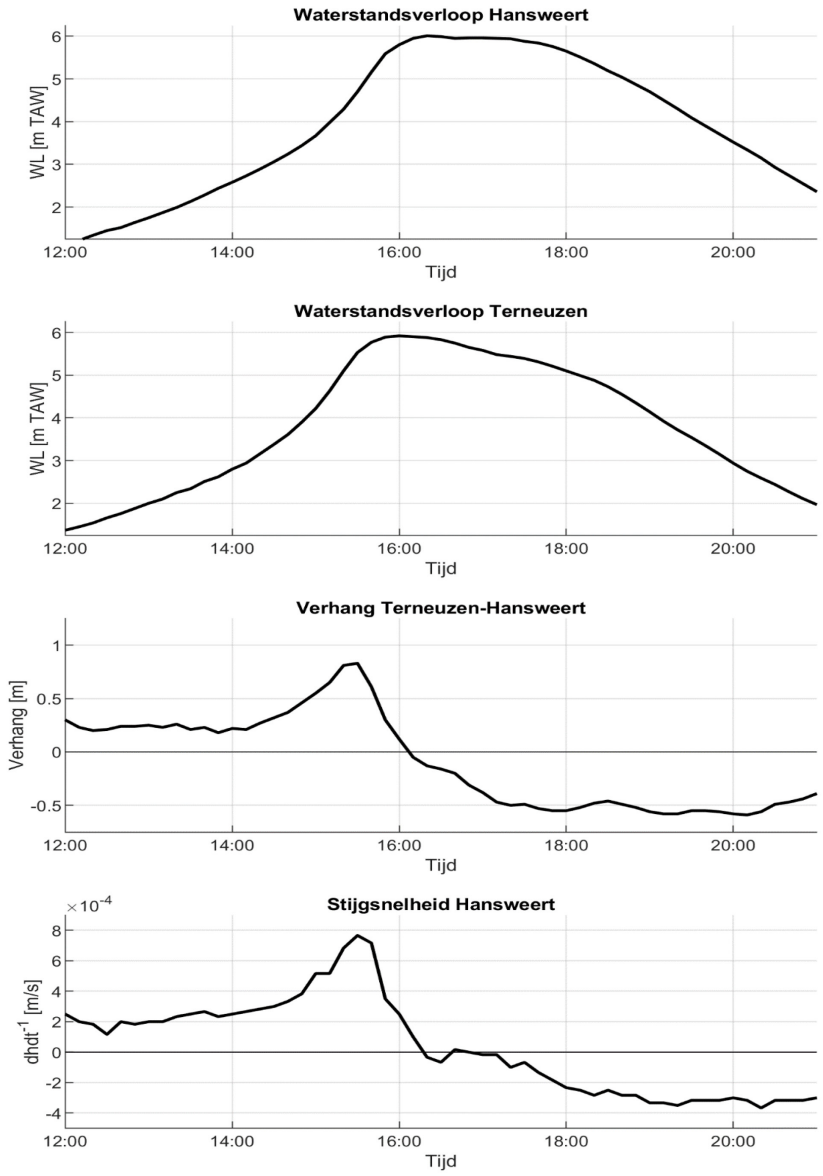


Figuur 4 – Gevaren transecten (blauw) langs de groene boeienlijn (groen) tijdens de meetcampagne in de vaargeul langs de oostrand van de Platen van Ossenisse op 12-03-2020.

4.2 Geobserveerd waterstandsverloop

Het geanalyseerde getij in Hansweert bereikte op 12 maart 2020 om 16:20 een hoogwaterniveau van 6,01 m TAW (Figuur 5). Op dat moment was het hoogwater in Terneuzen al 20 minuten gepasseerd. Het valt op dat in Hansweert het waterpeil niet onmiddellijk daalt en gedurende meer dan 60' eerder stabiel blijft rond 6,00 m TAW, wat een uitzonderlijk verloop is.

Het verval tussen Terneuzen en Hansweert kende 50 minuten voor het hoogwater te Hansweert een piek met een waterstandsverschil van 83 cm. Volgens het door RWS gehanteerde criterium kon vanwege dit maximale verhang een sterke dwarsstroming verwacht worden. De stijgsnelheid in Hansweert (i.e., $dh.dt^{-1}$) kent eenzelfde verloop als het verhang tussen Terneuzen en Hansweert met een piek van 0,8 10^{-3} m/s of 4,6 cm/min, eveneens 50 minuten voor het hoogwater te Hansweert (Figuur 5). Met bovenstaande gegevens kan ook de parameter *cr* uit het criterium van Decrop *et al.* (2009, 2010) berekend worden. Deze waarde is met 15,4 cm/min beduidend groter dan de grenswaarde van 4 cm/min waarvoor volgens Decrop *et al.* (2009, 2010) dwarsstromingen groter dan 0,8 m/s verwacht mogen worden.

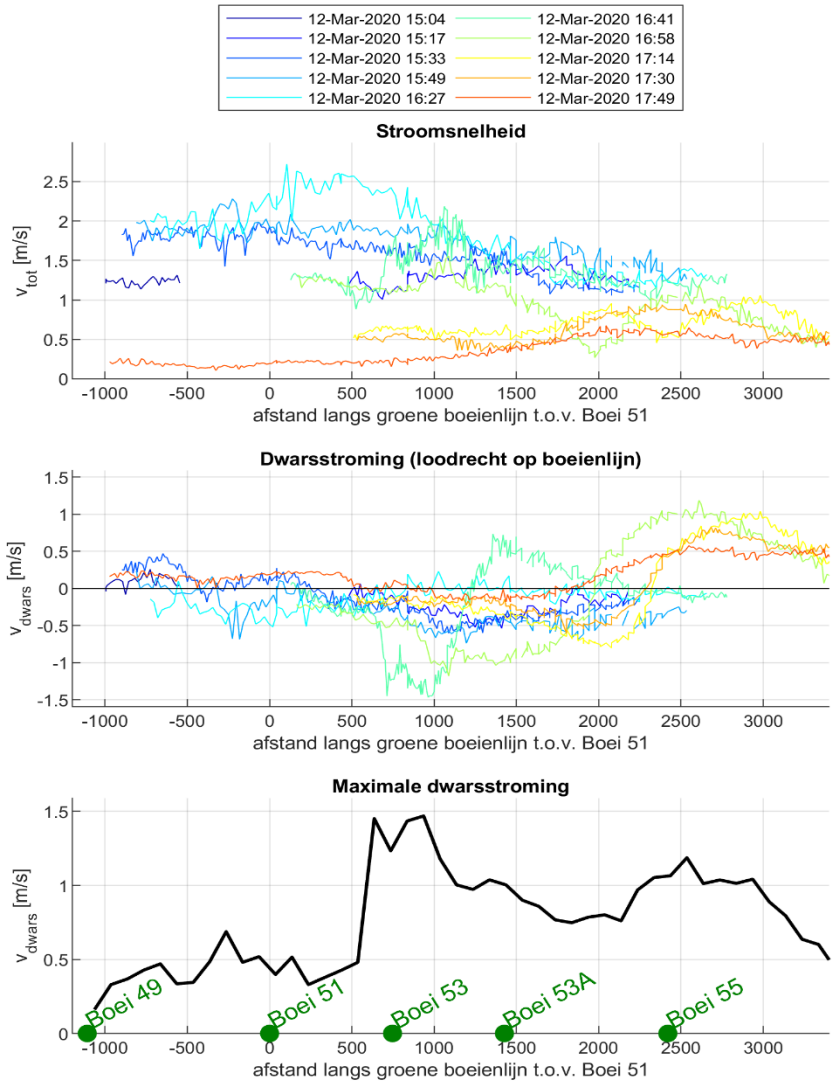


Figuur 5 – Geobserveerd waterstandsverloop te Hansweert en Terneuzen, alsmede het verhang tussen beide stations en de stijgsnelheid te Hansweert, voor het geanalyseerde getij van 12 maart 2020.

4.3 Geobserveerde stroomsnelheden

Figuur 6 toont per gevaren transect de geobserveerde dieptegemiddelde stroomsnelheden en de dwarscomponent (i.e., loodrecht op de groene boeienlijn) van deze stroomsnelheden, alsmede de maximale geobserveerde dwarscomponent voor alle transecten. De posities van de gevaren snelheidsmetingen zijn hierbij geprojecteerd op de groene boeienlijn.

Uit het middenpaneel van deze figuur valt op te maken dat tussen 16:40 en 17:30 sprake is van een bi-directioneel stromingspatroon loodrecht op de groene boeienlijn. Omstreeks 16:40 is ter hoogte van Boei 53 een sterke dwarsstroming van bijna 1,5 m/s aanwezig die gericht is van het plateau richting de vaargeul. Tegelijkertijd is rondom Boei 53A een tegengestelde dwarsstroom van 0,7 m/s aanwezig die juist van de vaargeul richting de plaat gericht is. De simultane dwarsstromingen in tegengestelde richting duiden op de aanwezigheid van een neer. Het centrum van de neer bevindt zich dan tussen Boei 53 en Boei 53A bij x = 1200 m in Figuur 6. In de periode die daarop volgt beweegt de neer zich in zuidelijke richting. Om 17:14 is het centrum van de neer verschoven naar Boei 55. De maximale stroming richting de vaargeul is dan ongeveer 0,7 m/s op x = 2000 m en de maximale dwarsstroming richting het plateau is 1,0 m/s op x = 3000 m. Vanaf 17:49 is er geen sprake meer van een bi-directionele stroming over het gevaren transect.



Figuur 6 – Gemeten stroomsnelheidsverloop (boven), gemeten verloop van de dwarscomponent (midden) en de maximale dwarsstroming (onder) langs de groene boeienlijn rond hoogwater tijdens de meetcampagne op 12-03-2020.

5 Modelopzet

De modelsimulatie wordt uitgevoerd met het tweedimensionale Delft3D-NeVla model van het Schelde-estuarium. Een uitvoerige kalibratie van de waterbeweging in NeVla is beschikbaar in Maximova *et al.* (2009). Gedetailleerde informatie over de Delft3D software is beschikbaar in de Delft3D-FLOW user manual (Deltares, 2011).

Er werden in het kader van de validatie door Stark *et al.* (2020c) simulaties uitgevoerd in verschillende configuraties (i.e., met verschillende ruwheidsvelden) van het model. Voor de additionele modelsimulatie met hoogfrequente modeluitvoer werd slechts één van deze configuraties gebruikt (zie §5.5).

5.1 Modelrooster

Het originele NeVla-rooster omvat het volledige Schelde estuarium van de Noordzee, de Vlakte van de Raan, de Westerschelde, de Zeeschelde, en de getijgebonden zijrivieren (Figuur 7). De afwaartse rand van het originele NeVla-model is gelegen in de Noordzee, de opwaartse randen zijn gelegen aan de grenzen van het tijgebied. Voor de validatieruns is de afwaartse rand van het model afgesneden ter hoogte van de lijn Westkapelle – Cadzand (witte lijn op Figuur 7) om de rekentijd te reduceren en de modelkwaliteit te verhogen door het model afwaarts aan te drijven met gemeten waterstanden. De resolutie van het rekenrooster varieert van ongeveer 400 m op de Noordzee en neemt geleidelijk af tot ongeveer 30 meter in de buurt van Schelle. Ter hoogte van het studiegebied rondom de Platen van Ossenisse bedraagt de roosterresolutie ongeveer 100 m.



Figuur 7 – Illustratie van het Delft3D-NeVla rooster met locatie van de afgeknipte rand bij Westkapelle-Cadzand (witte lijn).

5.2 Topo-bathymetrische gegevens

Voor de Westerschelde worden bathymetrische gegevens uit het jaar 2019 met een resolutie van 20 x 20 m gebruikt. Voor de hoogteligging van de Platen van Ossenisse zelf is gebruik gemaakt van LIDAR-data uit 2019 met een resolutie van 10 x 10 m. Voor de Diepe put van Hansweert is lokaal een meer recente bathymetrie van maart 2020 toegepast. In de Zeeschelde is de bathymetrische data identiek aan de data die werd gebruikt in eerder modelonderzoek naar dwarsstromingen bij de Platen van Ossenisse door Stark *et al.* (2019, 2020b). Dit houdt in dat bathymetrische data uit de periode 2011-2014 is geïmplementeerd voor de overige delen van het estuarium.

5.3 Randvoorwaarden

5.3.1 Afwaartse randvoorwaarden

De afwaartse rand van het model wordt geforceerd met gemeten waterstanden in Cadzand en Westkapelle en zijn opgelegd voor de periode van 5-3-2020 tot 13-3-2020 (Figuur 8). In dit rapport zal enkel aandacht worden besteed aan het gemeten tij op 12-3-2020. Dit is het laatste getij in Figuur 8.

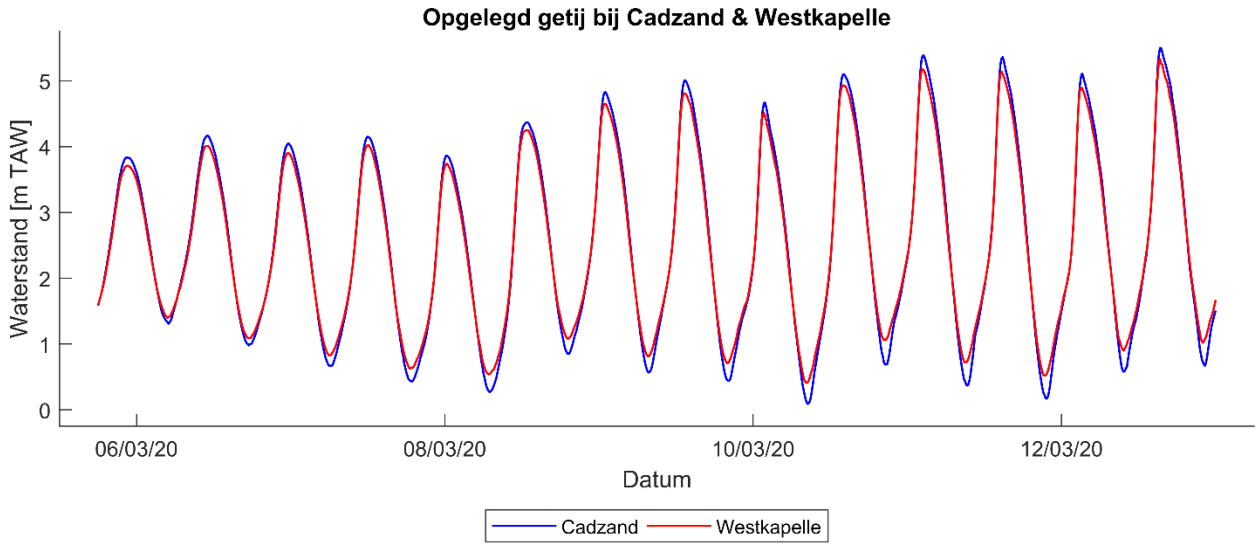
In overeenstemming met bevindingen van Vanlede *et al.* (2009) en Maximova *et al.* (2009) wordt een faseverschuiving van +10 minuten toegepast op de gemeten waterstanden te Cadzand. Deze correctie is noodzakelijk in verband met een locatieverschil van ongeveer 5200 m tussen het werkelijke meetpunt Cadzand en de afwaartse rand van de modellen waar de in Cadzand gemeten waterstanden worden opgelegd.

5.3.2 Opwaartse randvoorwaarden

Aan de opwaartse randen (i.e., Boven-Zeeschelde en getijgebonden zijrivieren) worden de jaargemiddelde debieten van het jaar 2009 opgelegd (Cornet, 2010) zoals opgesomd in Tabel 1. Aangezien het interessegebied hier voornamelijk de Westerschelde is, beïnvloeden de opwaartse randvoorwaarden de resultaten nauwelijks. In het studiegebied bedraagt het aandeel van de bovenafvoer minder dan 1% van de totale getijstroming.

5.3.3 Randvoorwaarden saliniteit

In het model wordt rekening gehouden met de invloed van saliniteit. Aan de afwaartse rand wordt een constante saliniteitswaarde van 31 PSU opgelegd. Aan de bovenstroomse zijrivieren wordt een saliniteitswaarde van 0 PSU opgelegd (i.e., gelijkaardig aan zoetwater).



Figuur 8 – Opgelegde waterstandreeksen aan afwaartse rand.

Tabel 1 – Opwaartse randvoorwaarden.

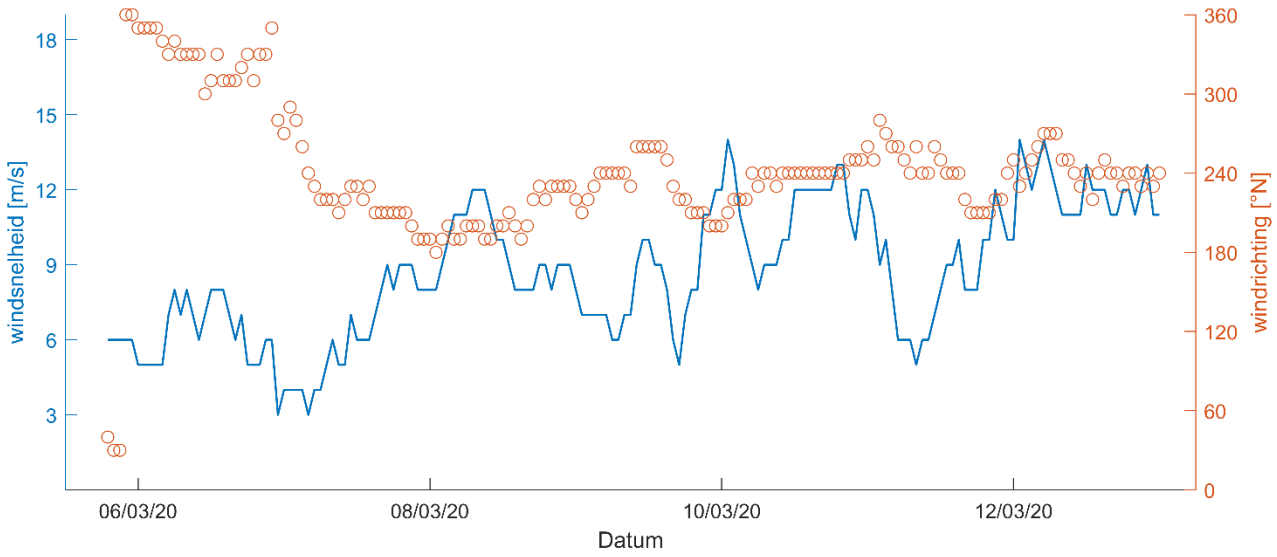
Locatie	Debiet [m^3/s]
Boven-Zeeschelde	30,9
Dender	9,8
Zenne	10,0
Dijle	19,8
Grote Nete	4,0
Kleine Nete	5,3

5.4 Wind

Er worden ruimtelijk constante maar temporeel variërende windkrachten- en windrichtingen geforceerd op basis van door het KNMI (i.e., Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) gemeten uurgemiddelde winddata op 10 m hoogte voor het meetstation Hansweert. Dit betekent dat de geobserveerde winddata van Hansweert wordt toegepast op het gehele modeldomein. De opgelegde winddata wordt in Figuur 9 weergegeven voor de simulatieperiode tussen 5 en 12 maart 2020. Gedurende bijna de gehele simulatieperiode is sprake van wind uit westelijke tot zuidwestelijke richting. Het onderzochte getij ging gepaard met uurgemiddelde windsnelheden van 10-14 m/s. In het Delft3D-model werd een *wind drag coefficient* van C_d = *0,00063* toegepast. De schuifspanning van de wind op het wateroppervlak wordt dan berekend volgens:

$$\tau_s = \rho_a C_d (U_{10})^2$$

Hierin is τ_s de schuifspanning door wind, ρ_a de luchtdichtheid en U_{10} de windsnelheid op 10 meter hoogte.



Figuur 9 – Opgelegde windsnelheden en windrichtingen.

5.5 Bodemruwheid

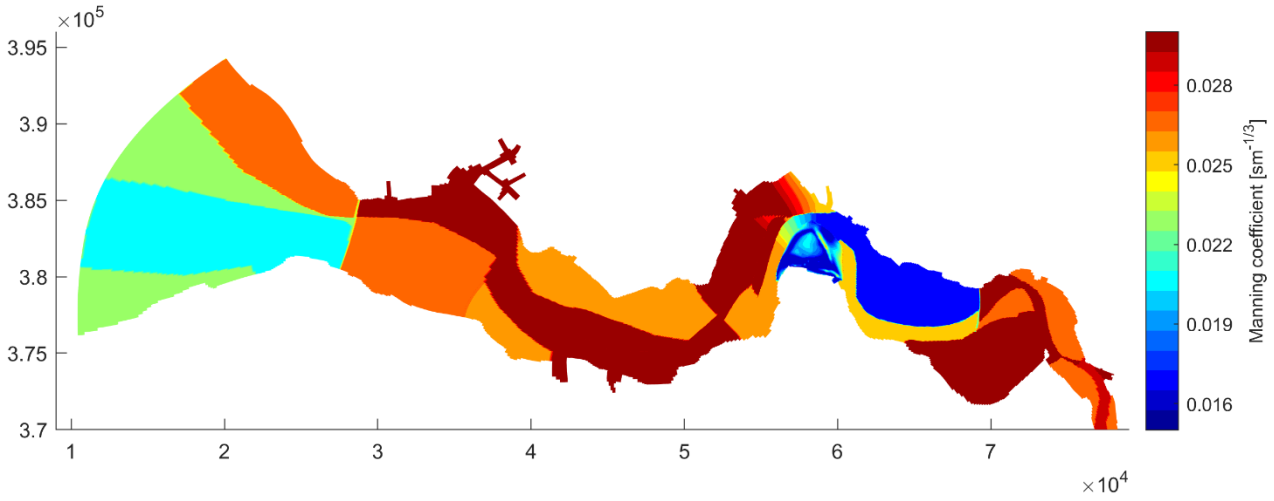
In de validatieoefening door Stark *et al.* (2020c) werden meerdere simulaties uitgevoerd met verschillende eerder gekalibreerde ruwheidsvelden. Dit ging concreet om het door Vanlede *et al.* (2009) gekalibreerde ruwheidsveld in het kader van de afregeling van het 2D NeVla randvoorwaardenmodel (i.e., in SIMONA) en het door Stark *et al.* (2019) gekalibreerde ruwheidsveld in het kader van het AvdT-onderzoek naar sedimenttransport op meso-schaal. Voor de modelsimulatie in dit rapport wordt gebruik gemaakt van een combinatie van beide ruwheidsvelden. Het door Stark *et al.* (2019) gekalibreerde ruwheidsveld wordt toegepast op de Platen van Ossenisse, terwijl het door Vanlede *et al.* (2009) gekalibreerde ruwheidsveld wordt toegepast op het overige deel van het estuarium, inclusief de geulen rondom de Platen van Ossenisse (Figuur 10).

Op en rondom de Platen van Ossenisse is volgens Stark *et al.* (2019) een diepte-afhankelijke verlaging van de bodemruwheid noodzakelijk om tot een betere representatie van de vloedpiek en neervorming en bijbehorende circulaire stroming te komen (zie Figuur 2). De Manning's ruwheidscoëfficiënten n in dit gebied worden als volgt geschematiseerd op basis van het bodemniveau z_b:

- $n = 0{,}015 - 0{,}002 \cdot (z_b + 2{,}5)$ voor -7,5 m TAW < z_b < -2,5 m TAW[1]
- $n = 0{,}015$ voor -2,5 m TAW < z_b < 2,5 m TAW
- $n = 0{,}015 + 0{,}002 \cdot (z_b - 2{,}5)$ voor z_b > 2,5 m TAW

Bovenstaande schematisering van het ruwheidsveld wordt alleen toegepast op de Platen van Ossenisse en omringende ondiepe delen en plateaus omdat het ruwheidsveld enkel voor deze locatie werd gevalideerd door Stark *et al.* (2019).

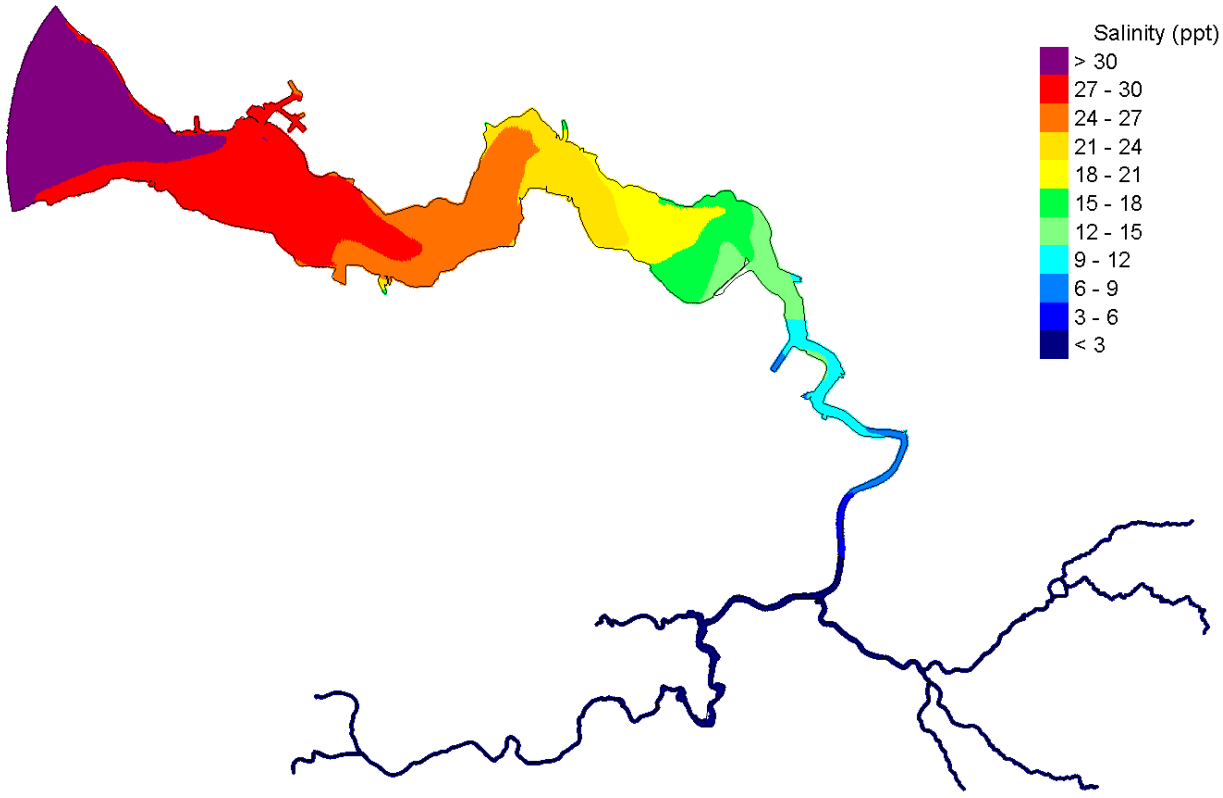
[1] De bodemhoogte in TAW komt overeen met de bodemhoogte in NAP + 2,33 m.



Figuur 10 – Gecombineerd Manning's ruwheidsveld Delft3D-NeVla model voor huidige modelvalidatie.

5.6 Initieel zoutveld

In de Delft3D-NeVla simulatie wordt het initiële zoutveld geadopteerd uit de eerdere AvdT-modelstudie door Stark *et al*. (2019). Dit zoutveld wordt weergegeven in Figuur 11. De zoutmodellering zelf werd binnen de validatieoefening buiten scope gelaten. De saliniteitsgradiënt in het estuarium heeft vanwege densiteitseffecten wel een beperkte invloed op de gemodelleerde waterstanden.



Figuur 11 – Initieel saliniteitsveld in Delft3D-NeVla.

5.7 Overige modelinstellingen

De overige modelinstellingen voor het tweedimensionale Delft3D-NeVla model zijn opgesomd in Tabel 2.

Tabel 2 – Basisinstellingen Delft3D-NeVla model

Parameter	Waarde
Time step	0,05 min
Salinity	True
Sediment	False
Secondary Flow	True
Feedback of secondary flow onto main flow	False
Reflection parameter	100 s^2
Gravity	9,81 m/s^2
Water density	1023 kg/m^3
Air density	1 kg/m^3
Temperature	15 °C
Wall roughness	Free
Horizontal eddy viscosity	0,1 m^2/s
Horizontal eddy diffusivity	1,0 m^2/s
Drying and flooding	Centres and faces
Depth specified at	Grid cell corners
Depth at centre	Max
Depth at faces	Mor
Threshold depth	0,05 m
Marginal depth	0,05 m
Smoothing time	120 min
Advection scheme for momentum	cyclic
Advection scheme for Transport	cyclic
Horizontal Forester filter	True
Map results Interval	10 min
History output interval	10 min

6 Modelresultaten

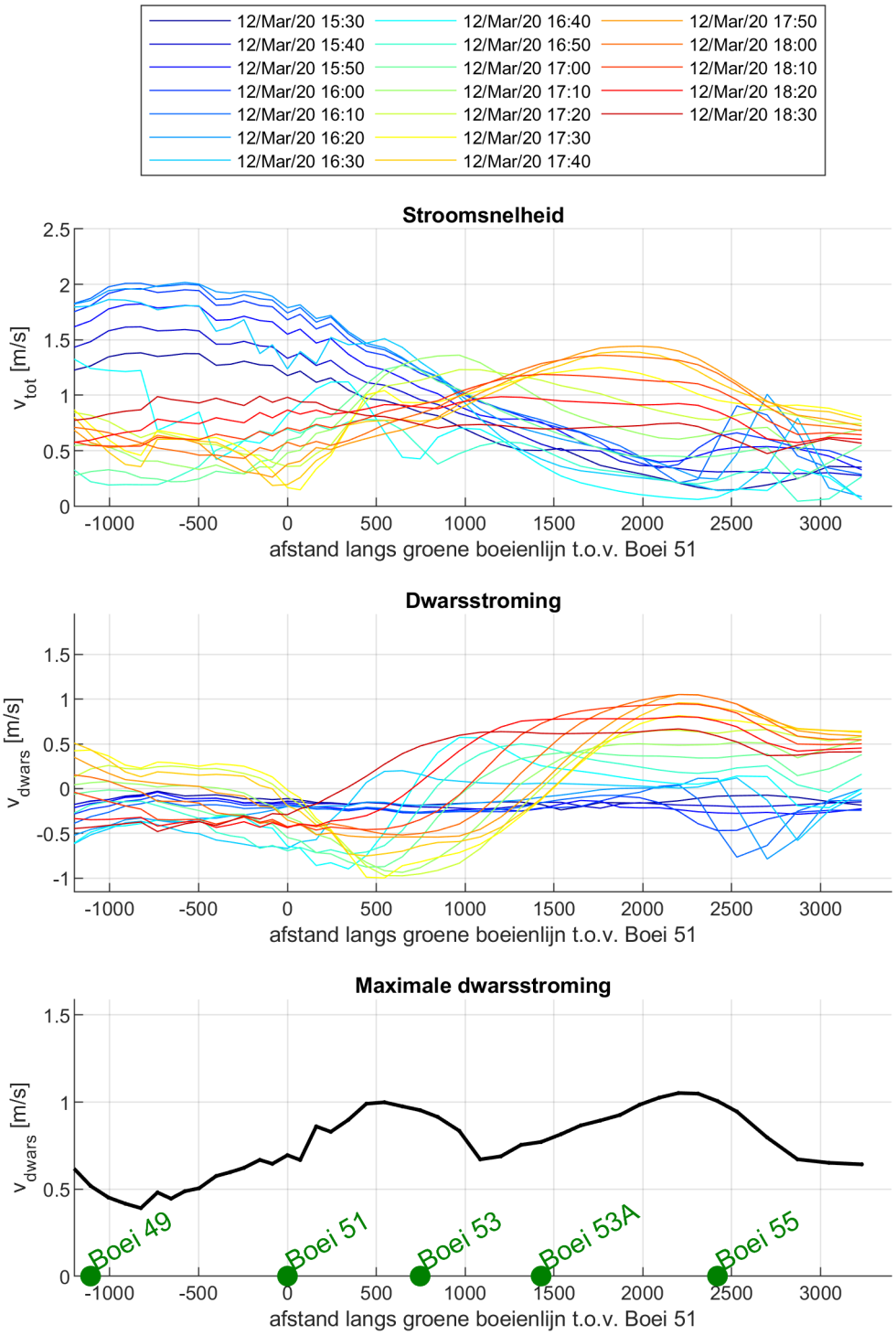
Voor de gedetailleerde modelresultaten van de validatierun(s) wordt verwezen naar de rapportage door Stark *et al.* (2020c). Dat rapport bevat een vergelijking tussen metingen en simulaties met betrekking tot het waterstandsverloop te Hansweert, de stijgsnelheid te Hansweert, het verhang tussen Terneuzen en Hansweert, het door Decrop *et al.* (2009, 2010) opgestelde criterium en de dwarsstromingen ter hoogte van de groene boeienlijn tussen Boei en Boei 49 en Boei 55. Aanvullend werden in dit rapport ook de gesimuleerde stroomvelden rondom hoogwater weergegeven met een interval van 20 minuten om de ruimtelijke beweging van de neer te illustreren.

Maximale dwarsstroming

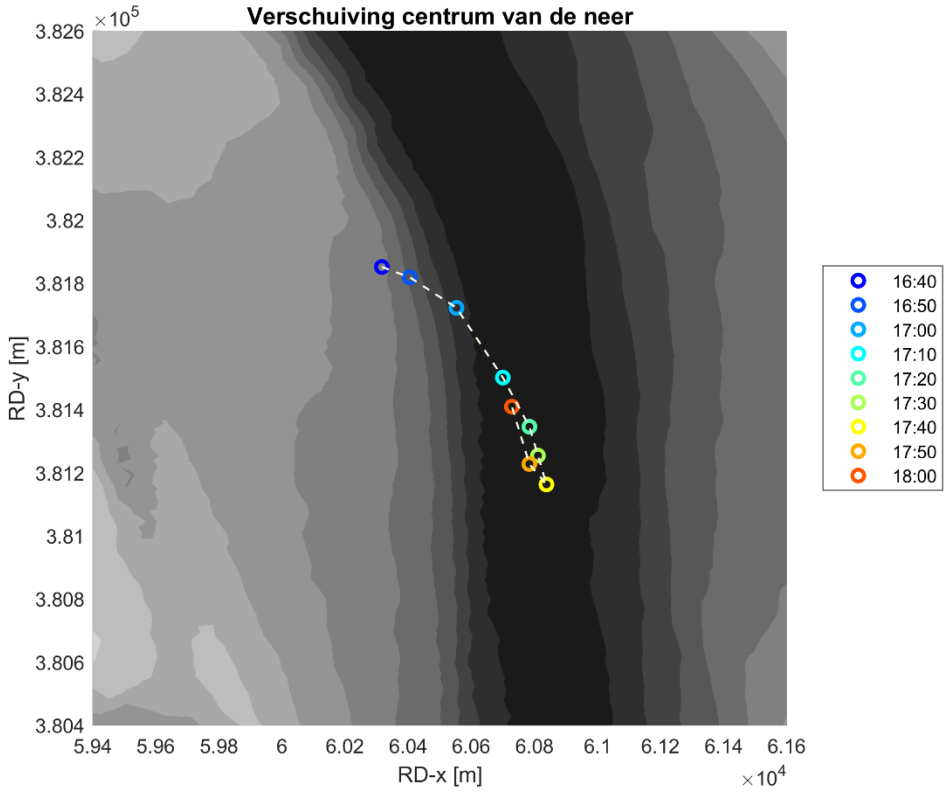
Ter illustratie worden in Figuur 12 de gesimuleerde stroomsnelheden en dwarscomponenten (i.e., loodrecht op de groene boeienlijn) ter hoogte van de groene boeienlijn weergegeven. Tussen 16:30 en 18:30 is sprake van een bi-directionele stroming. In de simulatie is de maximale dwarsstroming bij Boei 51/53 die naar de vaargeul is gericht om 17:30 al iets eerder aanwezig. Deze dwarscomponent is maximaal 1,00 m/s. De maximale dwarsstroming tussen Boei 53A en Boei 55 is om 17:40 aanwezig en heeft een sterkte van ongeveer 1,10 m/s. De geobserveerde maximale dwarsstroming wordt in deze simulatie echter onderschat. Vanwege het grote faseverschil (i.e., ongeveer 40 minuten) tussen het gemeten en gesimuleerde waterstandsverloop en stroomsnelheidsverloop zijn individuele vergelijkingen tussen meting en model per gevaren transect (i.e., per tijdstap) niet zinvol.

Hoogfrequente stroombeelden

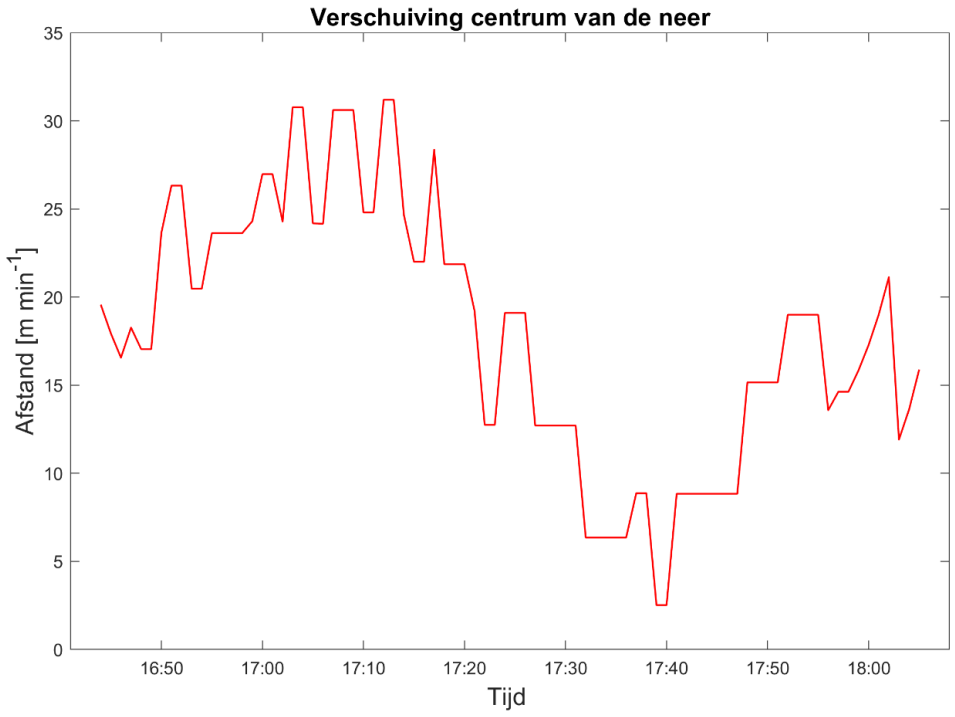
Figuur 13 toont de migratie van de neer over tijd. De posities van het centrum van de neer zijn bepaald aan de hand van het lokale minimum in stijghoogte in de modeluitvoer (i.e., elke 10 minuten). Figuur 14 toont aanvullend de verplaatsing van het centrum van de neer uitgedrukt in meter per minuut op basis van de modeluitvoer van de validatierun door Stark *et al.* (2020c). Bijlage A bevat aanvullend de hoogfrequente stroombeelden met een interval van 1 minuut op basis van de validatierun. De hoogfrequente stroomvelden in dit rapport worden getoond voor de periode tussen 16:40 en 18:00. Deze stroomvelden tonen dat het circulair stromingspatroon van de neer met de klok mee draait. Verder blijkt dat de waterstandsdepressie en de neer ontstaan boven het ondiepe plateau tussen de Platen van Ossenisse en de Drempel van Hansweert. De waterstandsdepressie beweegt vervolgens in zuidoostelijke richting onder invloed van de sterke vloedstroom in de vaargeul. Deze verschuiving van de neer in zuidoostelijke richting vindt plaats tussen 16:40 en 17:40 (Figuur 13). In deze periode beweegt het centrum van de neer van het ondiepe plateau naar de vaargeul. Stroombeelden met een verversingstijd van 5 minuten lijken voldoende frequent om deze verschuiving goed in beeld te brengen. Op basis van de gesimuleerde stroombeelden verschuift het centrum van de neer in deze periode met ongeveer 100-150 m per 5 minuten (Figuur 14). Tussen 17:20 en 17:50 bevindt de neer zich in de vaargeul en is de positie min of meer stabiel met een migratiesnelheid van minder dan 100 m per 5 minuten. De vraag is of de stabiele positie een beperking van het model is in de reproductie van de neer, of dat de migratie rond het moment van kentering inderdaad beperkt is en de neer ter plaatse blijft. Vanwege de geringe migratie is gedurende deze fase van de ruimtelijke ontwikkeling van de neer een verversingstijd van 5 minuten zelfs ruim voldoende. Na omkering van de stroomrichting verliest de neer aan kracht om uiteindelijk te verdwijnen. Er is dan nog sprake van een migratie in noordwestelijke richting onder invloed van de ebstroom.



Figuur 12 – Gemodelleerd stroomsnelheidsverloop (boven), de dwarscomponent (midden) en de maximale dwarsstroming (onder) langs de groene boeienlijn rond hoogwater voor het onderzochte getij op 12-03-2020 met gecombineerd ruwheidsveld.



Figuur 13 – Gesimuleerde beweging van de neer op basis van lokaal minimum stijghoogte.



Figuur 14 – Gesimuleerde migratiesnelheid van de neer op basis van verschuiving lokaal minimum stijghoogte.

7 Conclusies

Ruimtelijke evolutie neer op basis van hoogfrequente modeluitvoer

In dit rapport is met het Delft3D-NeVla model de ruimtelijke beweging van de neer aan de oostzijde van de Platen van Ossenisse minuut per minuut geïllustreerd (zie: Bijlage A). Op basis van deze hoogfrequente modeluitvoer blijkt een verversingstijd van 5 minuten voor de stroombeelden afdoende om de beweging van de neer van het ondiep plateau naar de vaargeul adequaat in beeld te brengen met een HF-radar. Binnen deze tijdspanne van 5 minuten verandert de positie van de neer hooguit met ongeveer 100-150 m. Voor de periode waarin het centrum van de neer zich daadwerkelijk in de vaargeul bevindt zou een langere verversingstijd zelfs afdoende kunnen zijn omdat de positie en sterkte van de neer dan nog maar zeer geleidelijk wijzigt tot het moment dat de stroomrichting omkeert en de neer weer verdwijnt.

Eerdere conclusies op basis van modelsimulaties van neervorming op 12 maart 2020

In de validatieoefening door Stark *et al.* (2020c) werd de modelprestatie van het Delft3D-NeVla model onderzocht voor de representatie van de (hinderlijke) dwarsstromingen als gevolg van neervorming aan de oostzijde van de Platen van Ossenisse op 12 maart 2020. Hiervoor werd het numeriek model met verschillende gekalibreerde ruwheidsvelden getest. Deze ruwheidsvelden werden in het kader van de verbetering van het randvoorwaardenmodel (Vanlede *et al.*, 2009; 2015) en in het kader van modelonderzoek binnen de Agenda voor de Toekomst (Stark *et al.*, 2019; 2020a) geoptimaliseerd. Het model werd gevalideerd voor geobserveerde dwarsstromingen tijdens een meetcampagne bestaande uit gevaren ADCP-transecten. Het Delft3D-NeVla model bleek in alle configuraties in staat de belangrijke fysische processen, waaronder de neervorming en bijbehorende stromingspatronen rond de Platen van Ossenisse, te reproduceren. Kwantitatief is echter sprake van aanzienlijke verschillen tussen de gesimuleerde en gemeten dwarsstroming langs de groene boeienlijn. De geobserveerde maximale dwarsstromingen worden voor dit getij met 25-40% onderschat door het Delft3D-NeVla model, afhankelijk van welk van de eerder gekalibreerde ruwheidsvelden wordt gebruikt. Tevens is er voor het onderzochte getij sprake van een vertraging van bijna 40 minuten ten opzichte van het geobserveerde waterstandsverloop en stroomsnelheidsverloop (inclusief dwarsstroming). Deze afwijkingen zouden het gevolg kunnen zijn van het onderschatten van het hoogwaterniveau bij Hansweert, van het onderschatten van de intensiteit van de neer of van een verschuiving van de positie van de neer. Eerder modelonderzoek door Stark *et al.* (2020) toonde bijvoorbeeld aan dat een relatief kleine verschuiving in de positie van de neer tot grote kwantitatieve verschillen in dwarsstroming op bepaalde locaties in het studiegebied kan leiden. Het verloop van het getij op de meetdag wijkt overigens af van het klassieke verloop, waarbij vooral het stabiel blijven van de waterstand rond hoogwater opvalt. Dit is eveneens een mogelijke verklaring van het minder reproduceren van neer. Daarom wordt aanbevolen om modelresultaten omtrent de dwarsstroming bij de Platen van Ossenisse in kwantitatief opzicht nog met voorzichtigheid te interpreteren.

8 Referenties

Decrop, B.; De Clercq, B.; Vanlede, J.; Van Holland, G.; Ides, S.; Plancke, Y.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009). WL Rapporten, 753_07. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC rapport nr. I/RA/11313/09.009/BDC, Antwerpen, België

Decrop, B.; Vanlede, J.; De Clercq, B.; Sas, M. (2010). Eddy-induced cross currents in the Westerschelde estuary: numerical simulation, physical driving mechanisms and navigation assistance. *Bull. Perm. Int. Assoc. Navig. Congr.* 138: 29–44

Deltares (2011). Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Version 3.15.

IMDC; Deltares; Svasek; Arcadis. (2013). Mitigatie dwarsstroming Zuidergat. LTV V&T - rapport B-25

Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009). LTV O&M thema Veiligheid - Deelproject 1: Verbetering hydrodynamisch NeVla model ten behoeve van scenario-analyse. WL Rapporten, 756_05. Flanders Hydraulics Research & Deltares: Antwerp, Belgium.

Plancke, Y.; Stark, J.; Meire, D.; Schrijver, M. (2020). Complex flow patterns in the Scheldt estuary: field measurements and validation of a hydrodynamic model. *Journal of Hydraulic Engineering*. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001737

Stark, J.; Vandenbruwaene, W.; De Maerschalck, B.; Plancke; Y.; Mostaert, F. (2019). Morfologie mesoschaal: Deelrapport 7 – Sedimentatie ter hoogte van drempels: validatie numeriek model. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_024_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Stark, J.; De Maerschalck, B.; Plancke; Y.; Mostaert, F. (2020a). Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: Deelrapport 3 – Modellering van hydro- en morfodynamische processen in de Westerschelde met Telemac: Scenario's in het kader van gevoeligheidsanalyse numeriek model. Versie 1.0. WL Rapporten, 17_088_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Stark, J.; Smolders, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020b). Mitigatie dwarsstromingen Platen van Ossenisse: Deelrapport 1 – Scenario onderzoek. Versie 3.0. WL Rapporten, 19_030_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

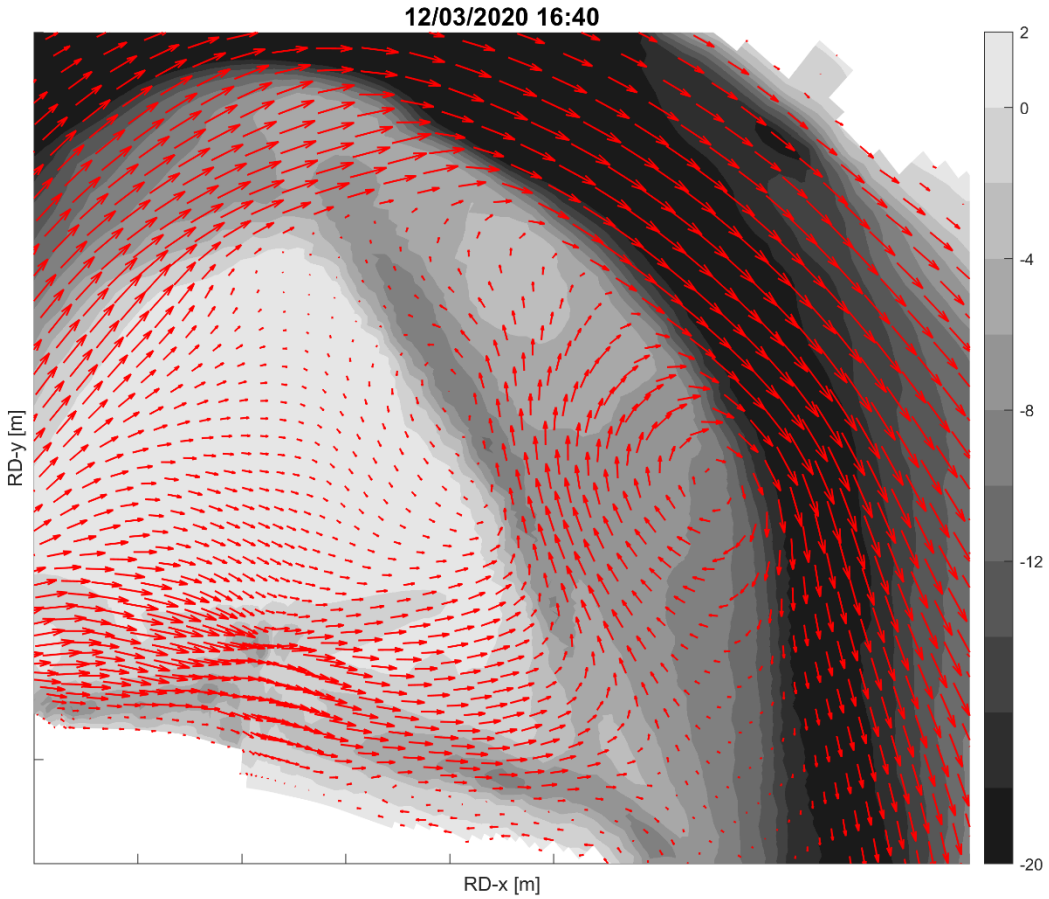
Stark, J.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020c). Dwarsstroming Platen van Ossenisse: Validatie Delft3D-NeVla model voor meetcampagne 12/03/2020. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 20_036_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vanlede, J.; De Clercq, B.; Decrop, B.; Ides, S.; van Holland, G.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2009) Permanente verbetering modelinstrumentarium. Verbetering Randvoorwaardenmodel. Deelrapport 2: Afregeling van het 2D Scheldemodel. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC (I/RA/11313/09.012/BOB), Antwerpen, België.

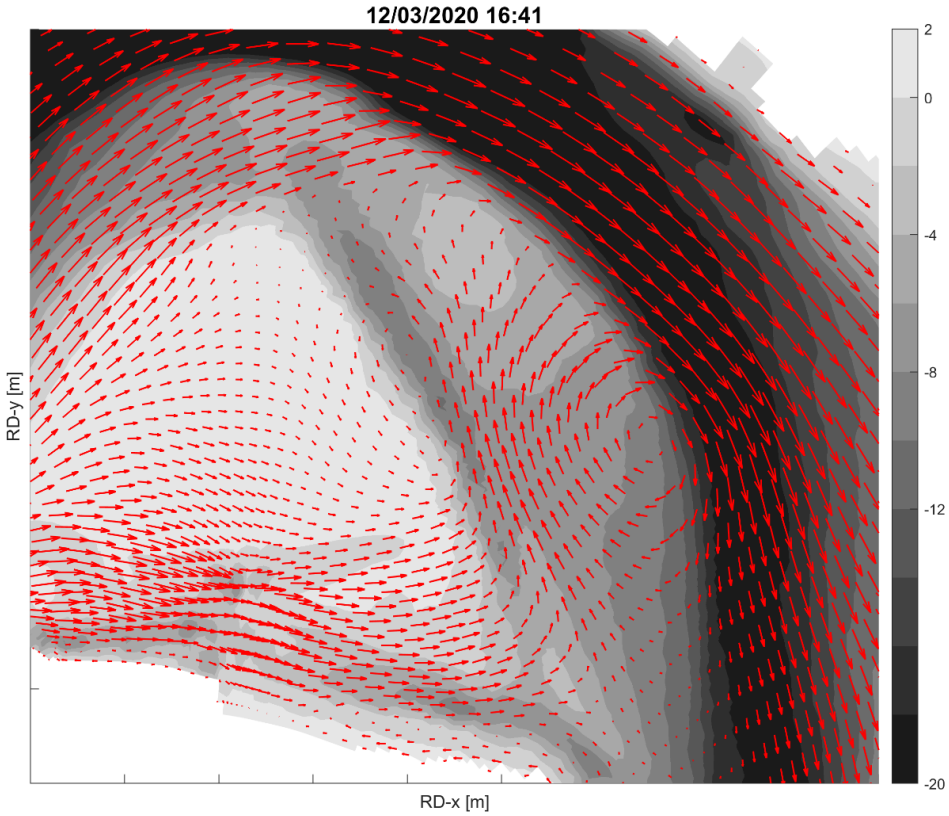
Vanlede, J.; Delecluyse, K.; Primo, B.; Verheyen, B.; Leyssen, G.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Verbetering randvoorwaardenmodel: Subreport 7 - Calibration of NEVLA 3D. Version 4.0. WL Rapporten, 00_018. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium.

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

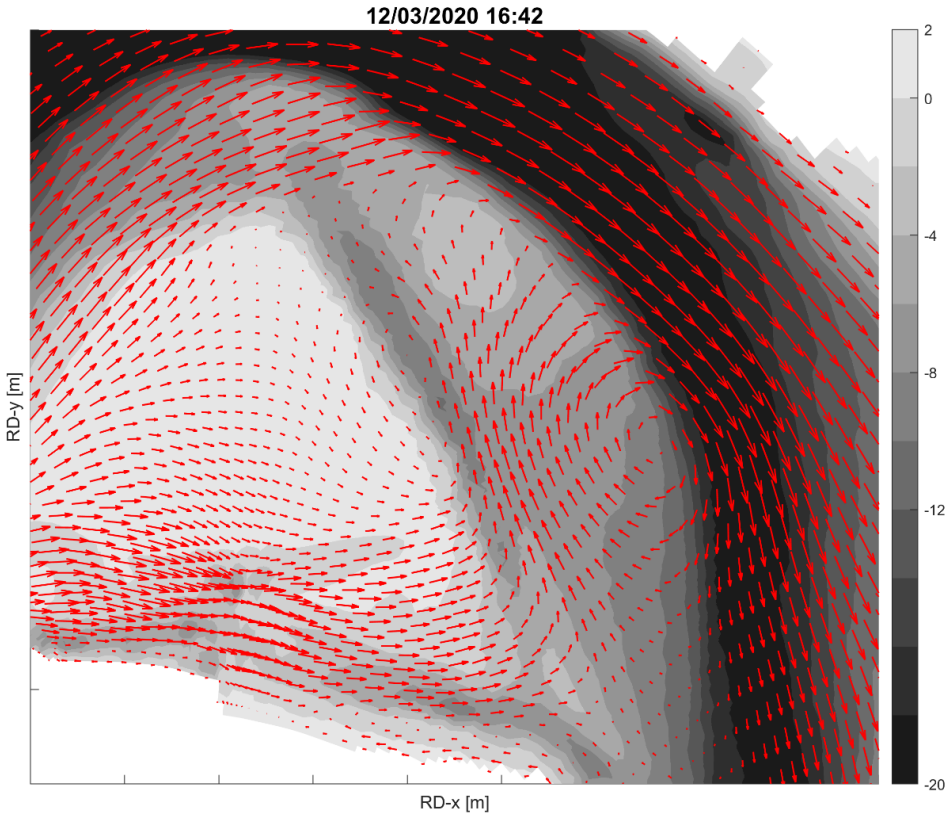
Bijlage A



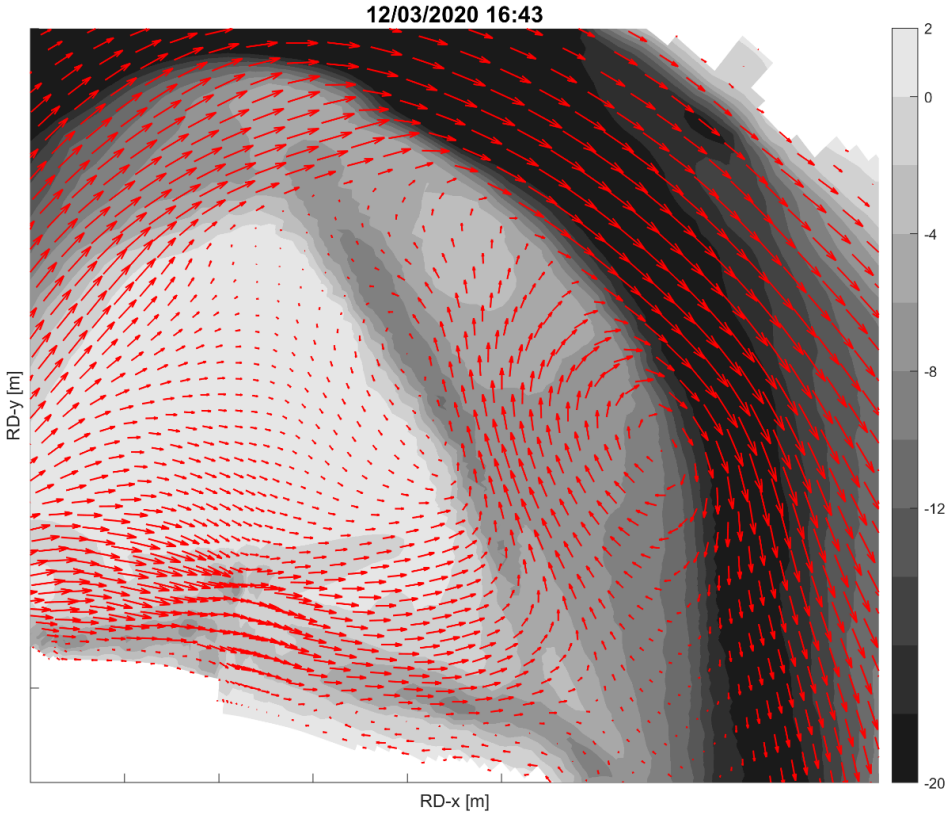
Figuur 15 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:40



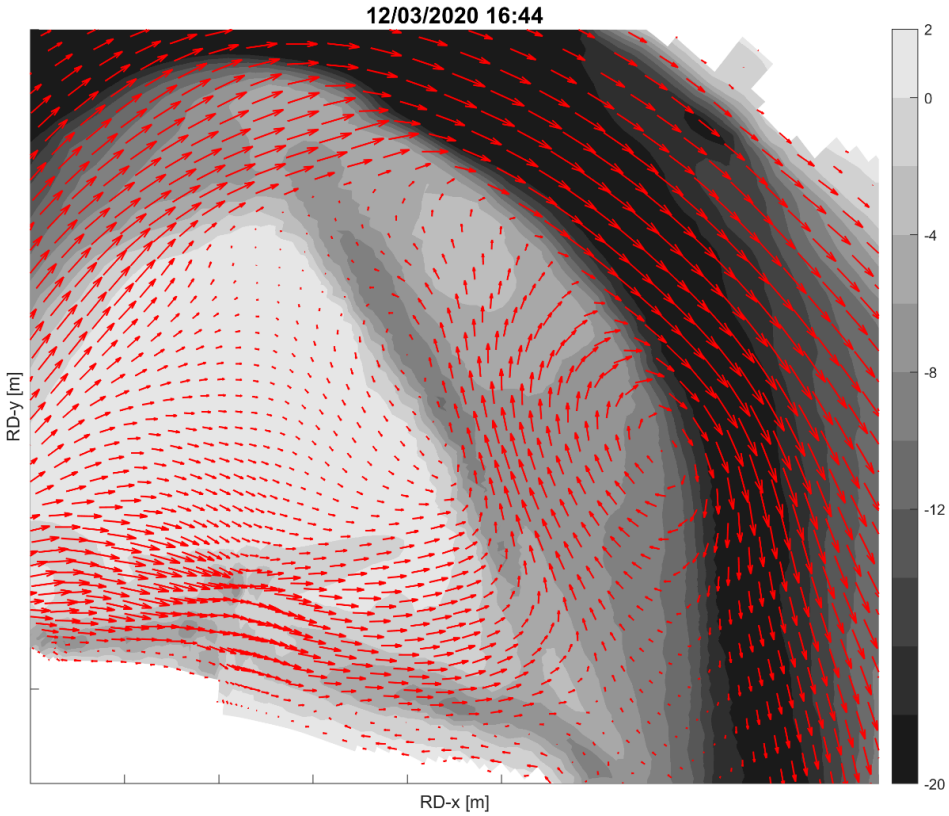
Figuur 16 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:41



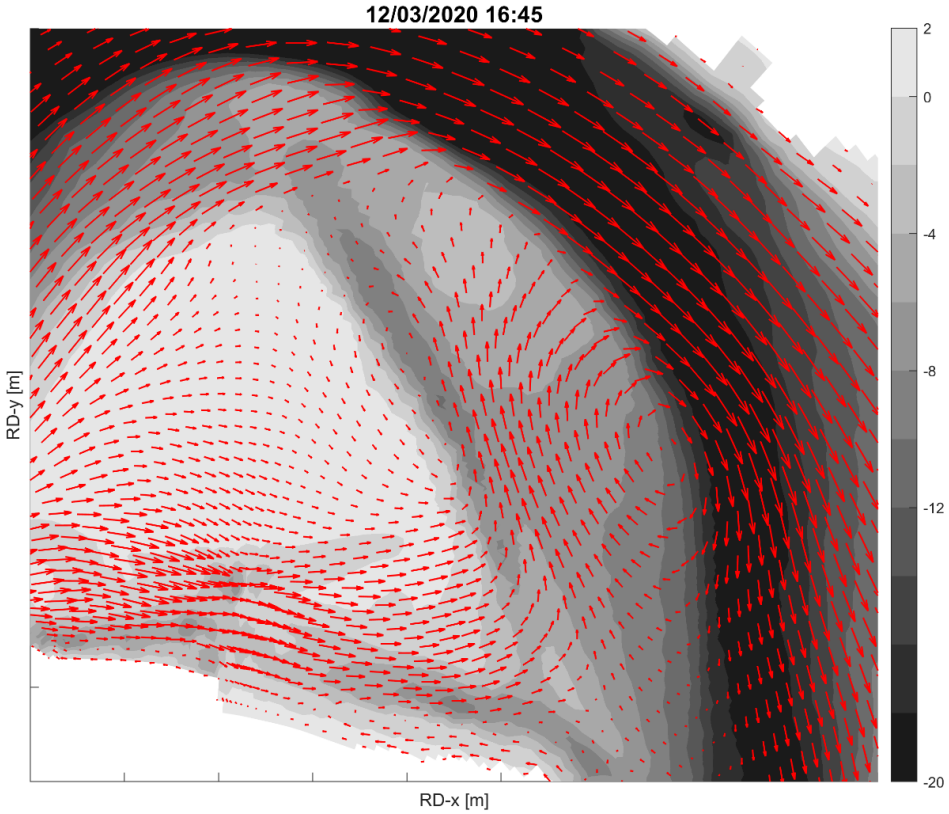
Figuur 17 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:42



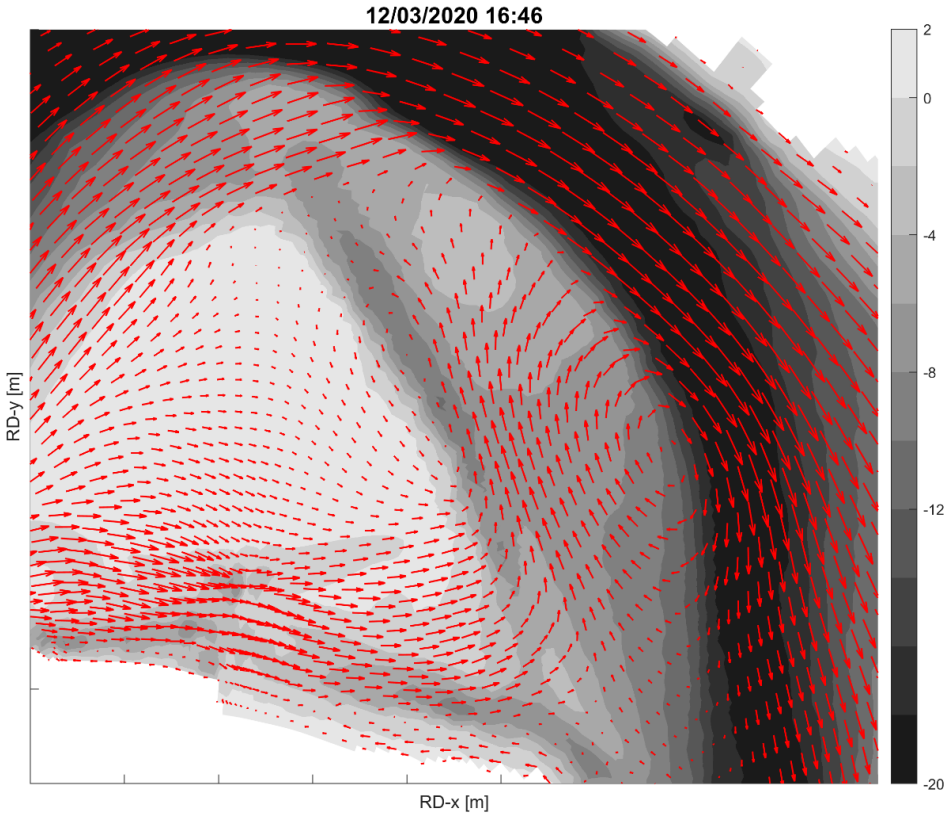
Figuur 18 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:43



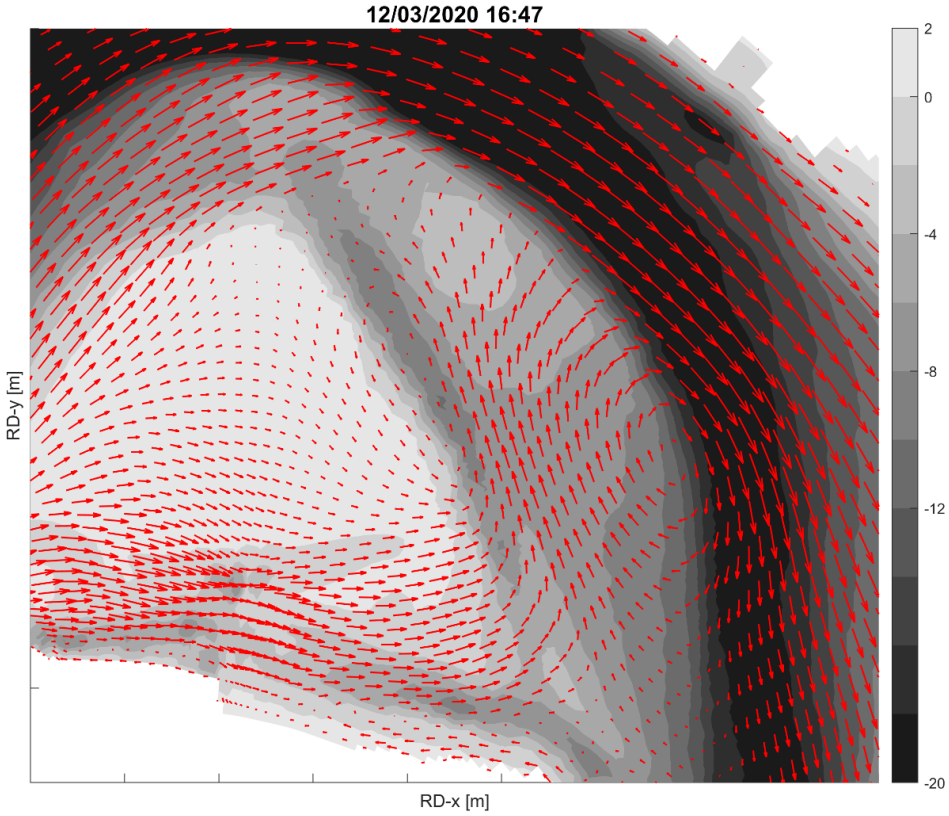
Figuur 19 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:44



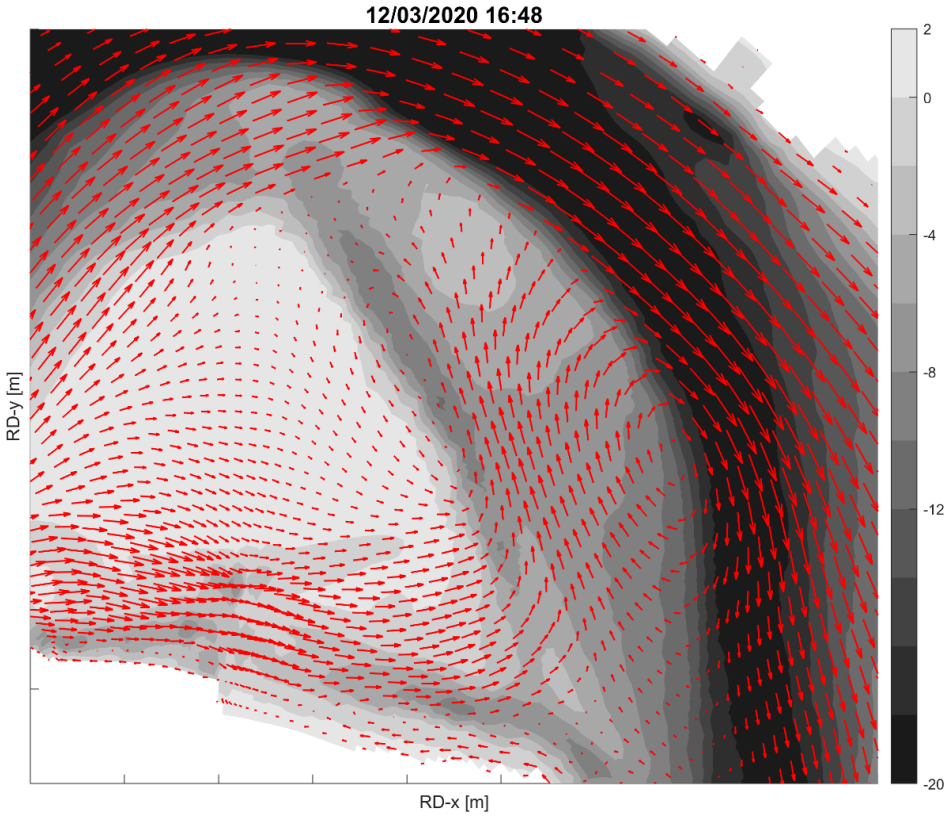
Figuur 20 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:45



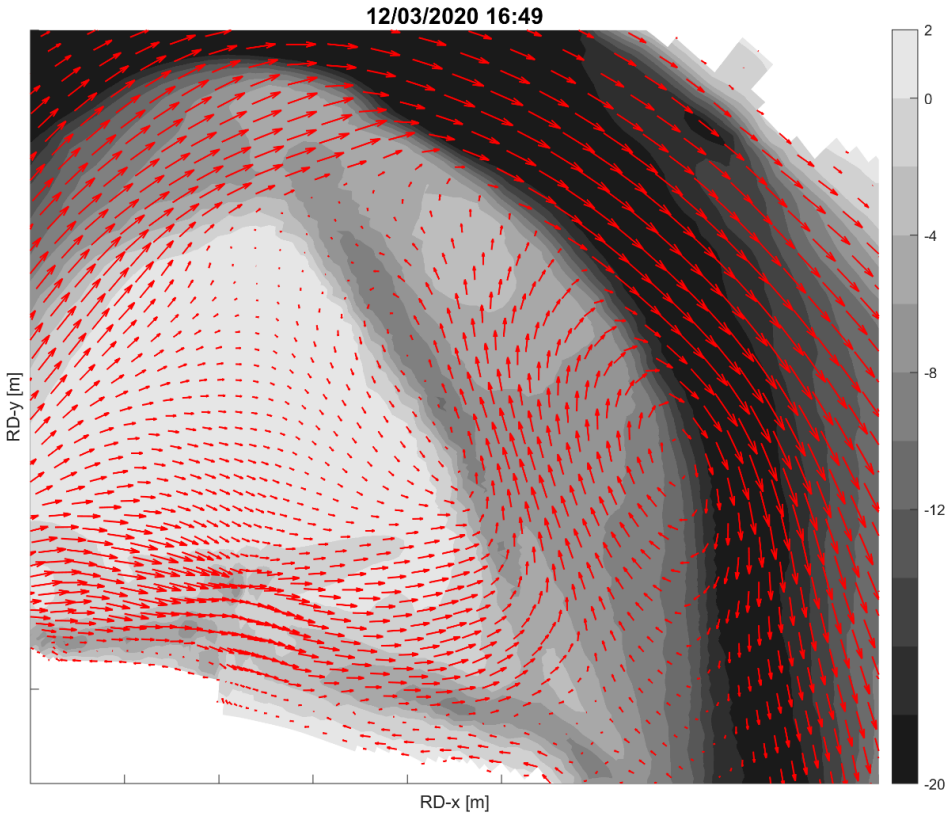
Figuur 21 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:46



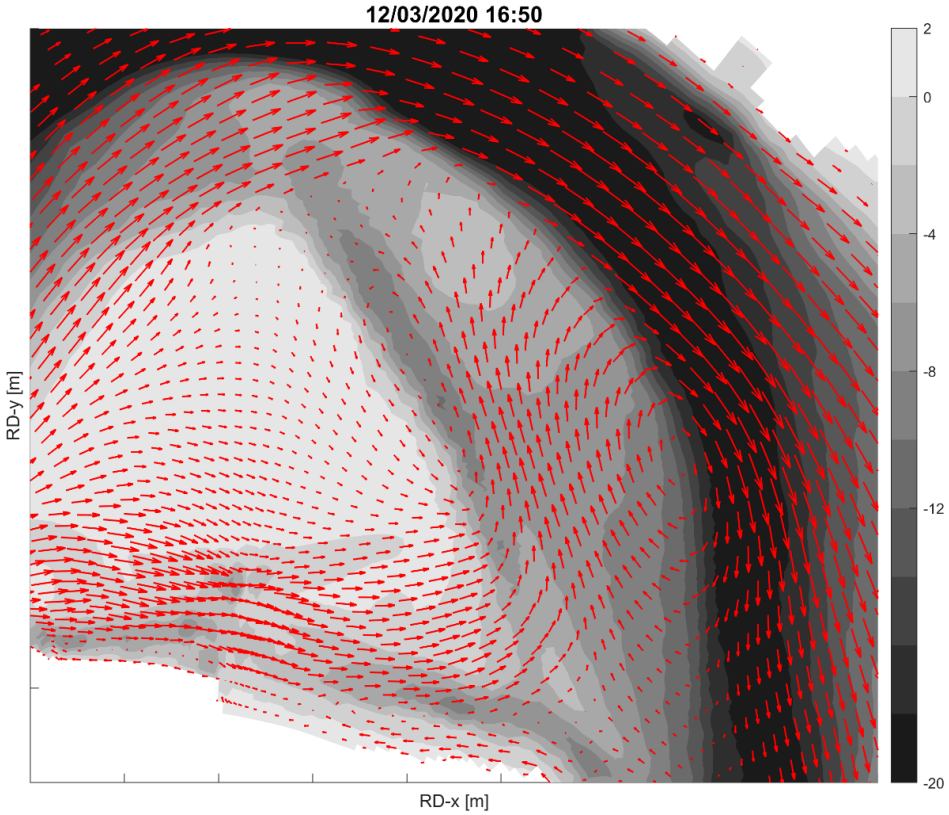
Figuur 22 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:47



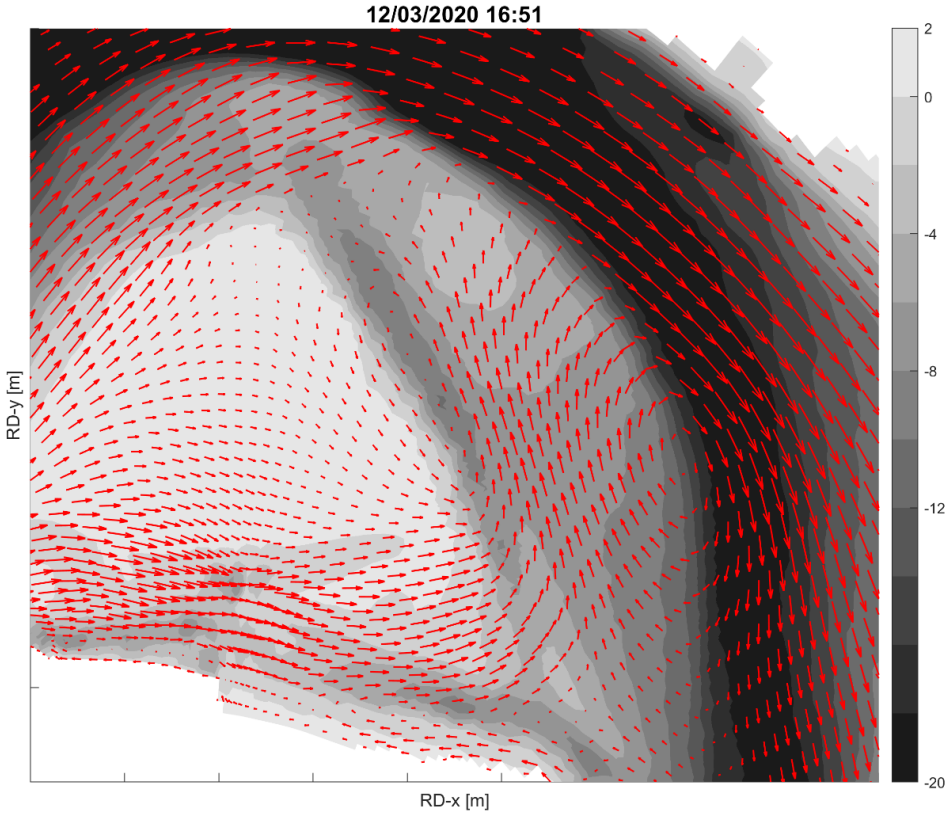
Figuur 23 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:48



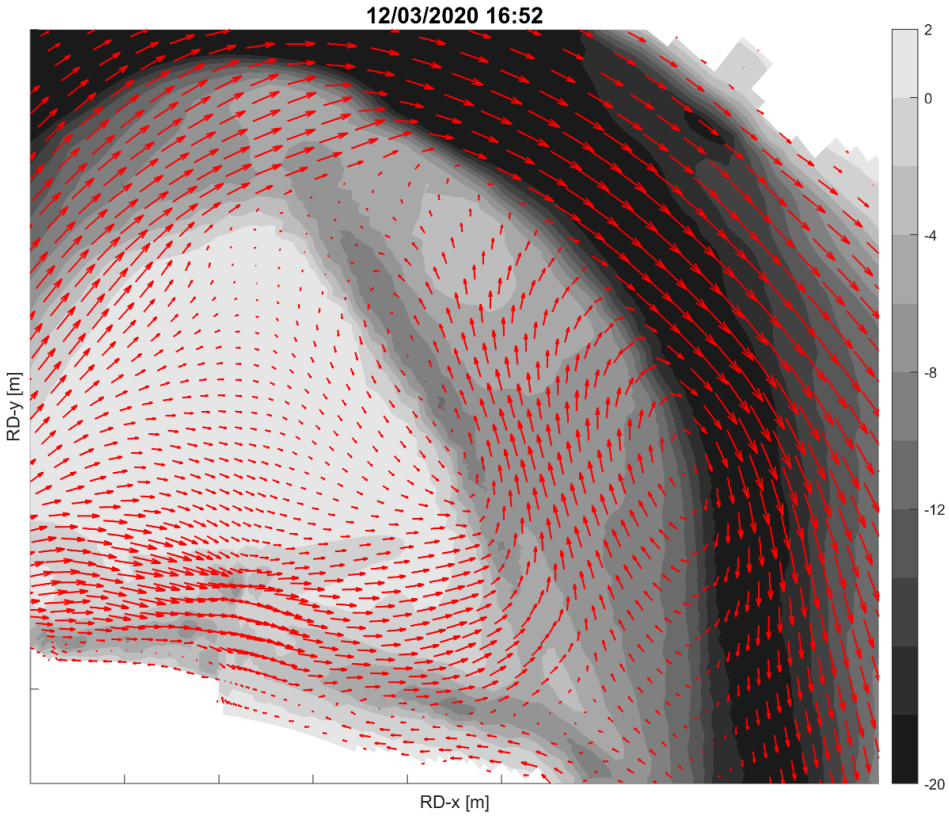
Figuur 24 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:49



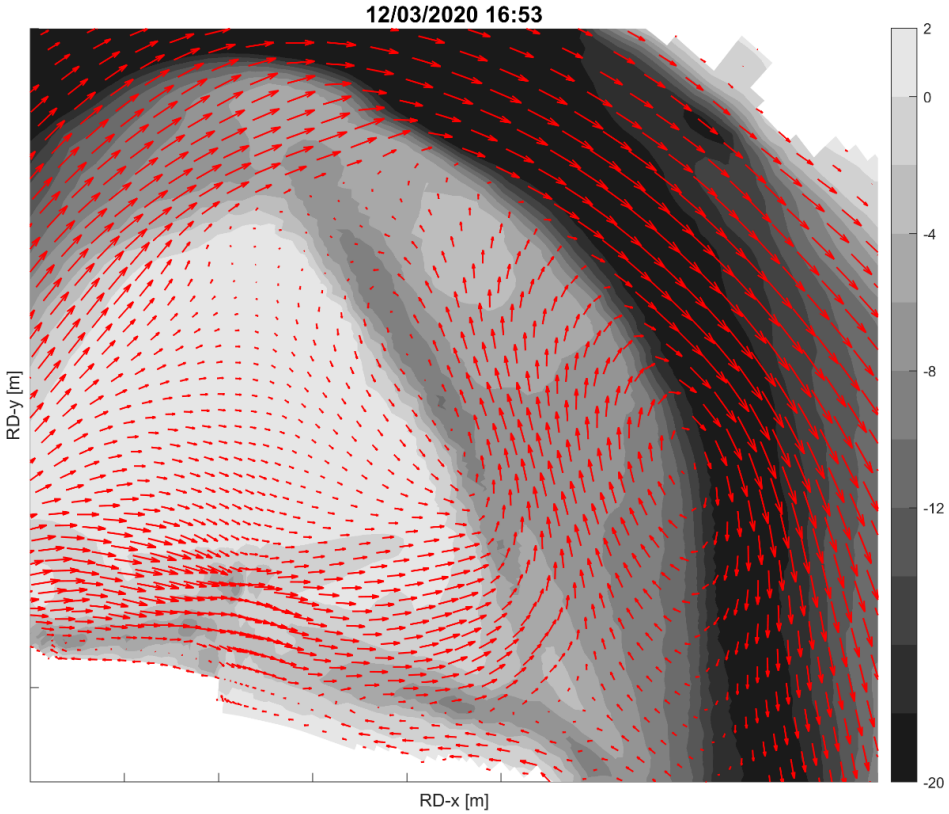
Figuur 25 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:50



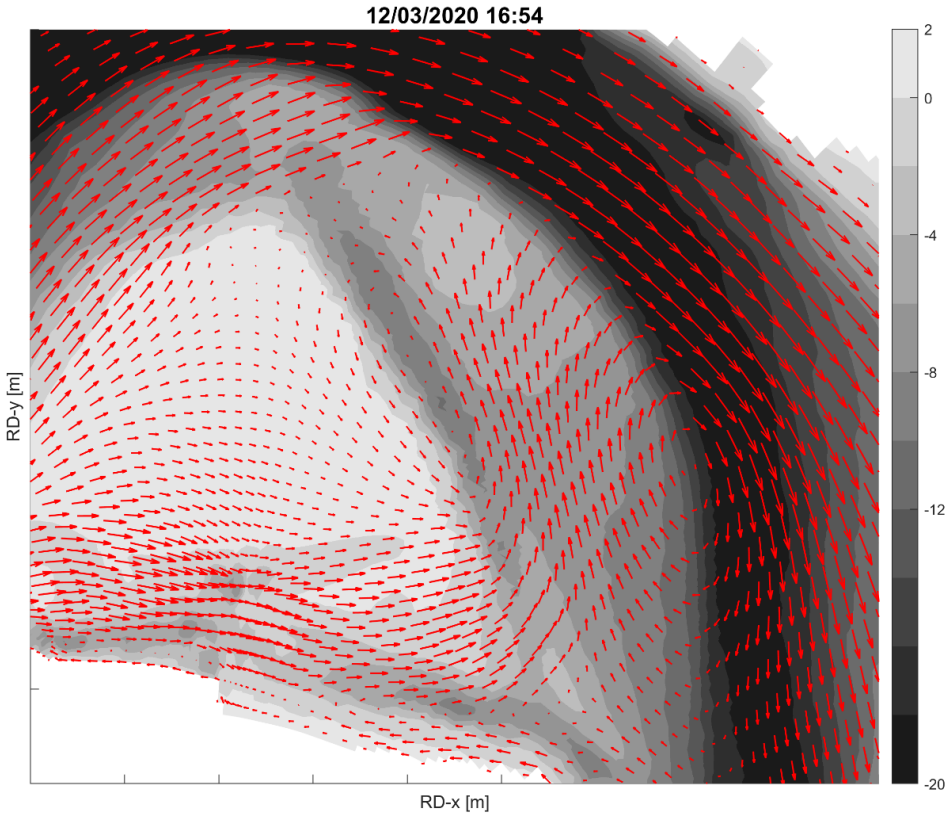
Figuur 26 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:51



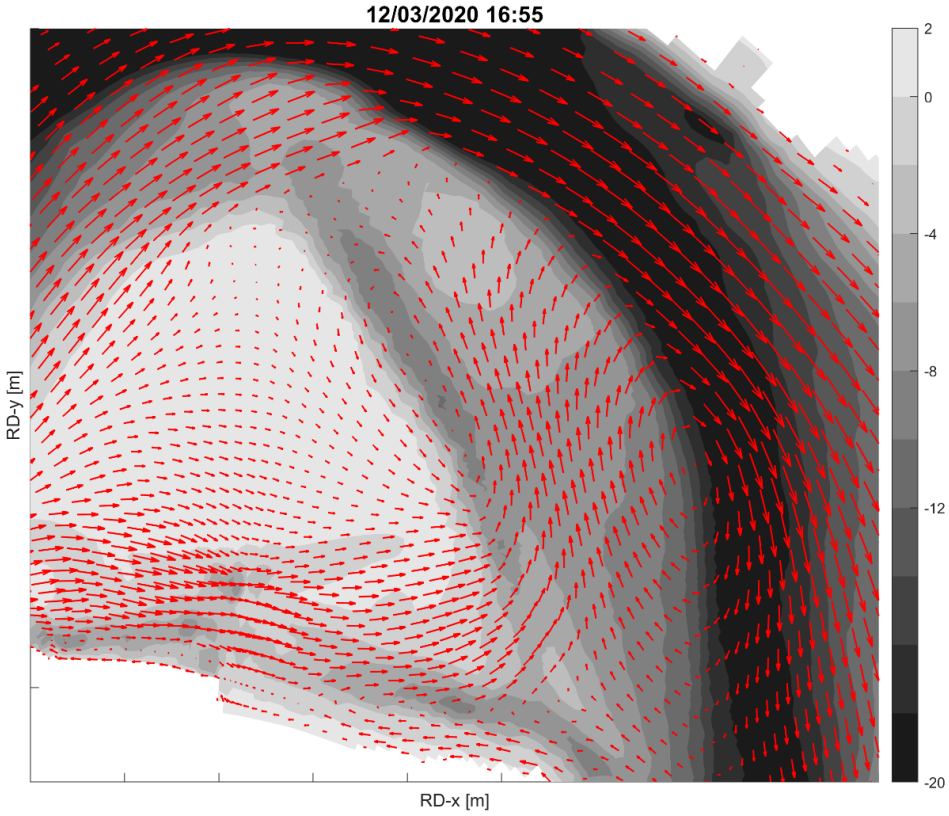
Figuur 27 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:52



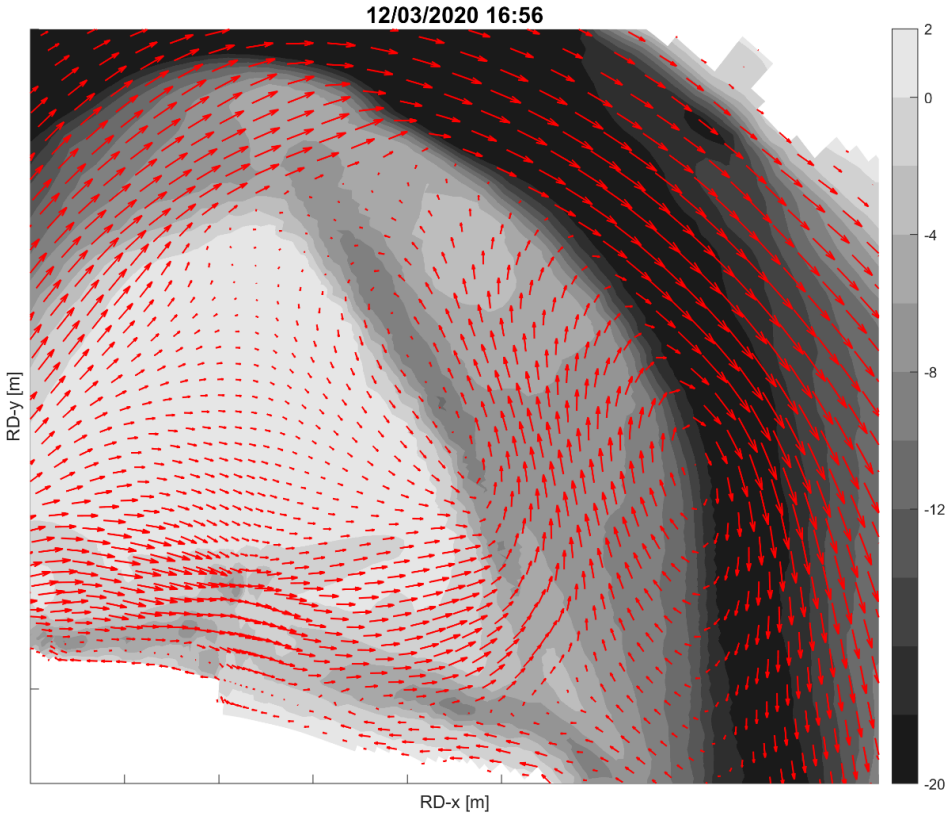
Figuur 28 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:53



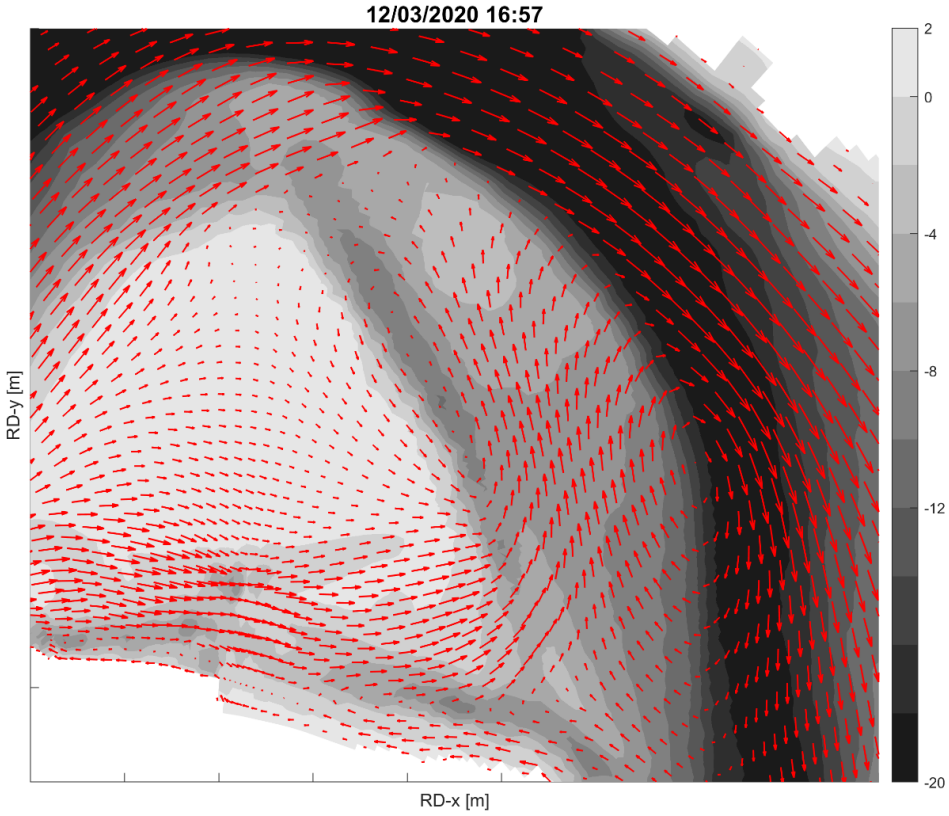
Figuur 29 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:54



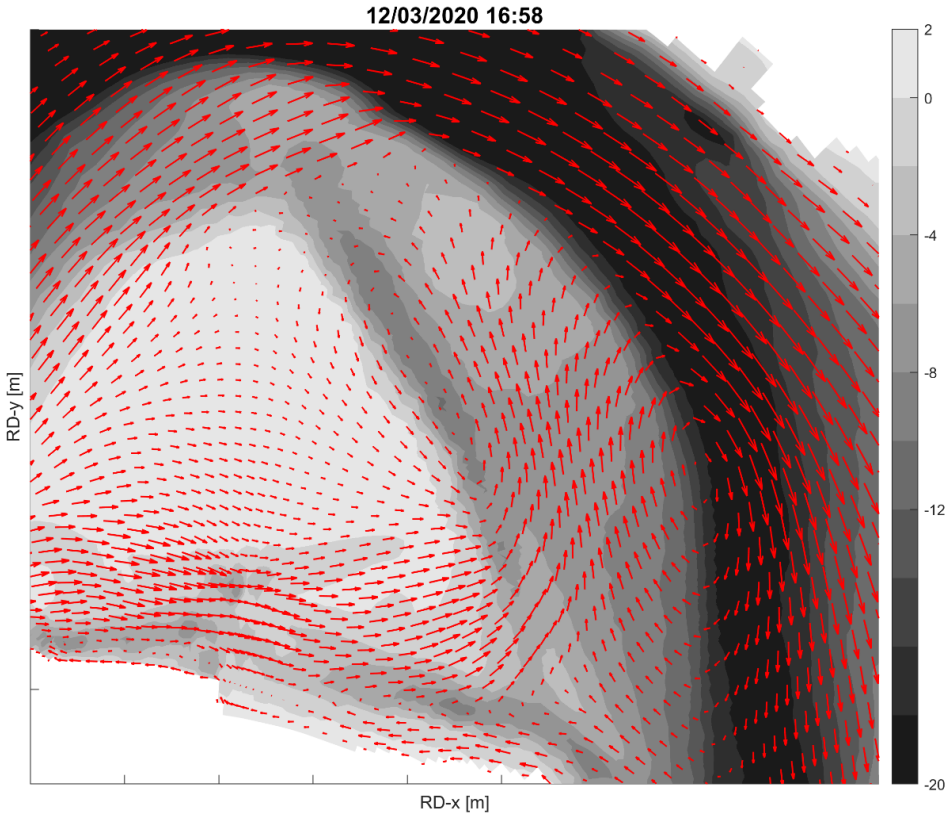
Figuur 30 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:55



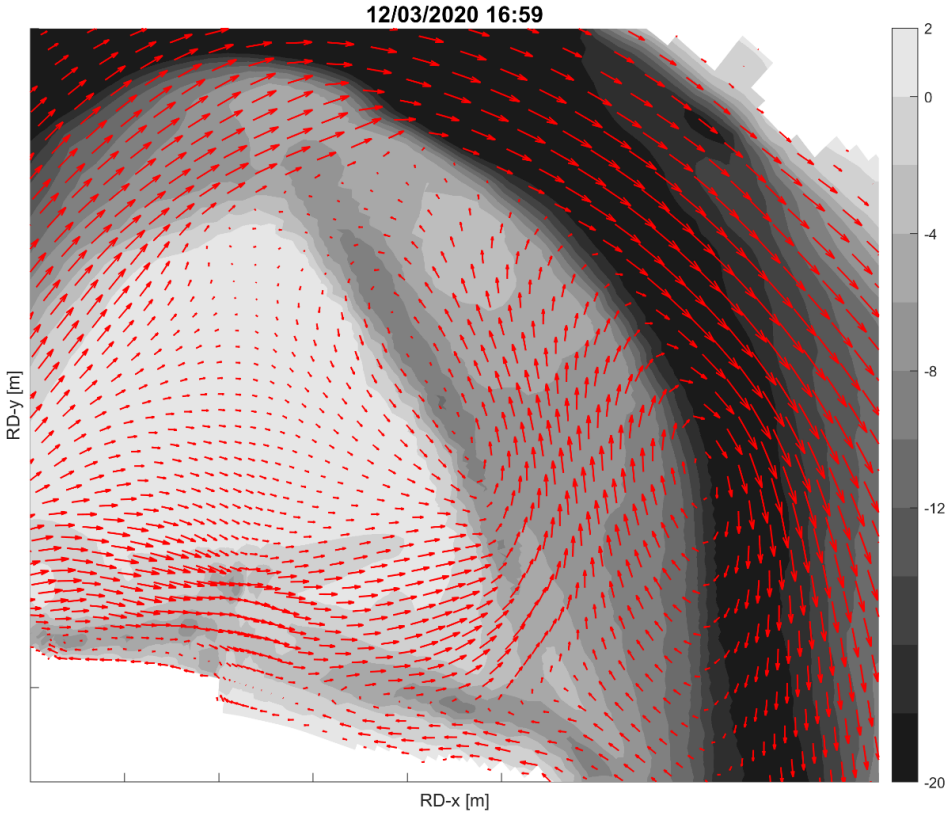
Figuur 31 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:56



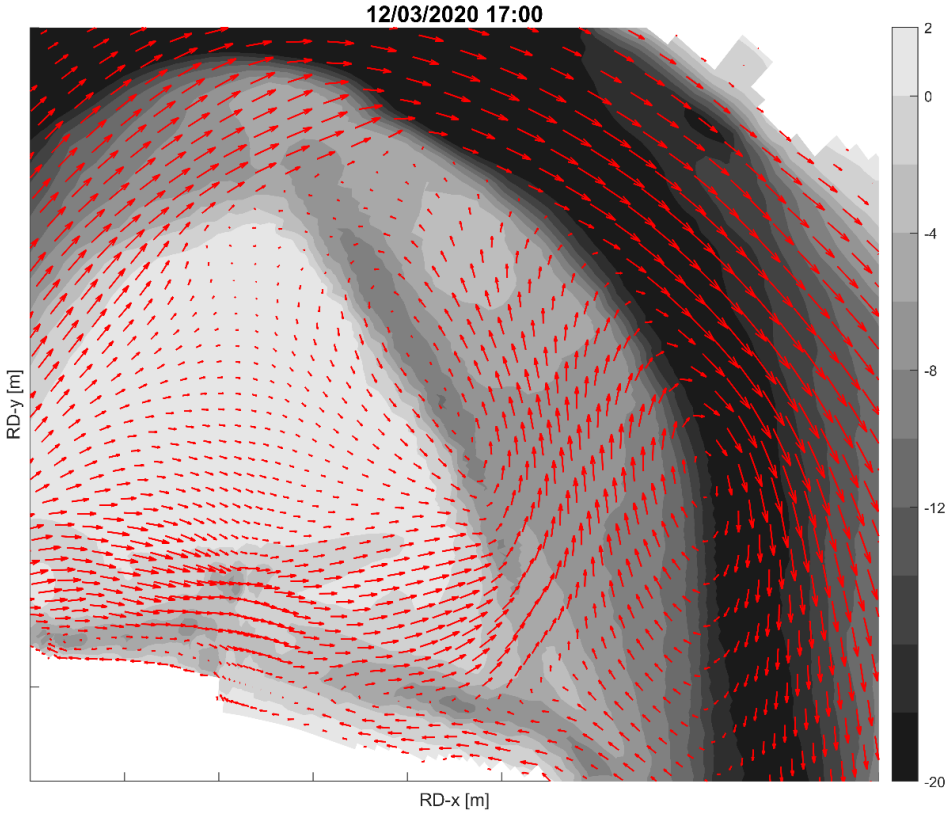
Figuur 32 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:57



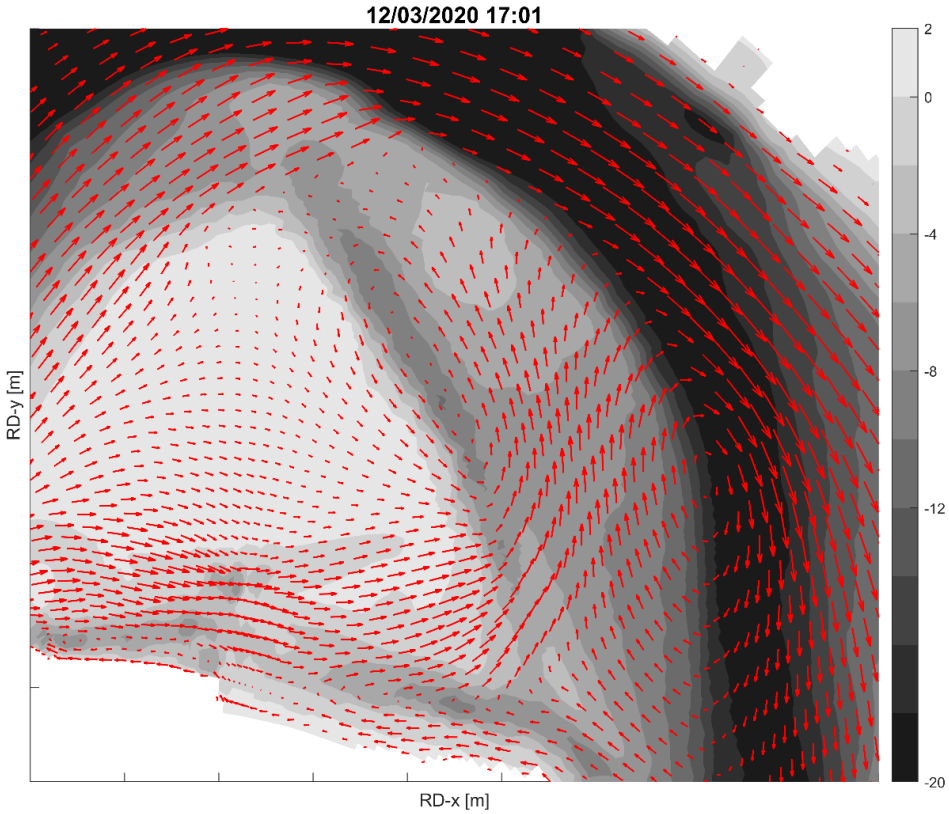
Figuur 33 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:58



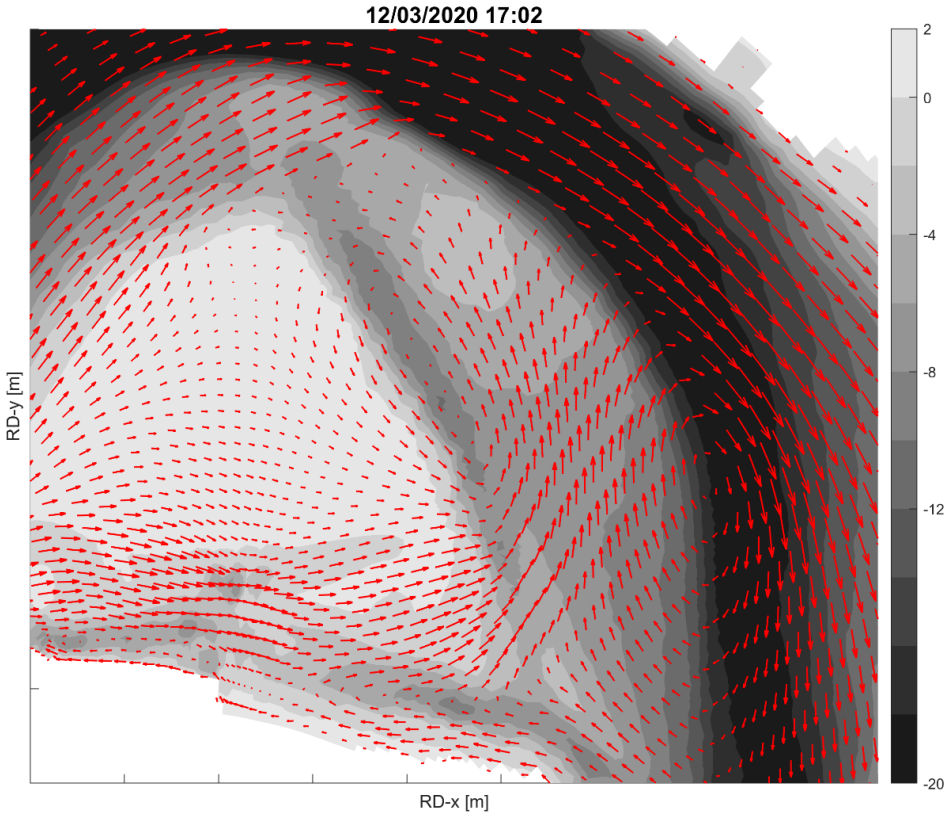
Figuur 34 – Gesimuleerd stromingsveld om 16:59



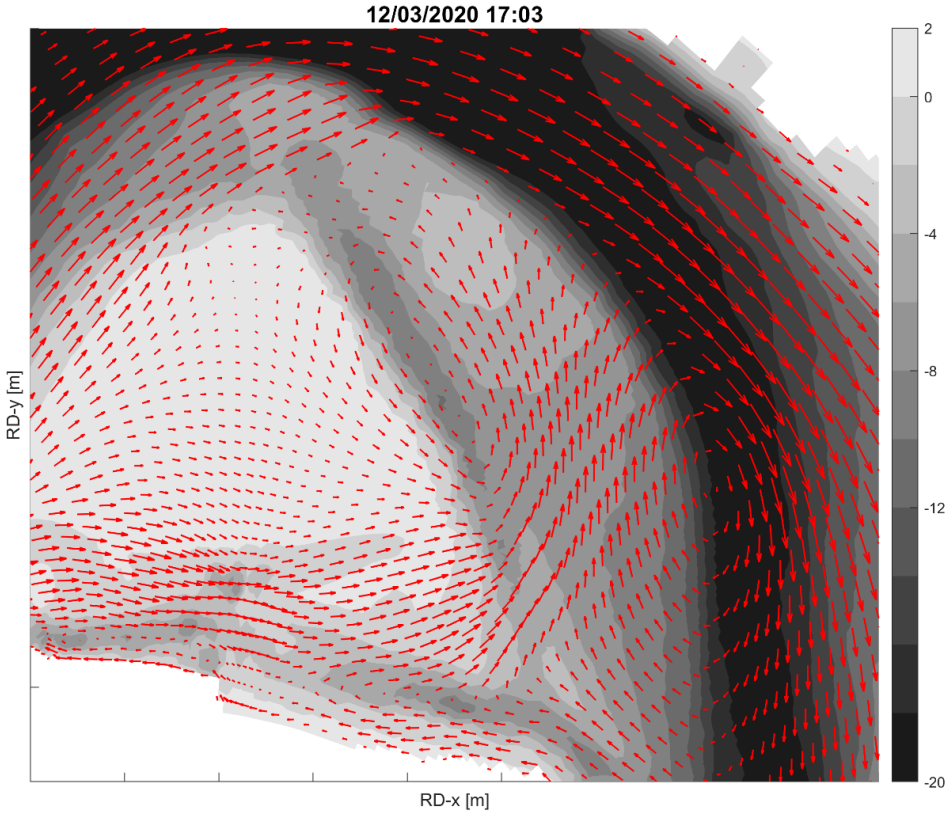
Figuur 35 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:00



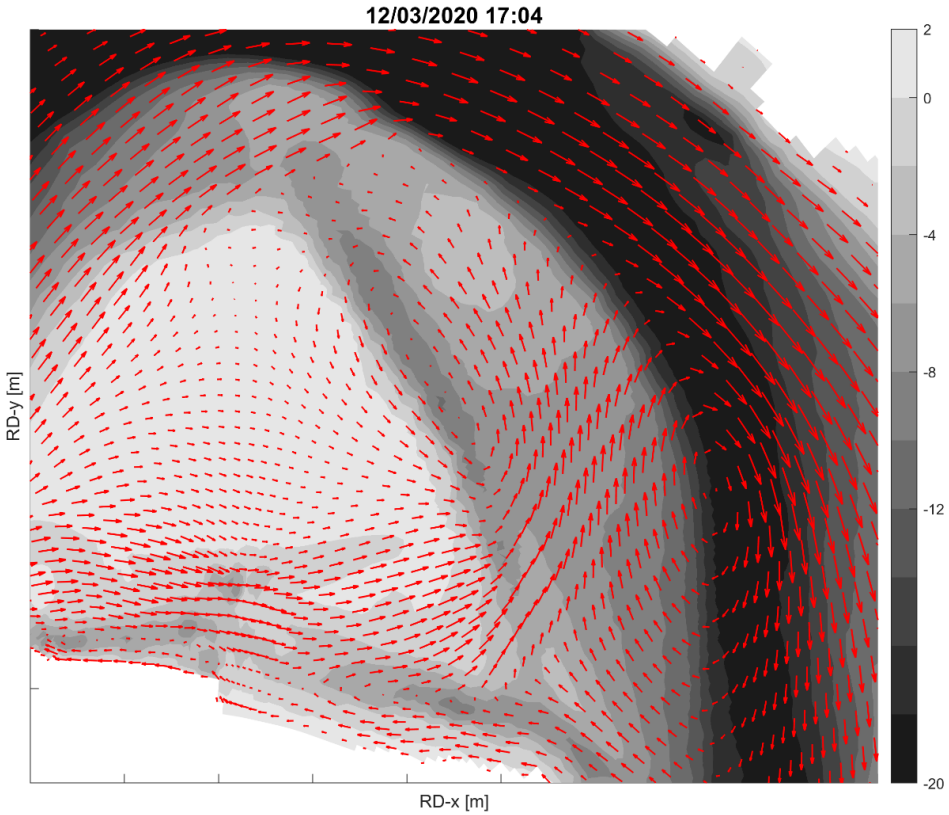
Figuur 36 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:01



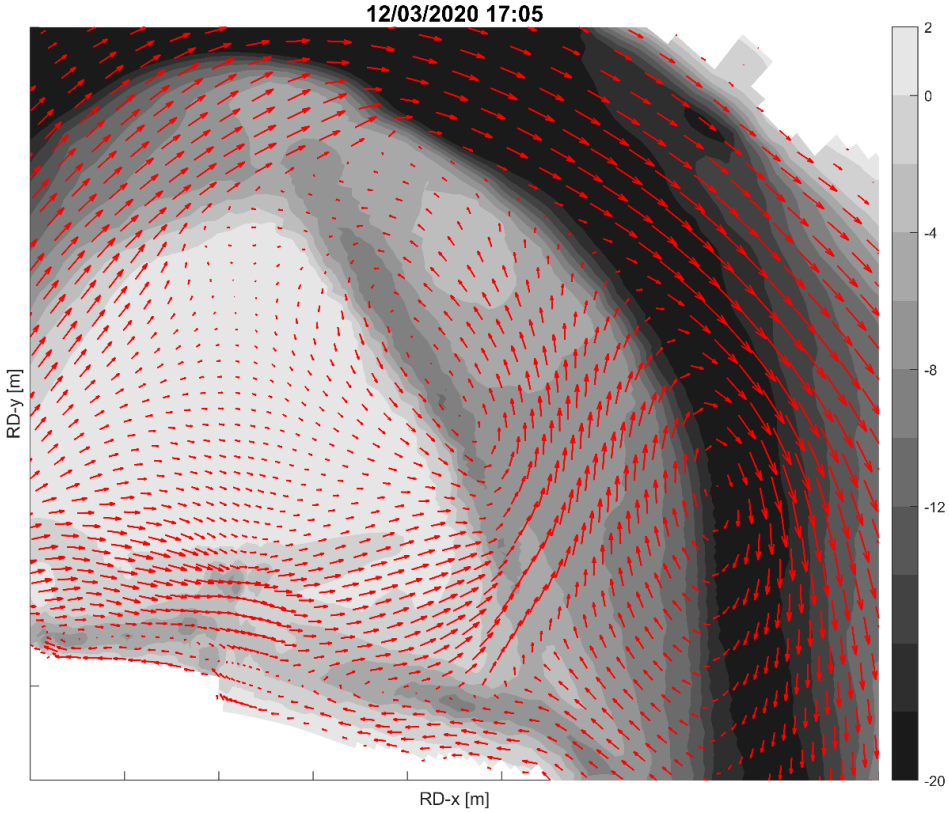
Figuur 37 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:02



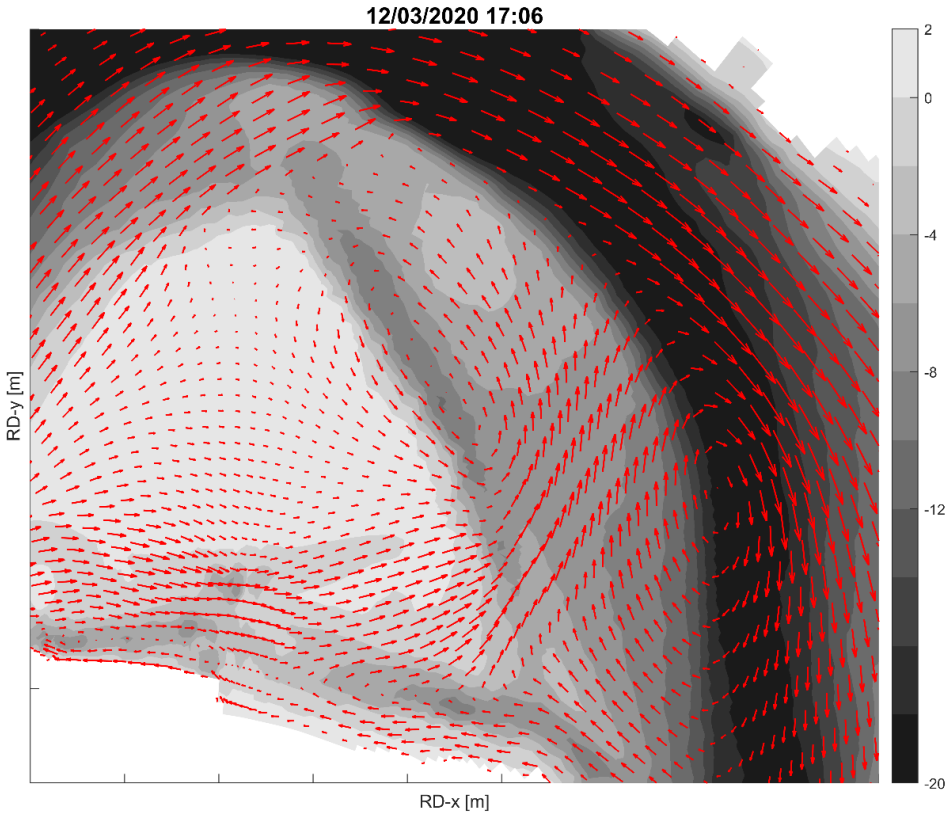
Figuur 38 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:03



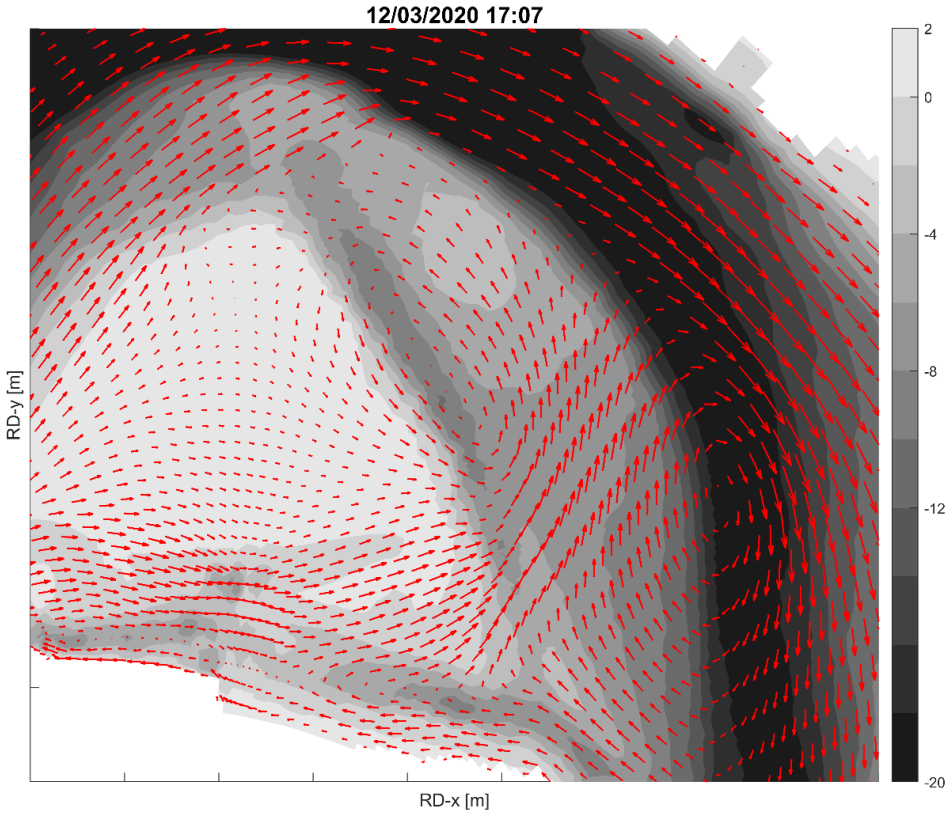
Figuur 39 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:04



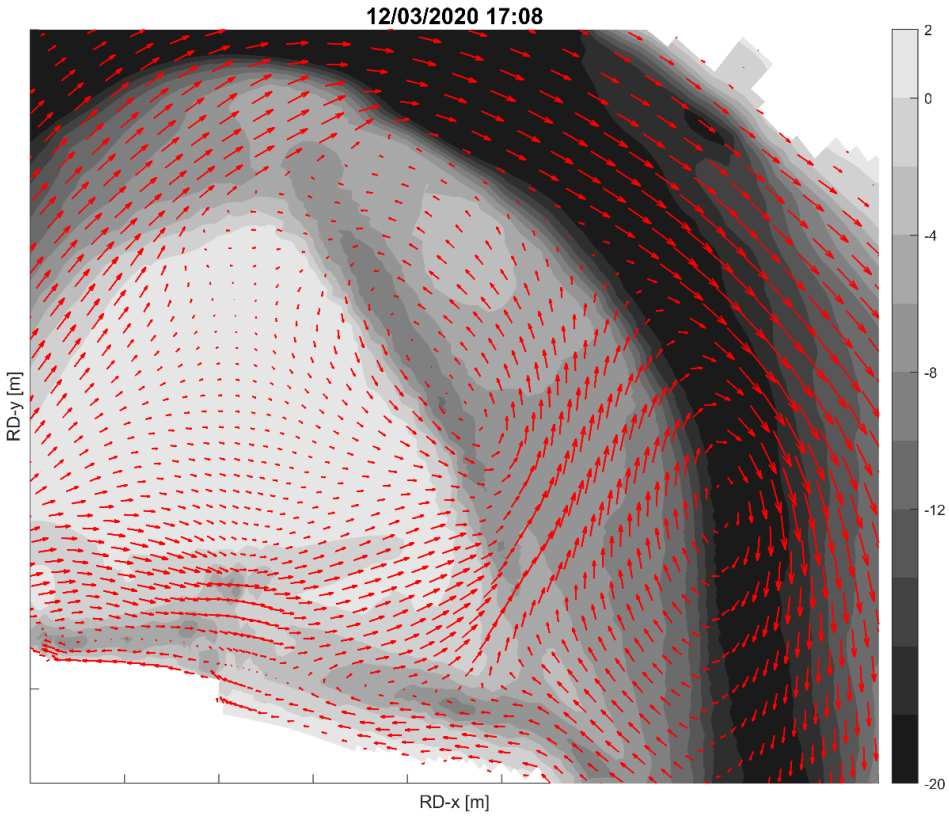
Figuur 40 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:05



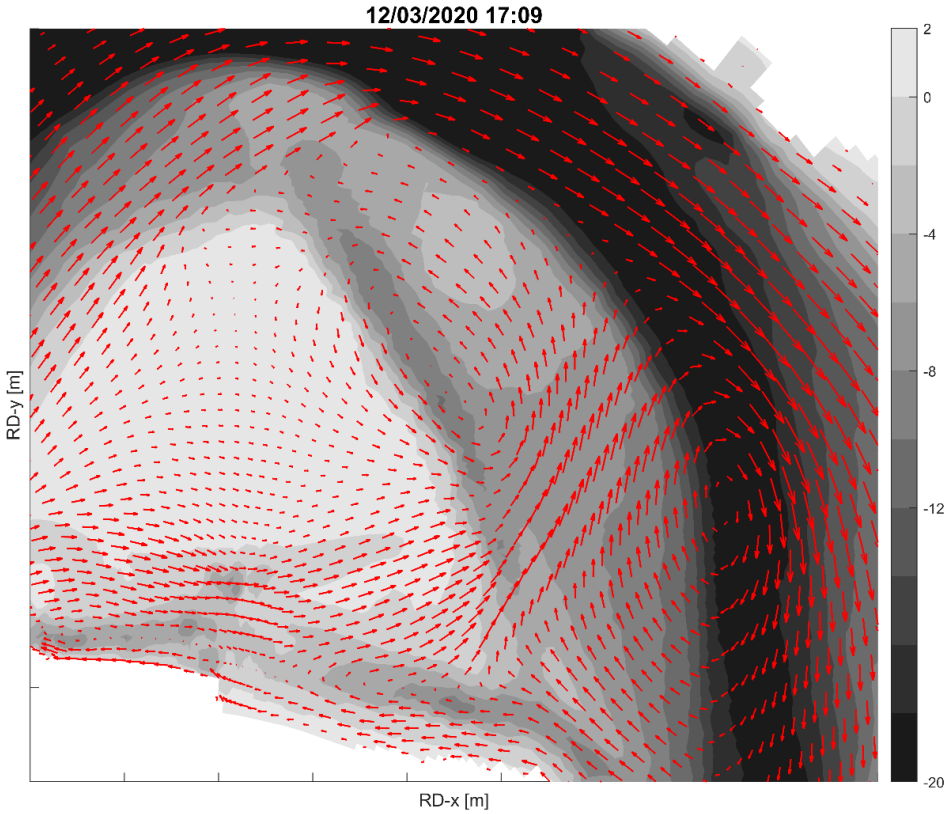
Figuur 41 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:06



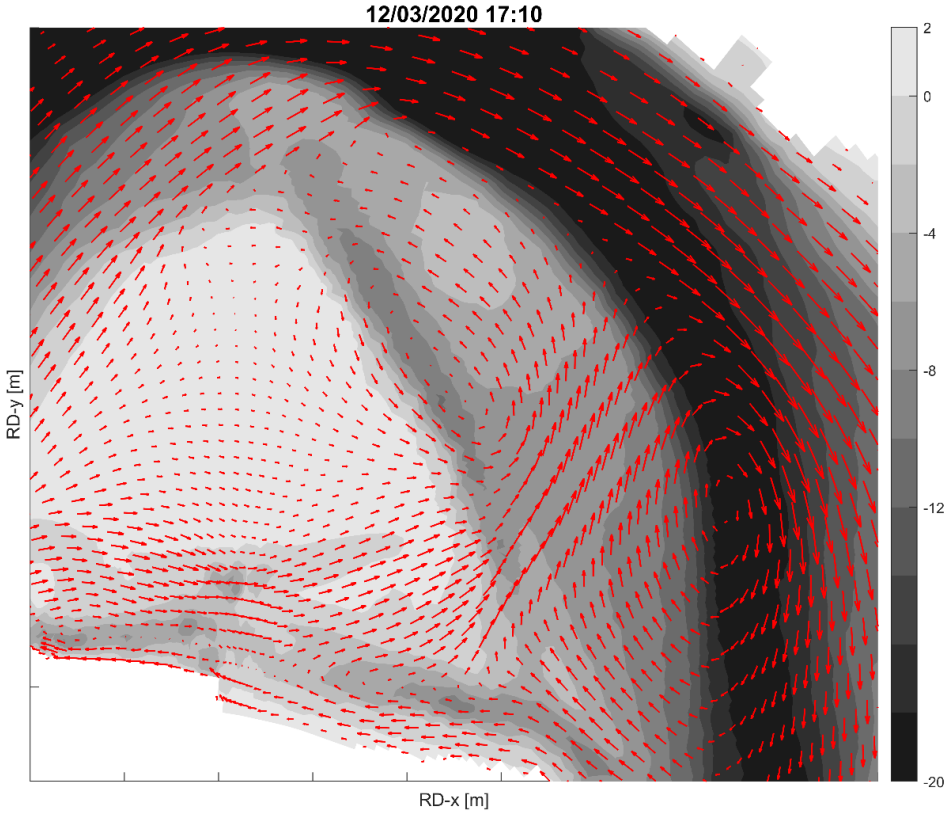
Figuur 42 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:07



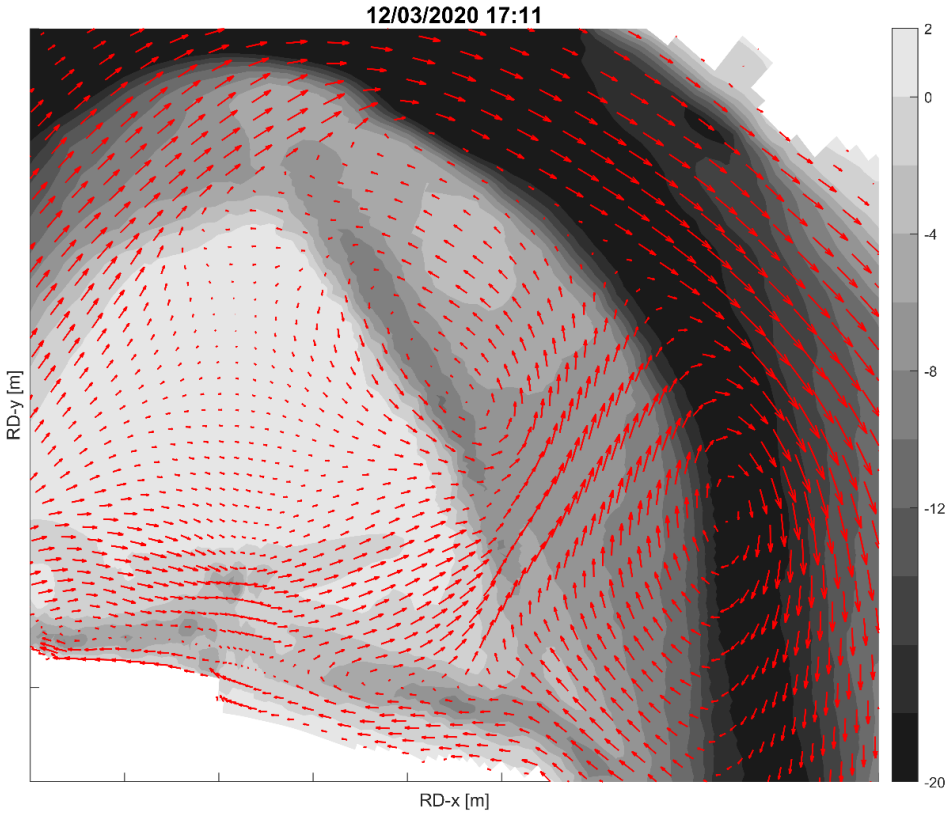
Figuur 43 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:08



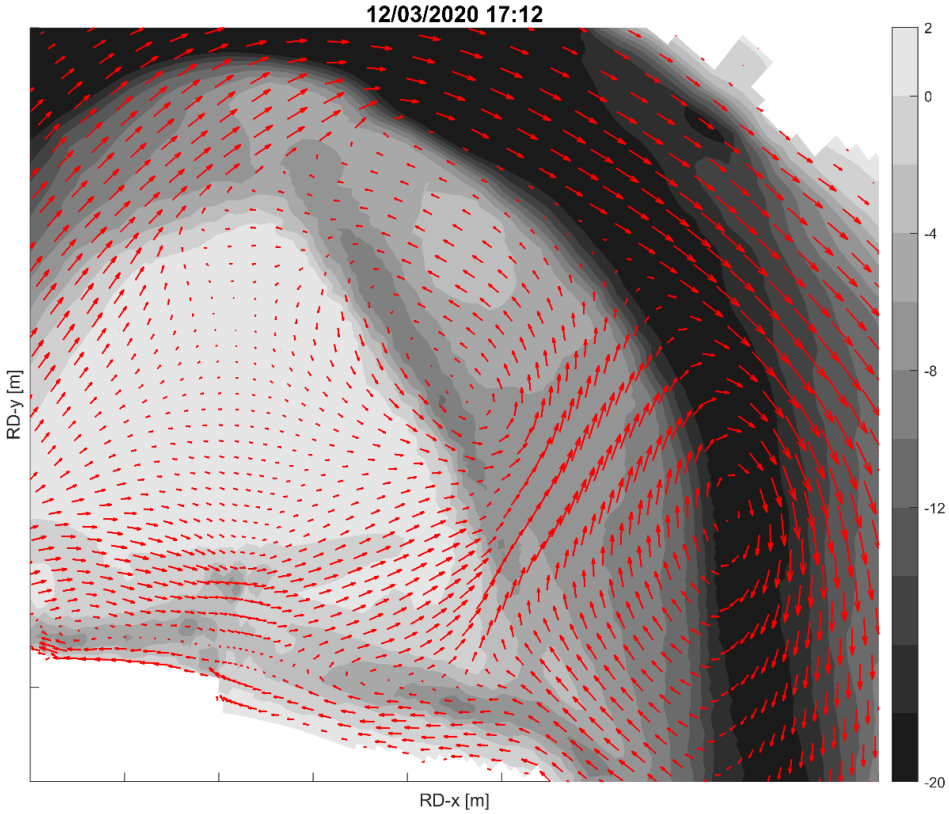
Figuur 44 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:09



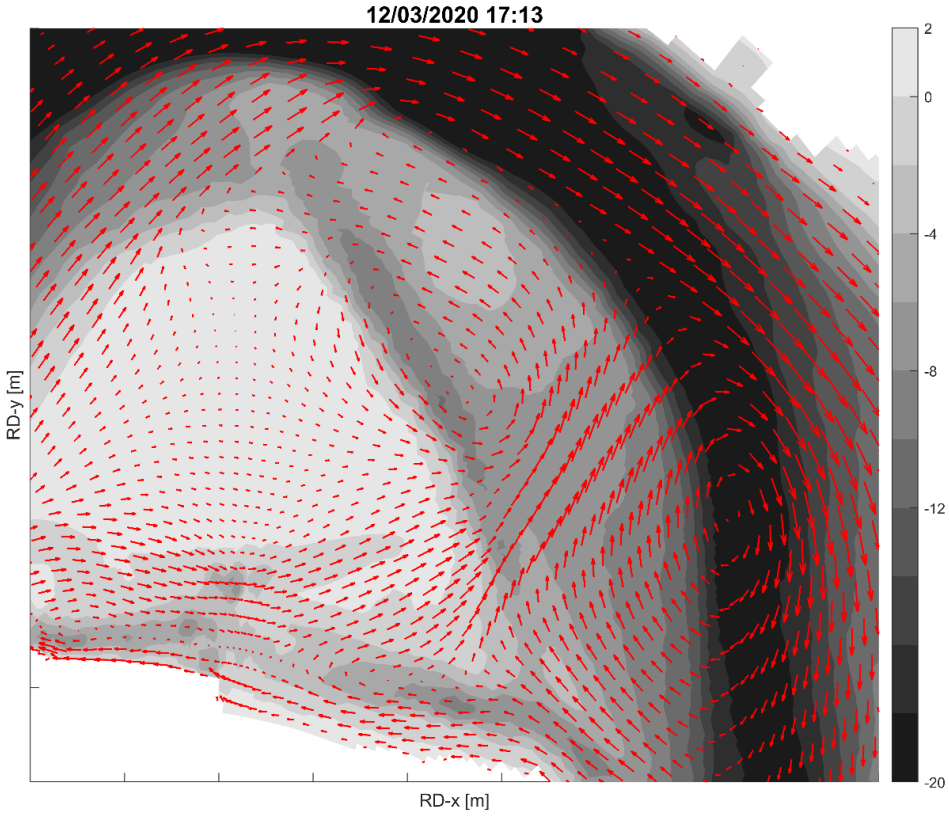
Figuur 45 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:10



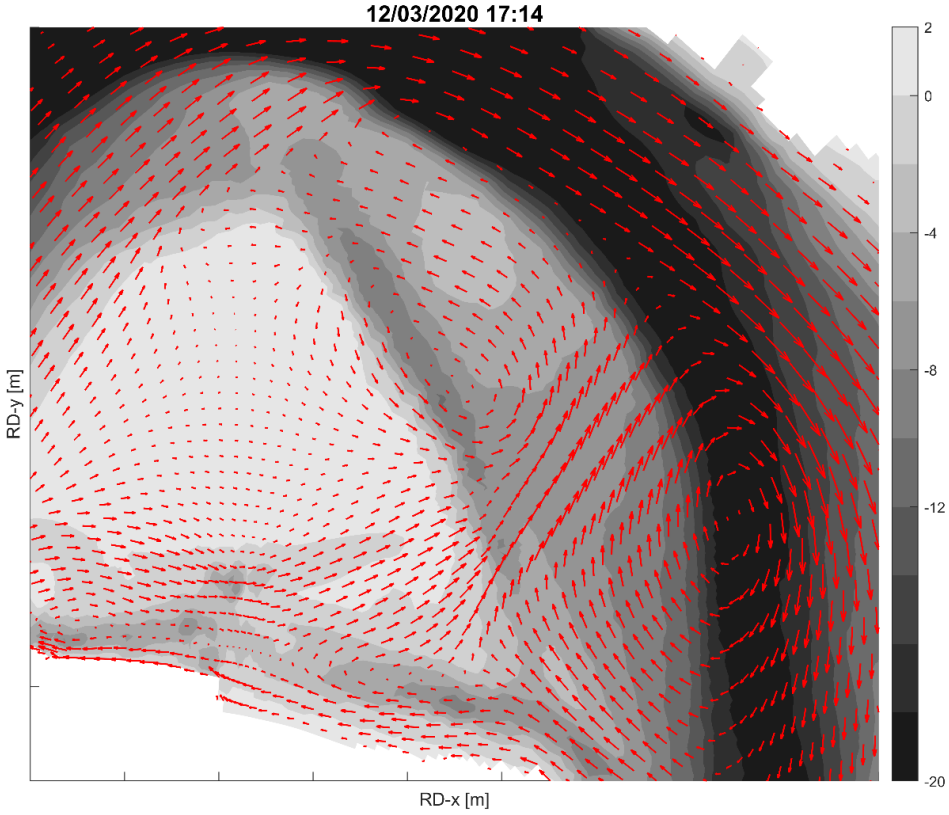
Figuur 46 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:11



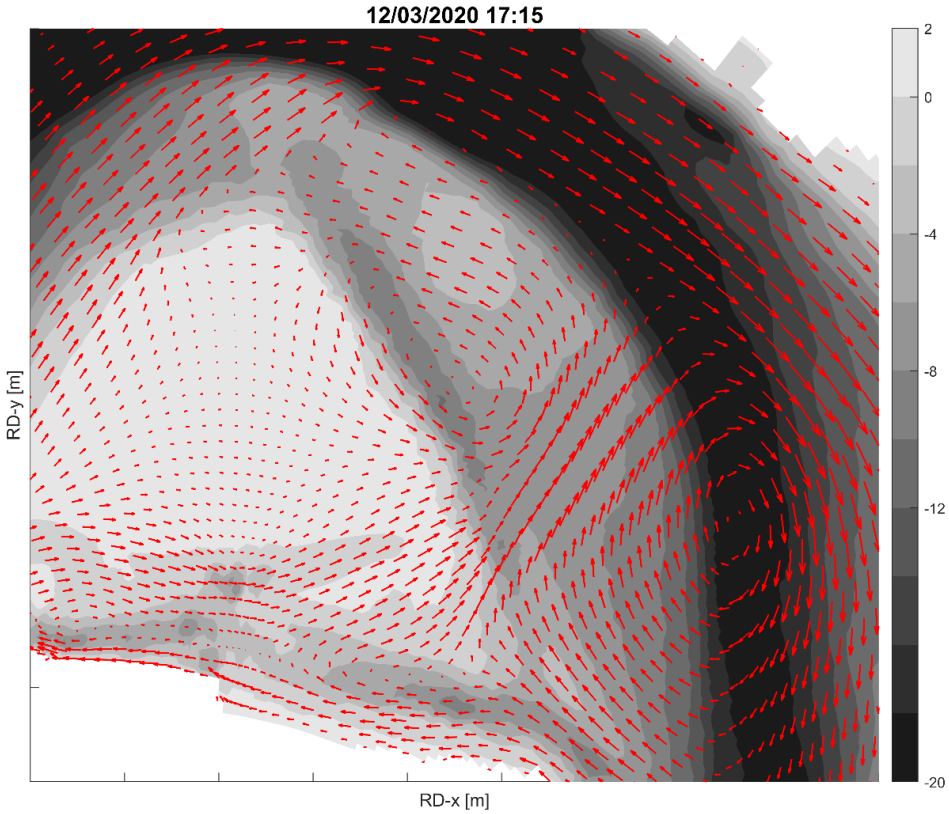
Figuur 47– Gesimuleerd stromingsveld om 17:12



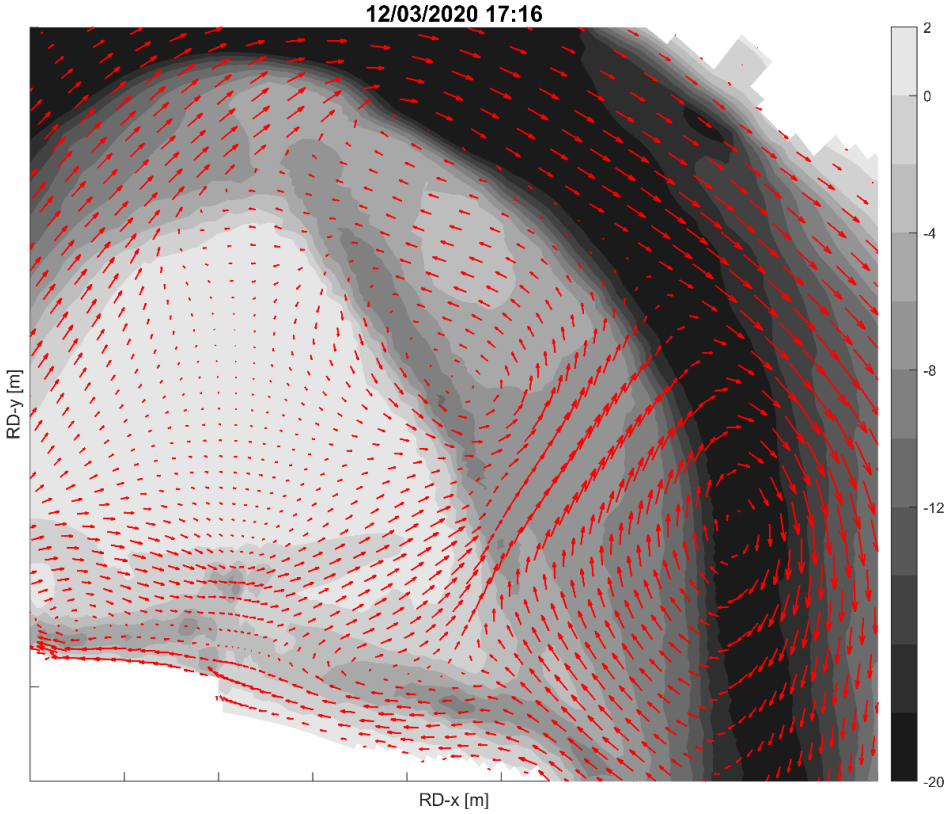
Figuur 48– Gesimuleerd stromingsveld om 17:13



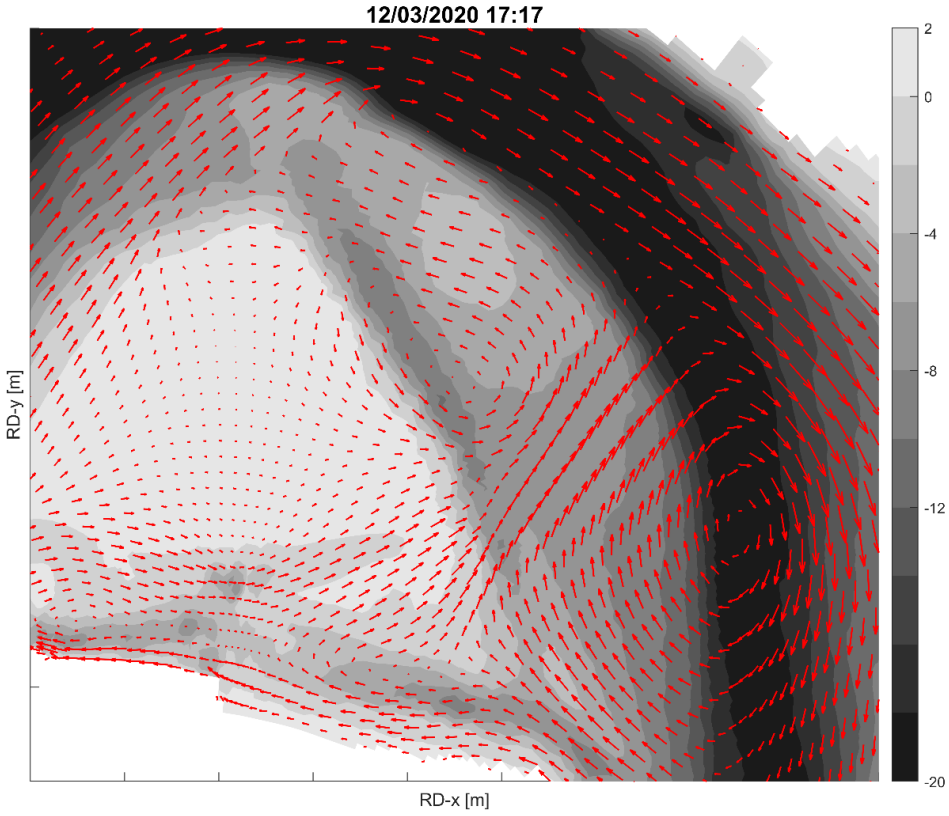
Figuur 49– Gesimuleerd stromingsveld om 17:14



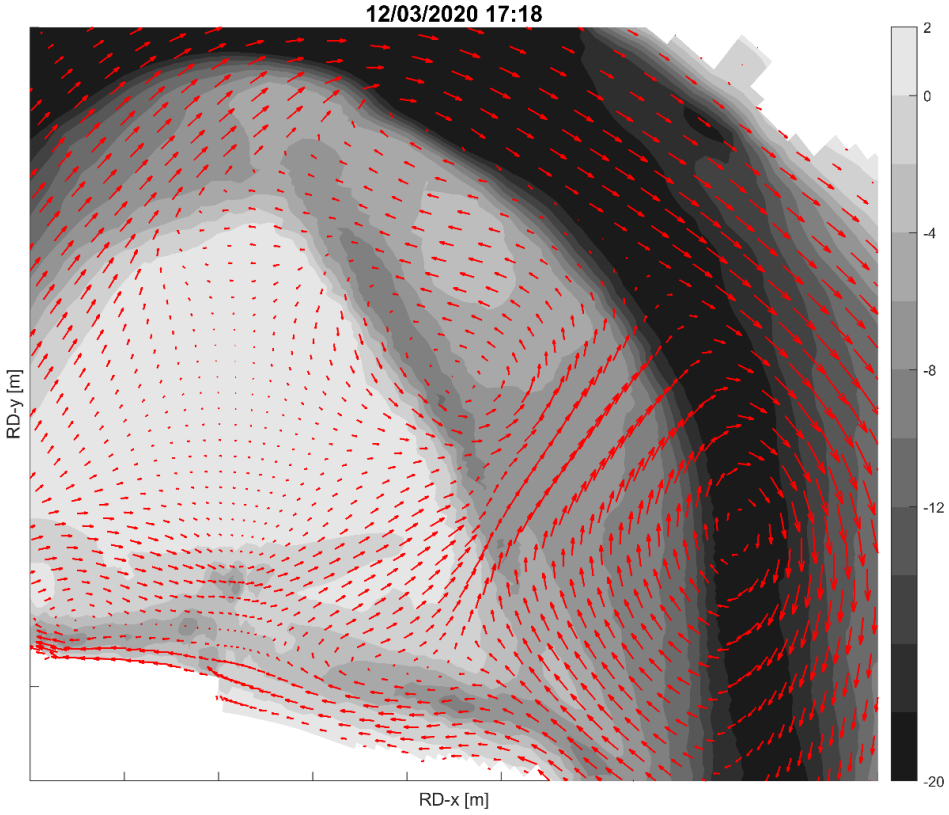
Figuur 50– Gesimuleerd stromingsveld om 17:15



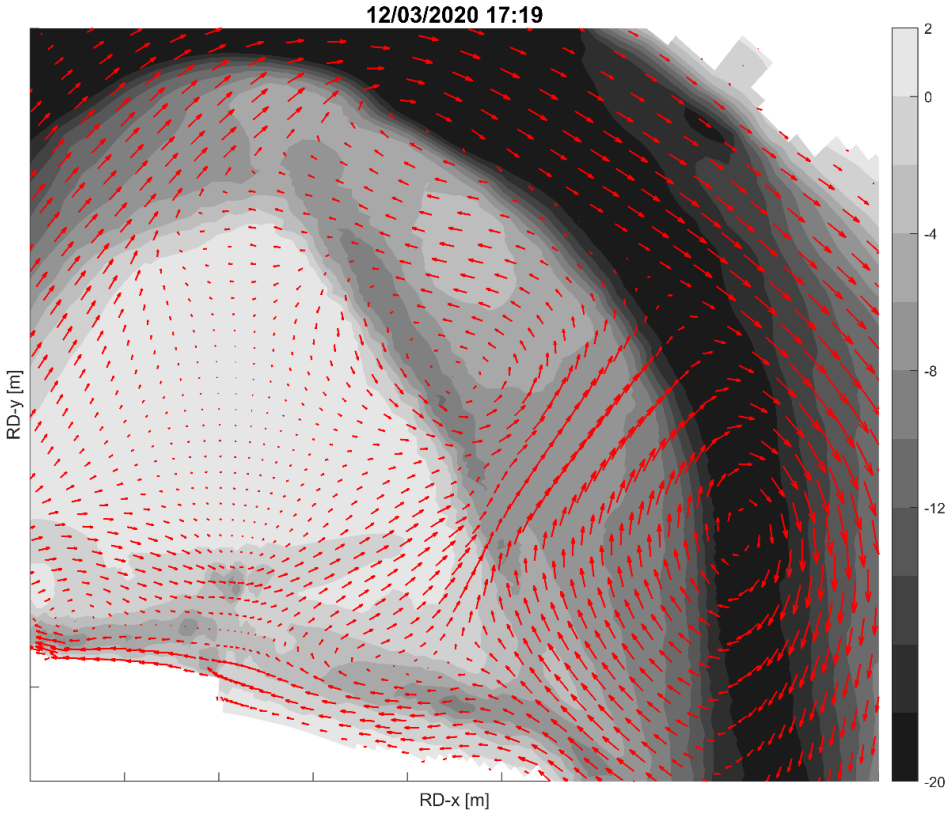
Figuur 51– Gesimuleerd stromingsveld om 17:16



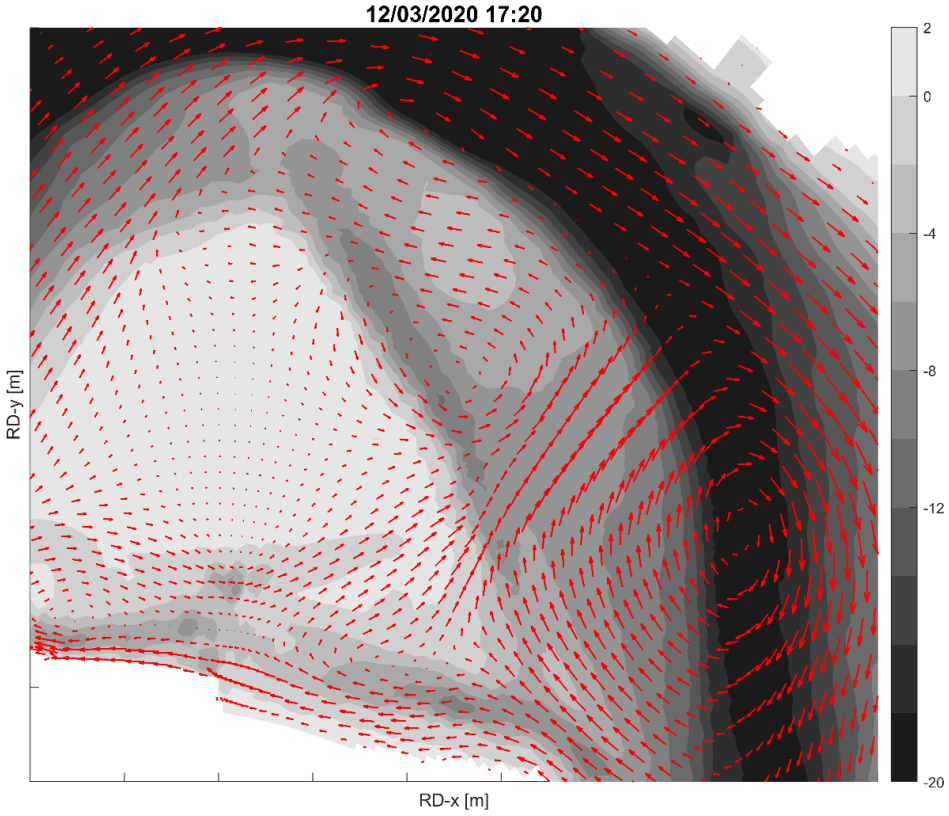
Figuur 52– Gesimuleerd stromingsveld om 17:17



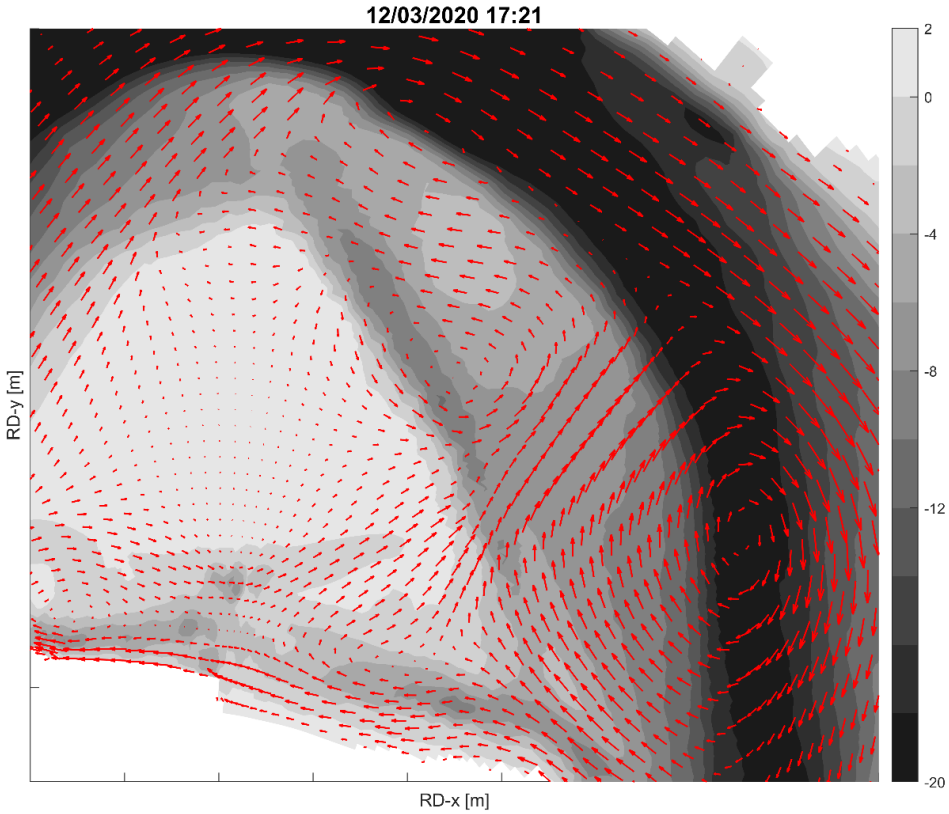
Figuur 53– Gesimuleerd stromingsveld om 17:18



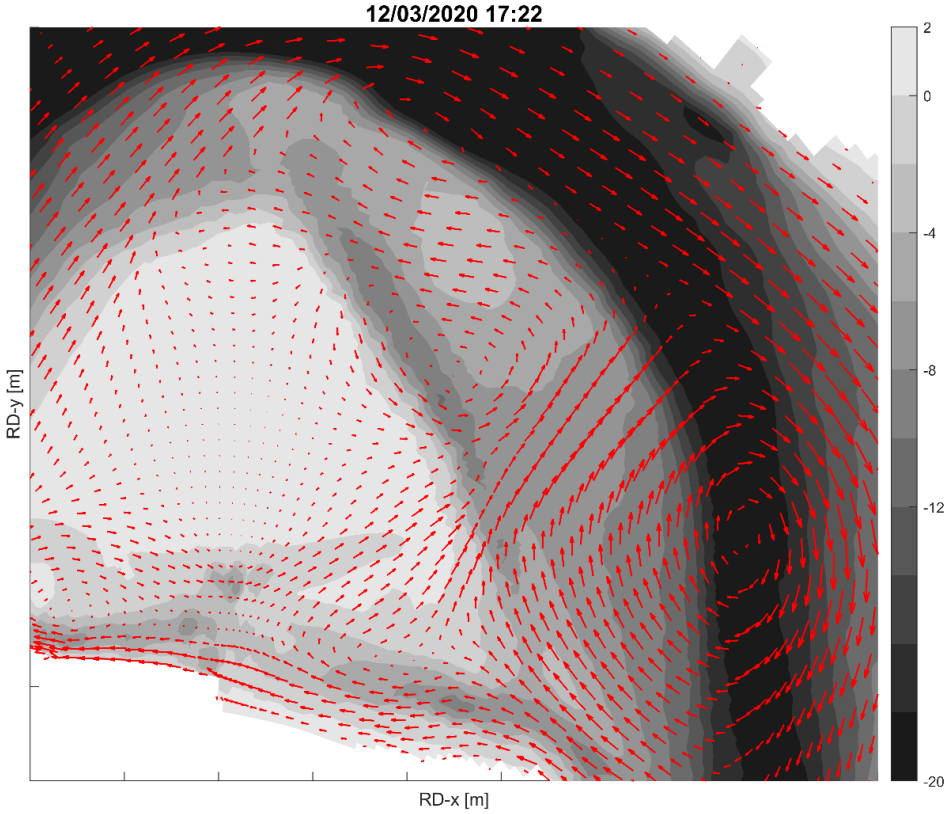
Figuur 54– Gesimuleerd stromingsveld om 17:19



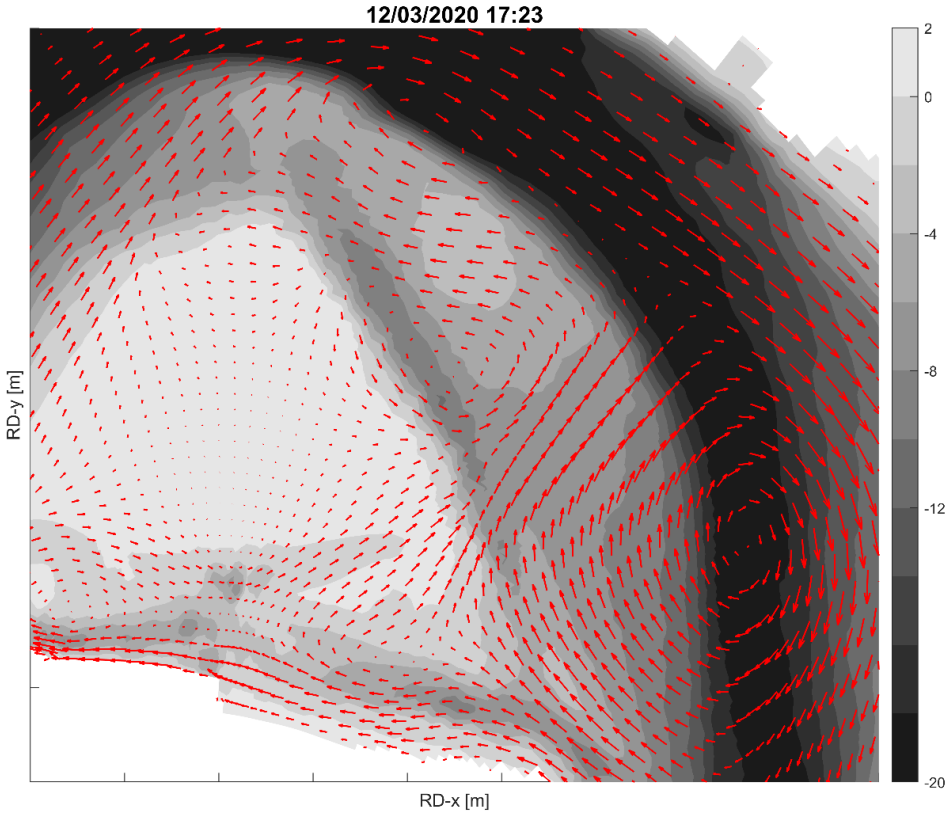
Figuur 55– Gesimuleerd stromingsveld om 17:20



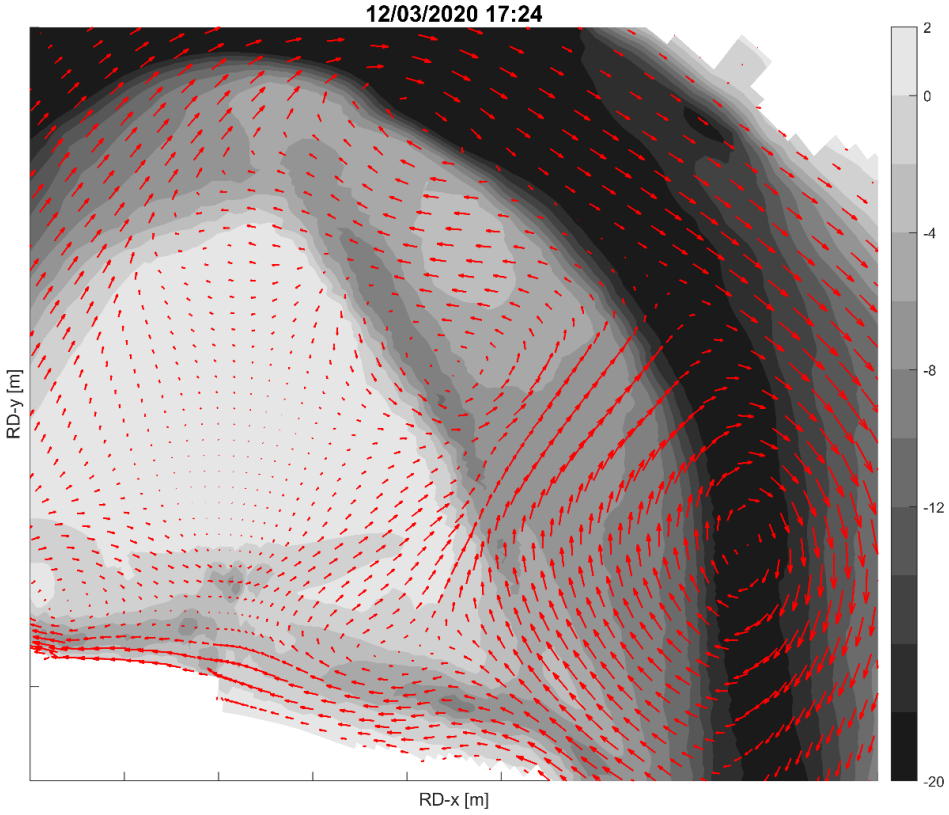
Figuur 56 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:21



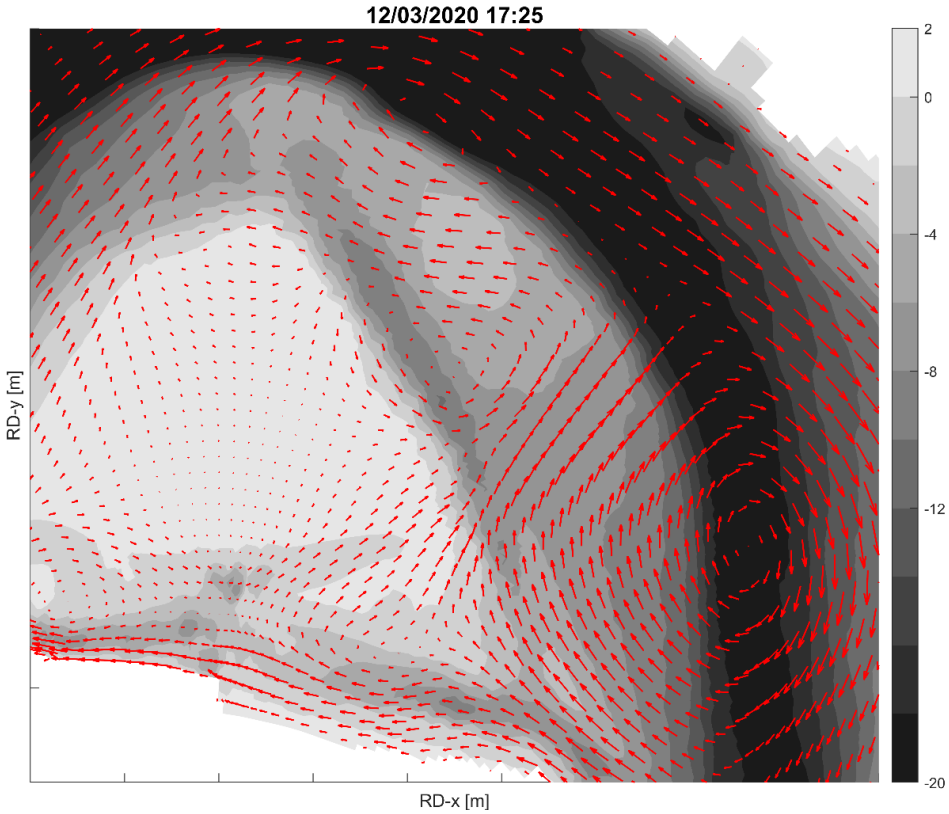
Figuur 57 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:22



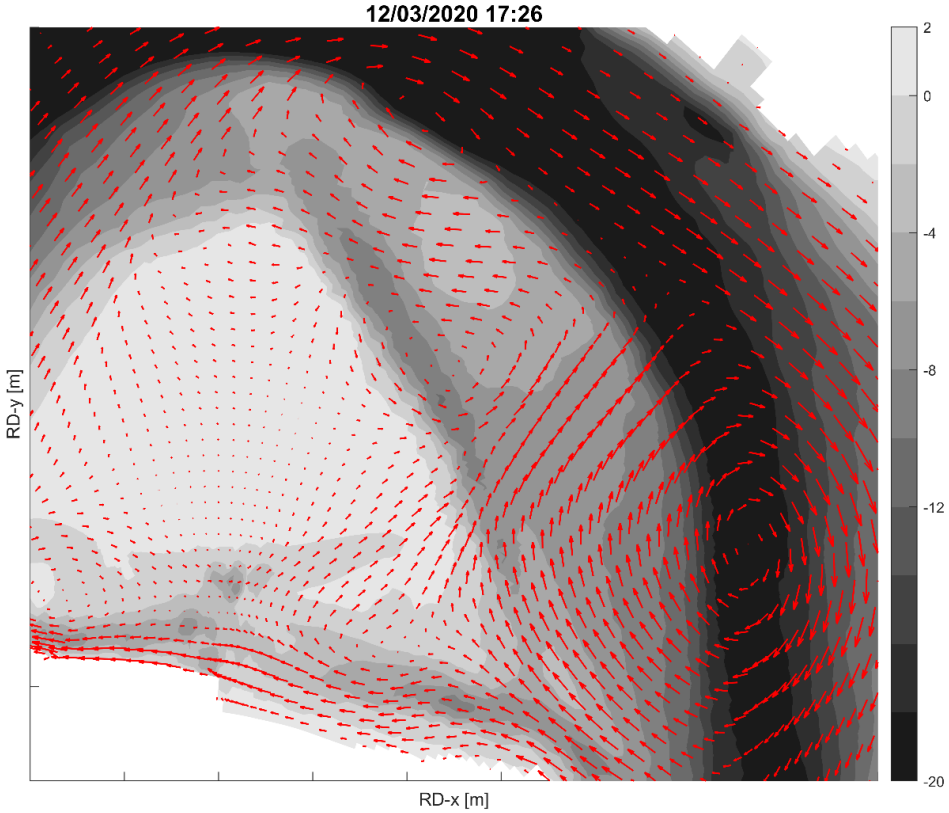
Figuur 58 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:23



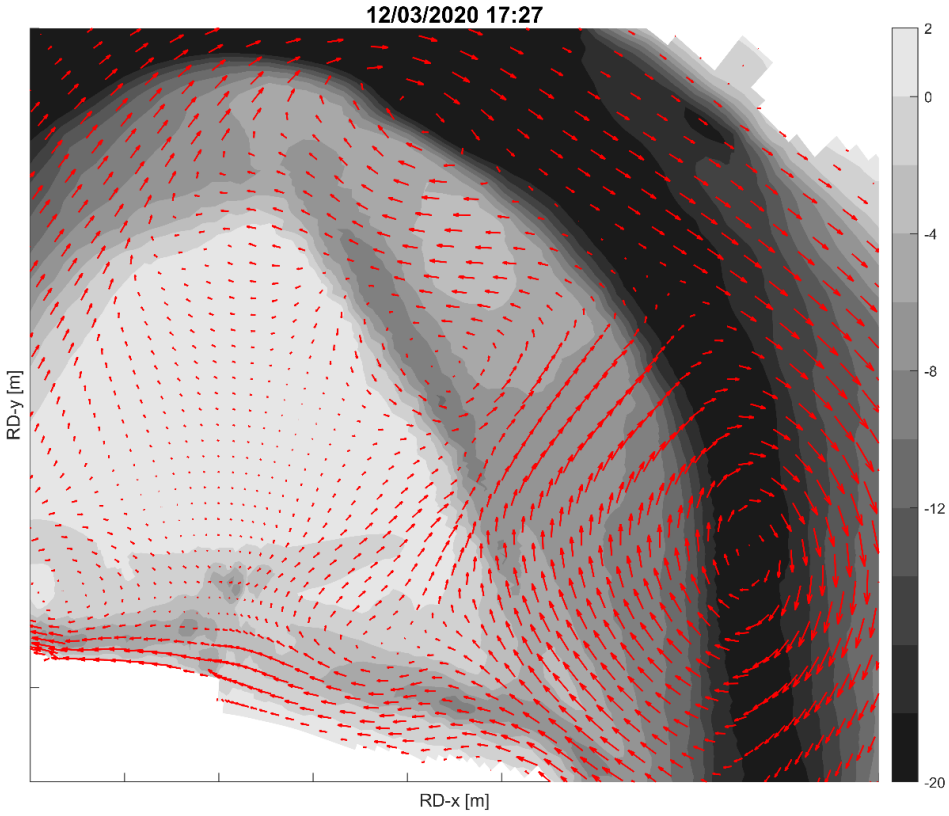
Figuur 59 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:24



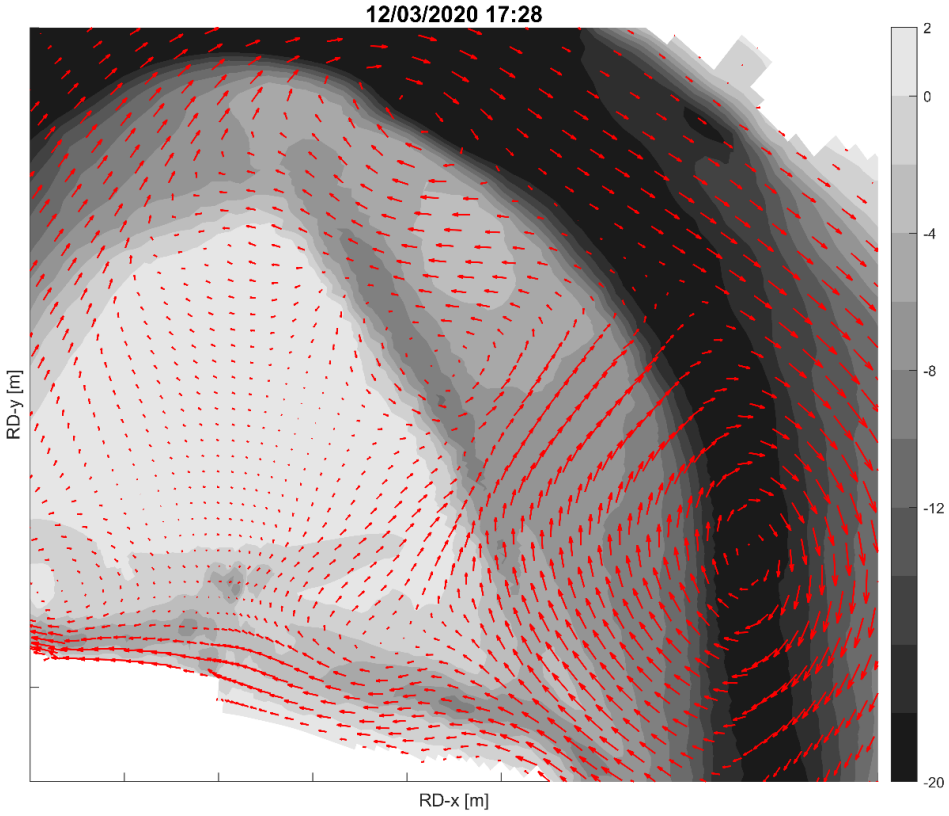
Figuur 60 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:25



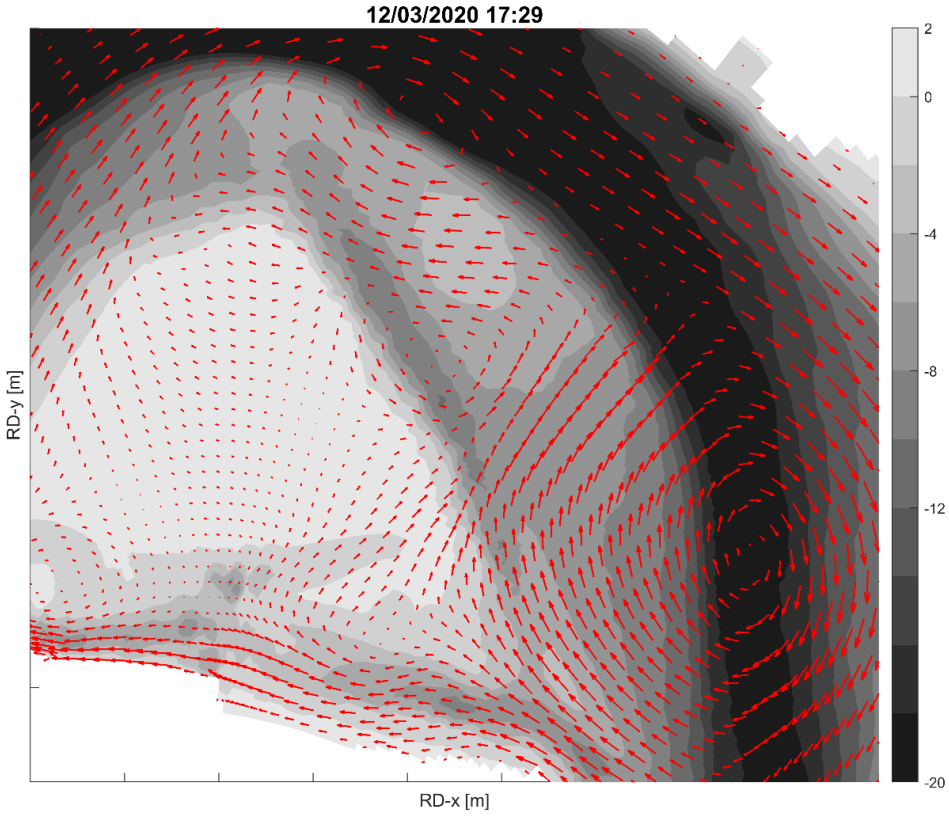
Figuur 61 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:26



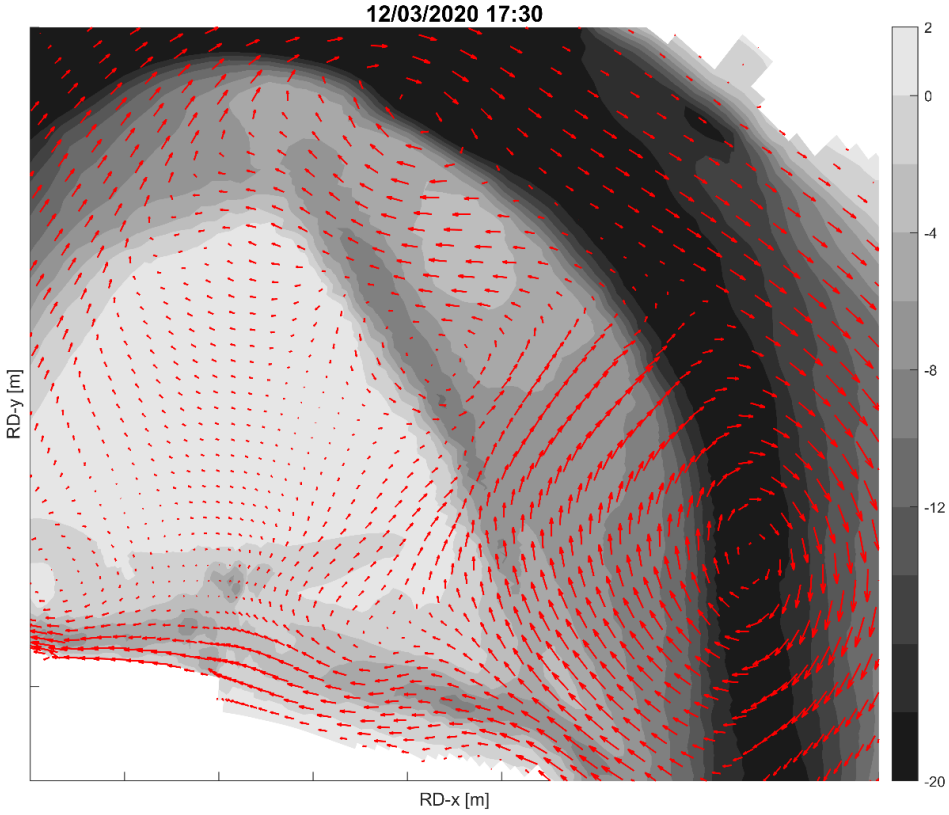
Figuur 62 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:27



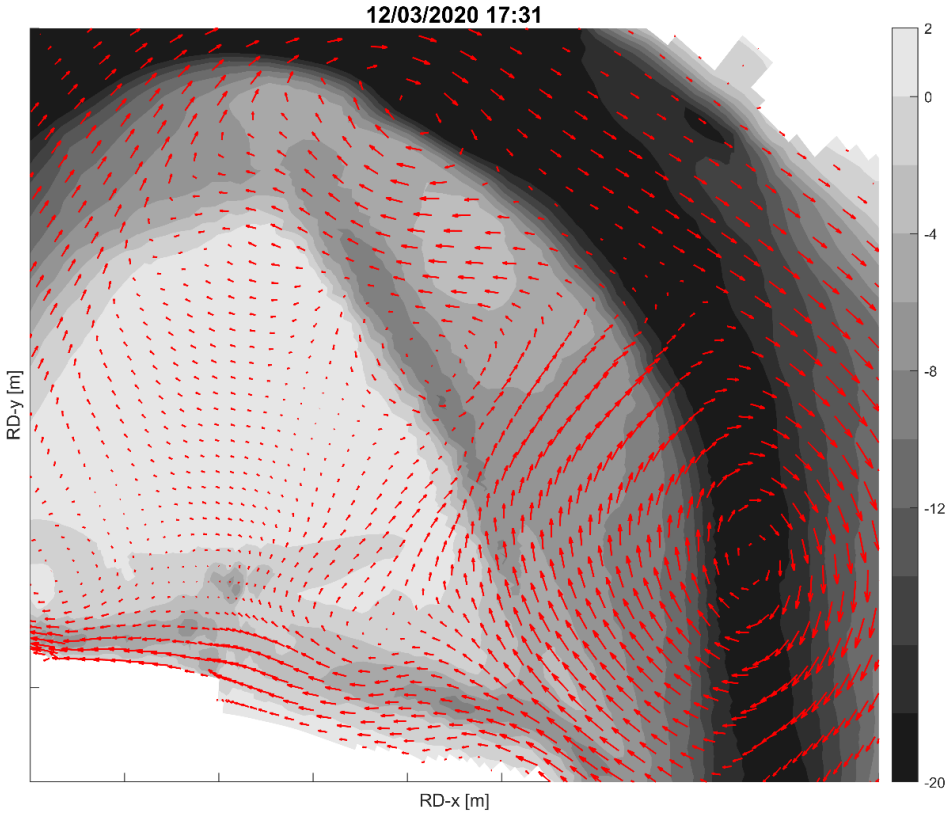
Figuur 63 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:28



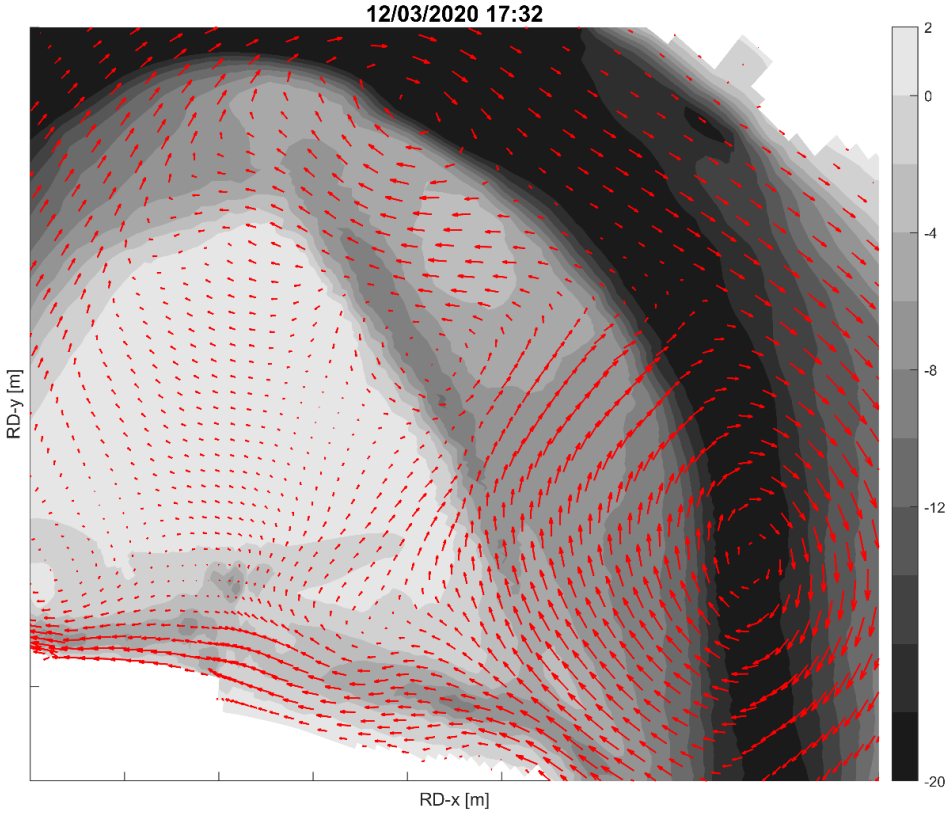
Figuur 64 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:29



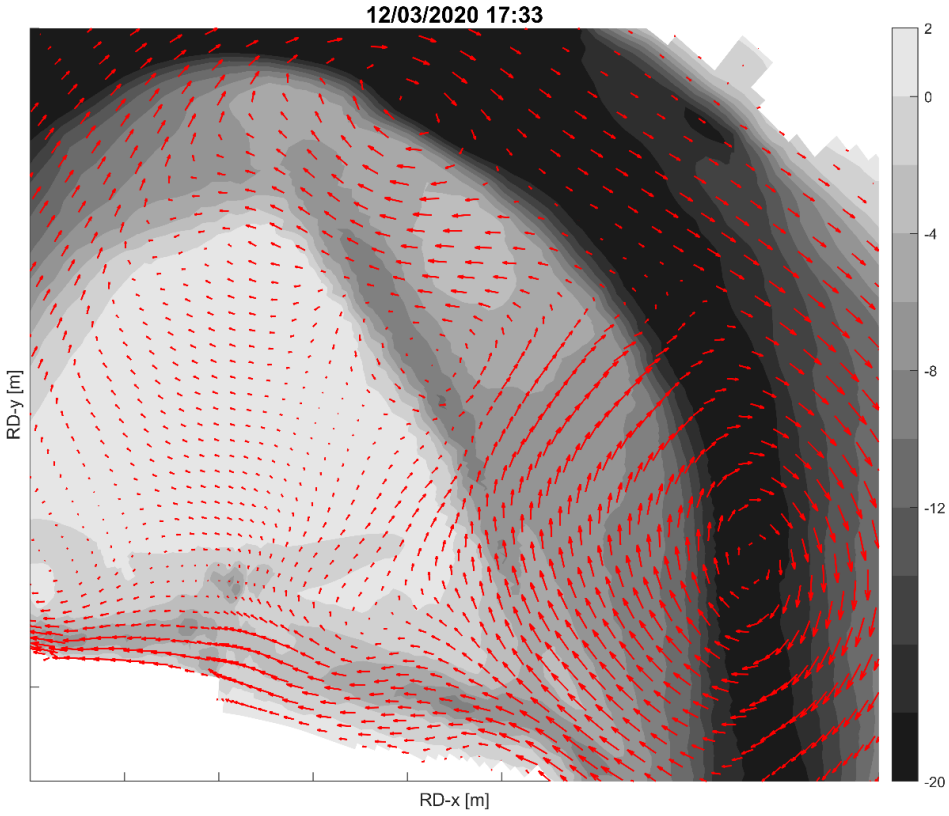
Figuur 65 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:30



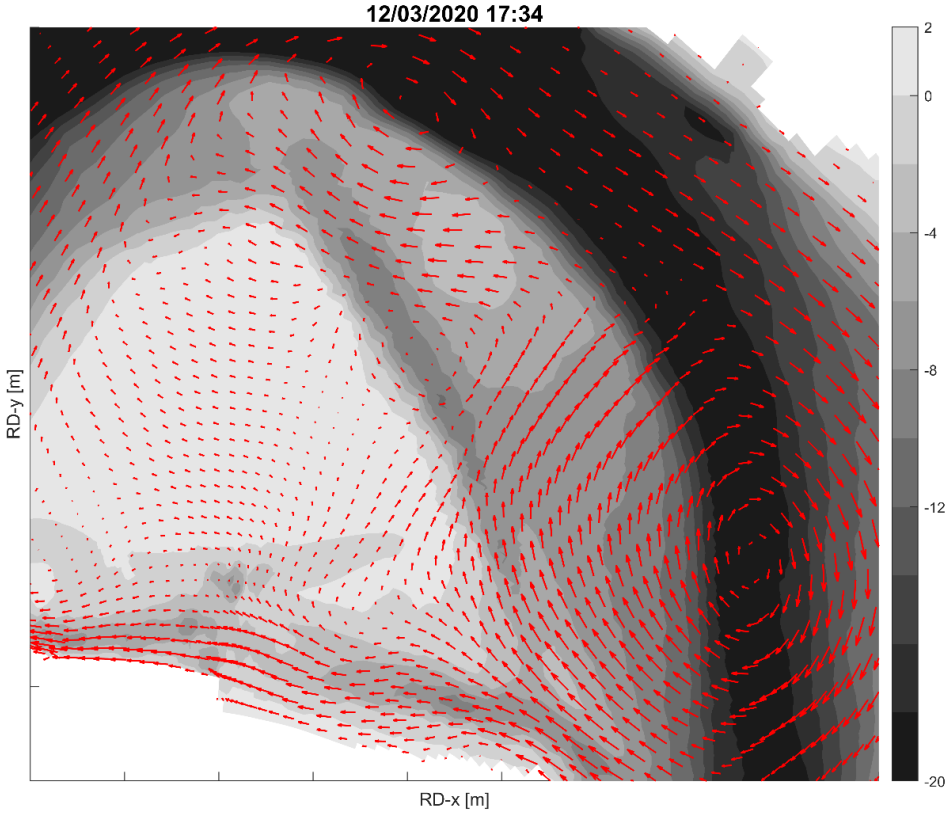
Figuur 66 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:31



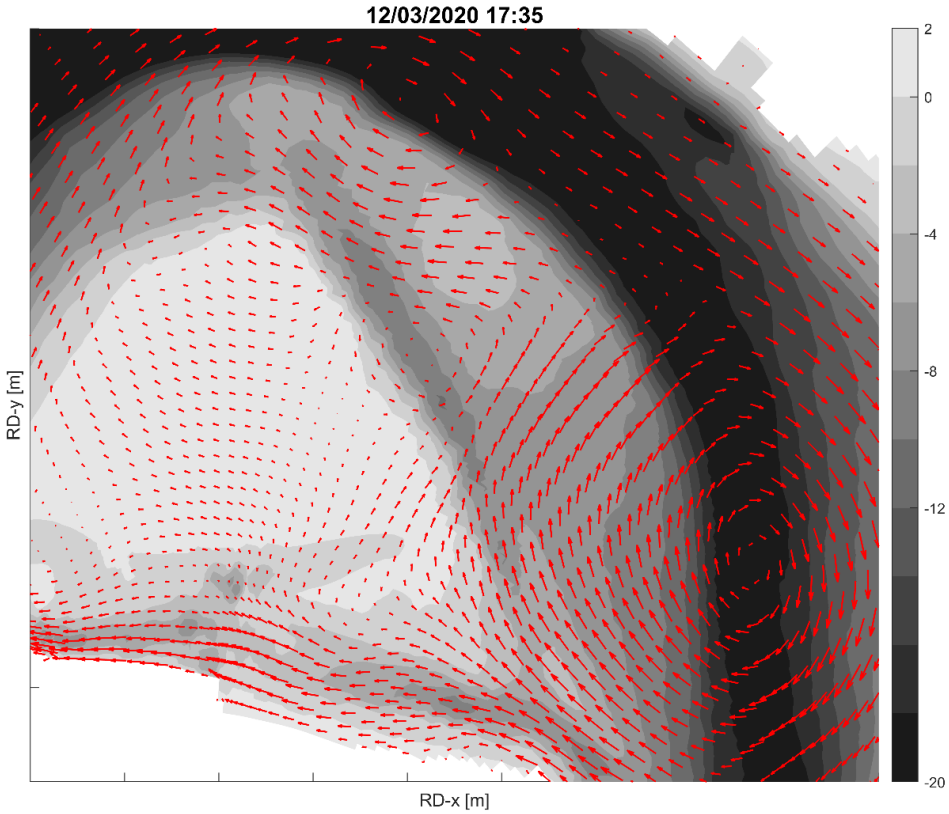
Figuur 67 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:32



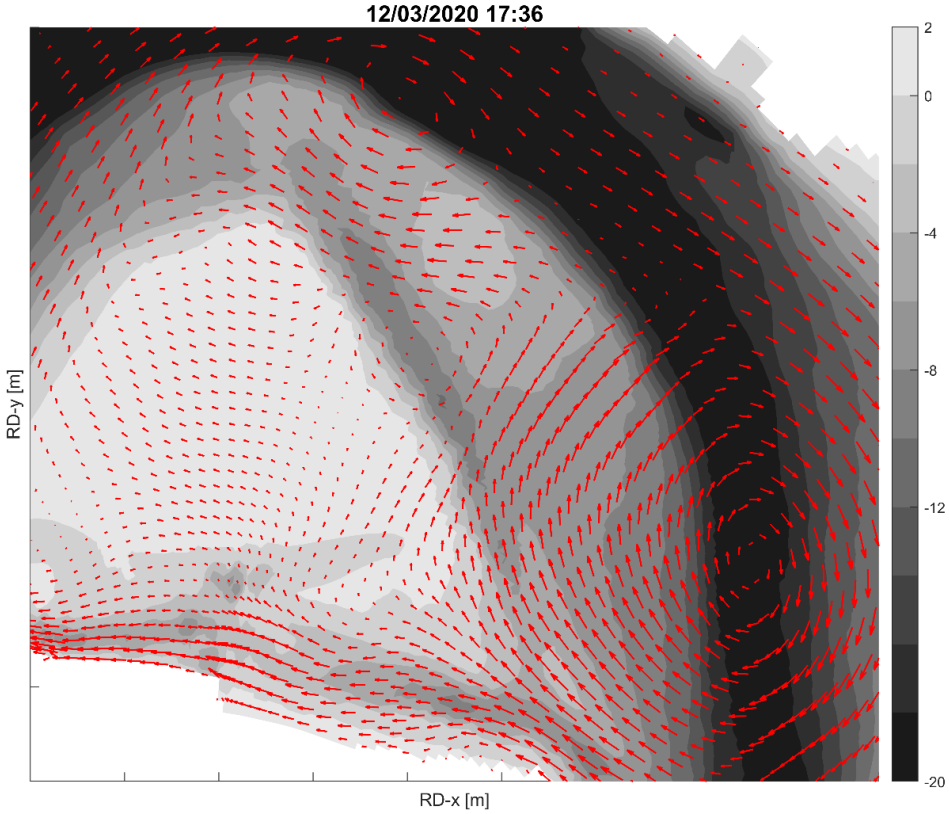
Figuur 68 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:33



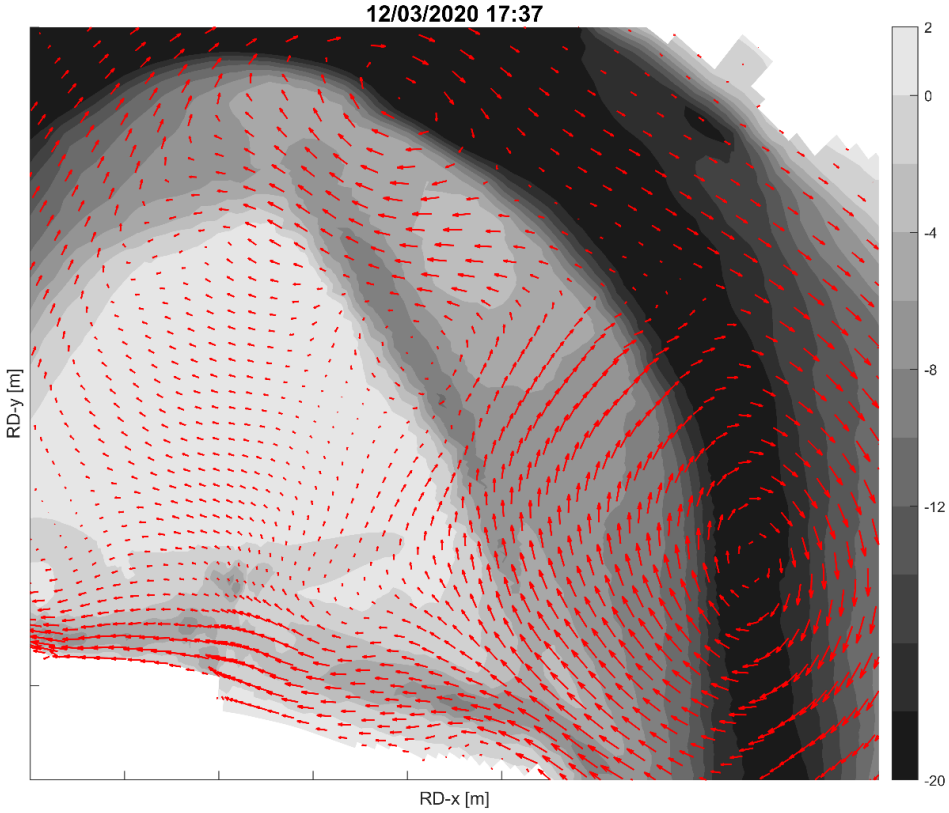
Figuur 69 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:34



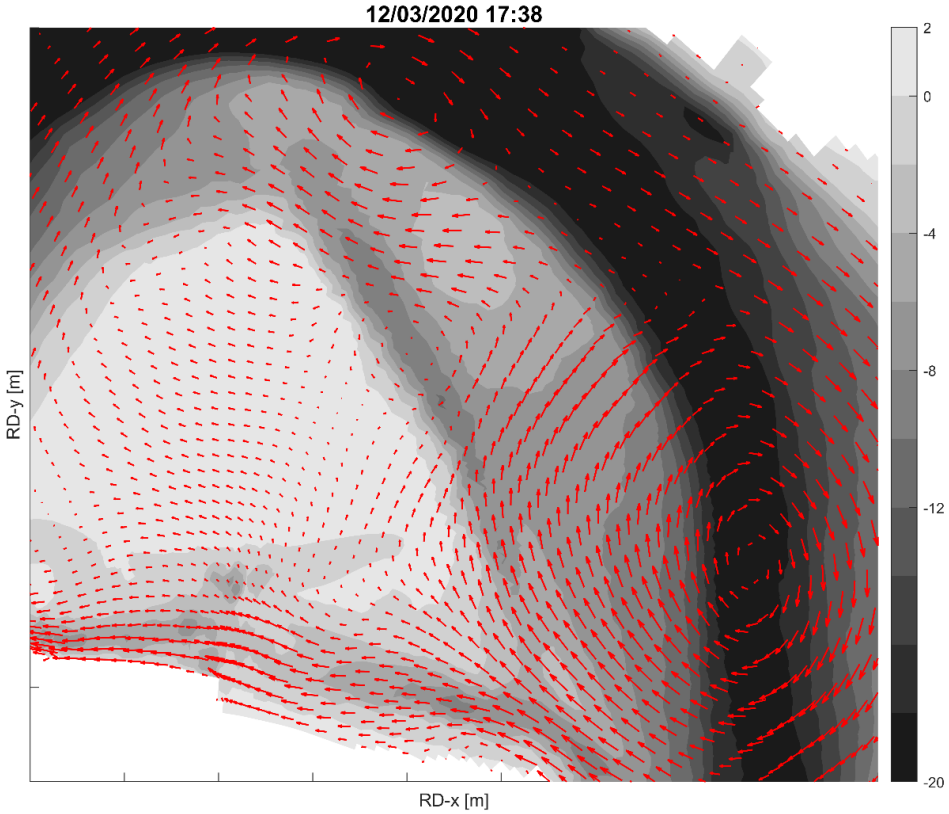
Figuur 70 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:35



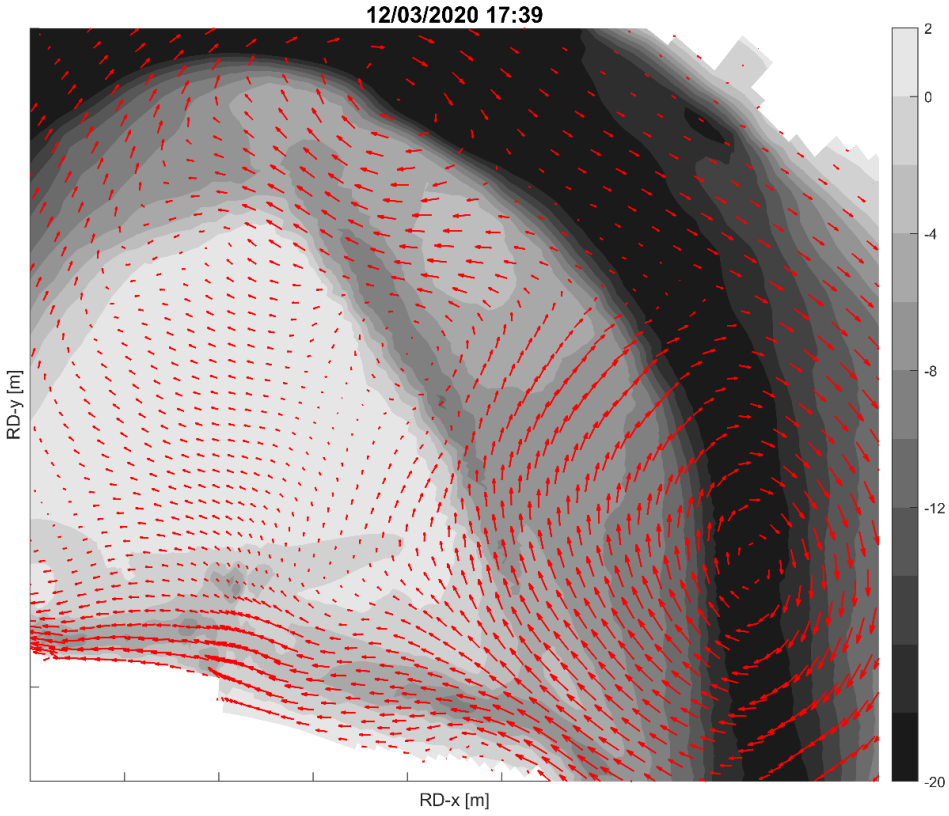
Figuur 71 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:36



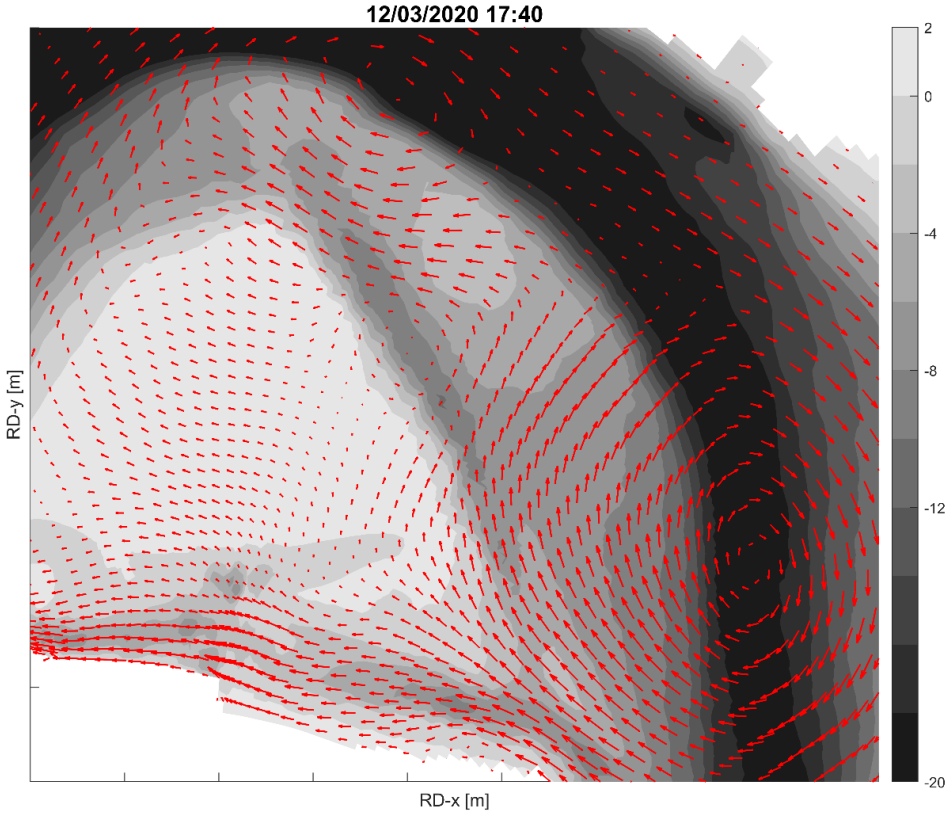
Figuur 72 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:37



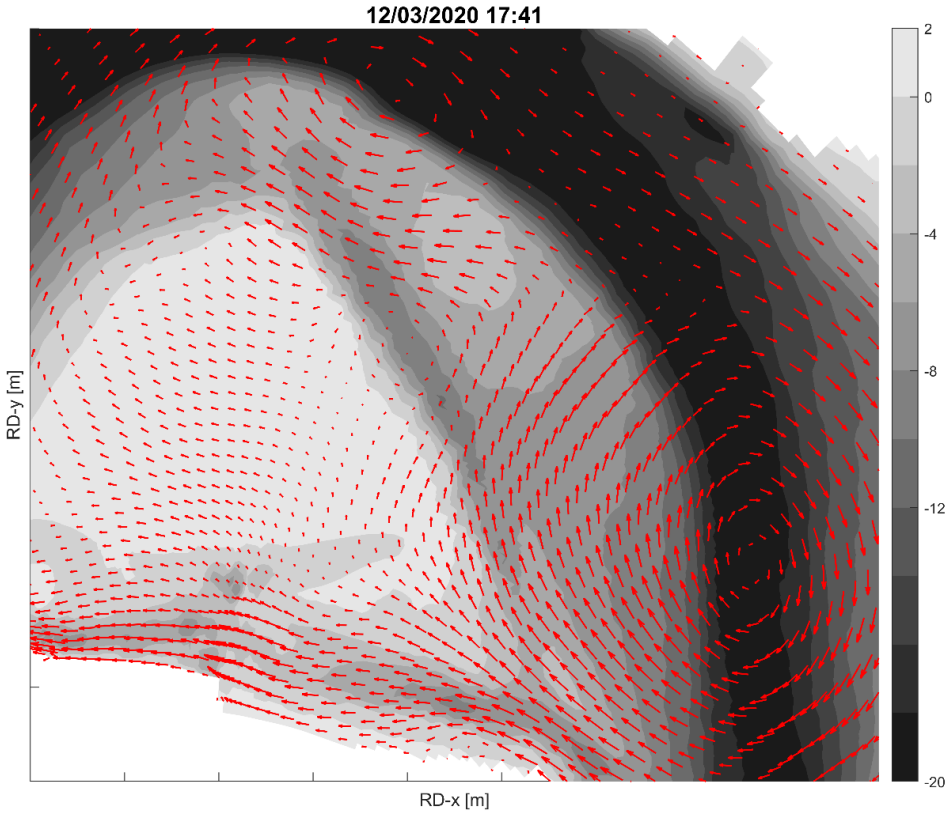
Figuur 73 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:38



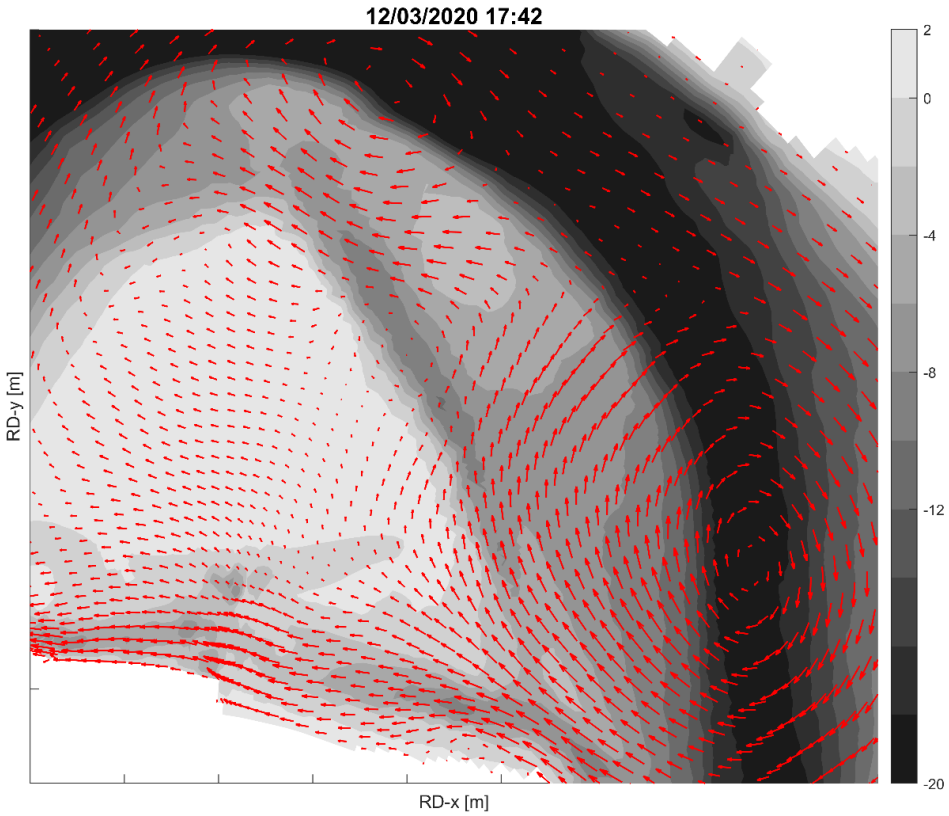
Figuur 74 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:39



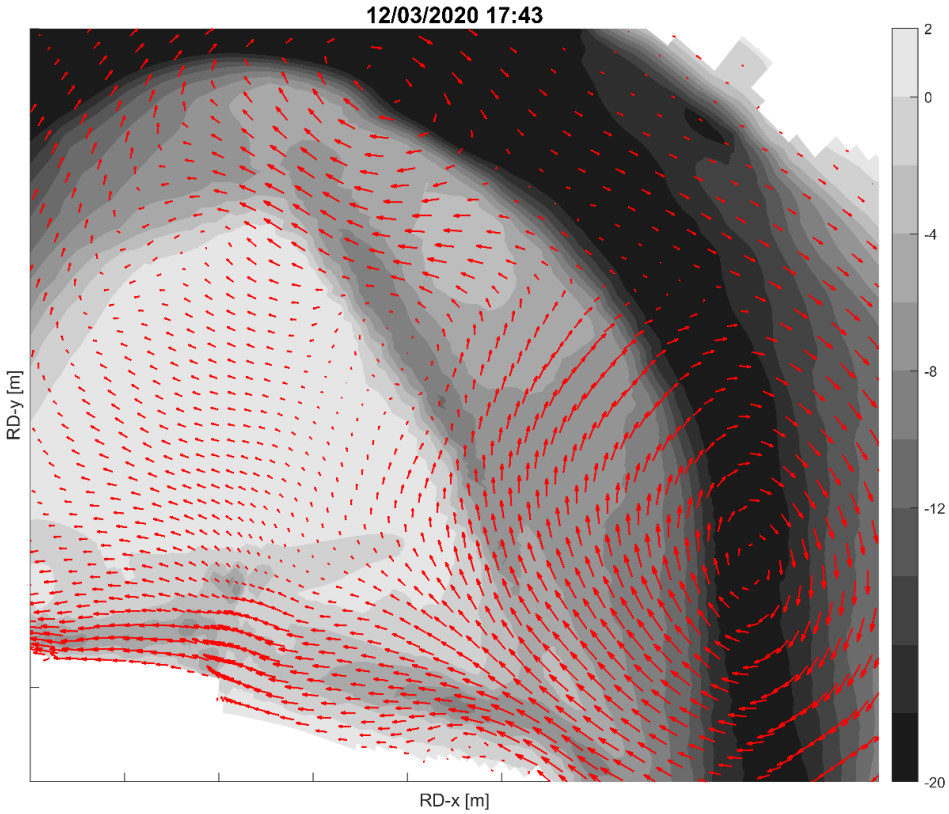
Figuur 75 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:40



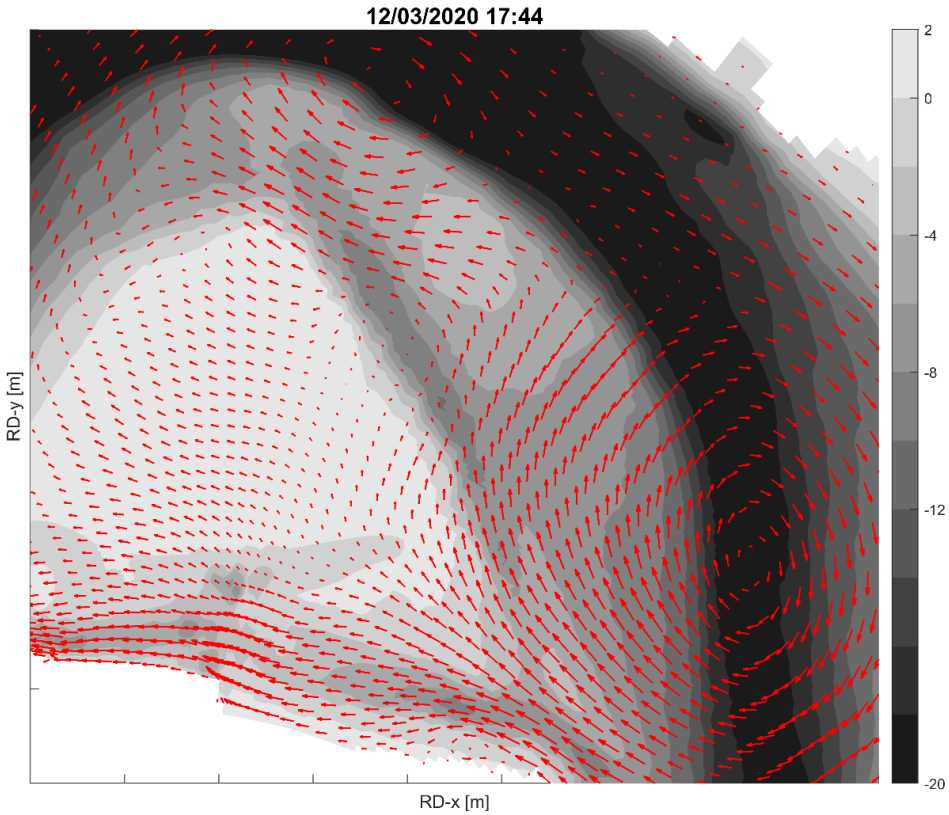
Figuur 76 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:41



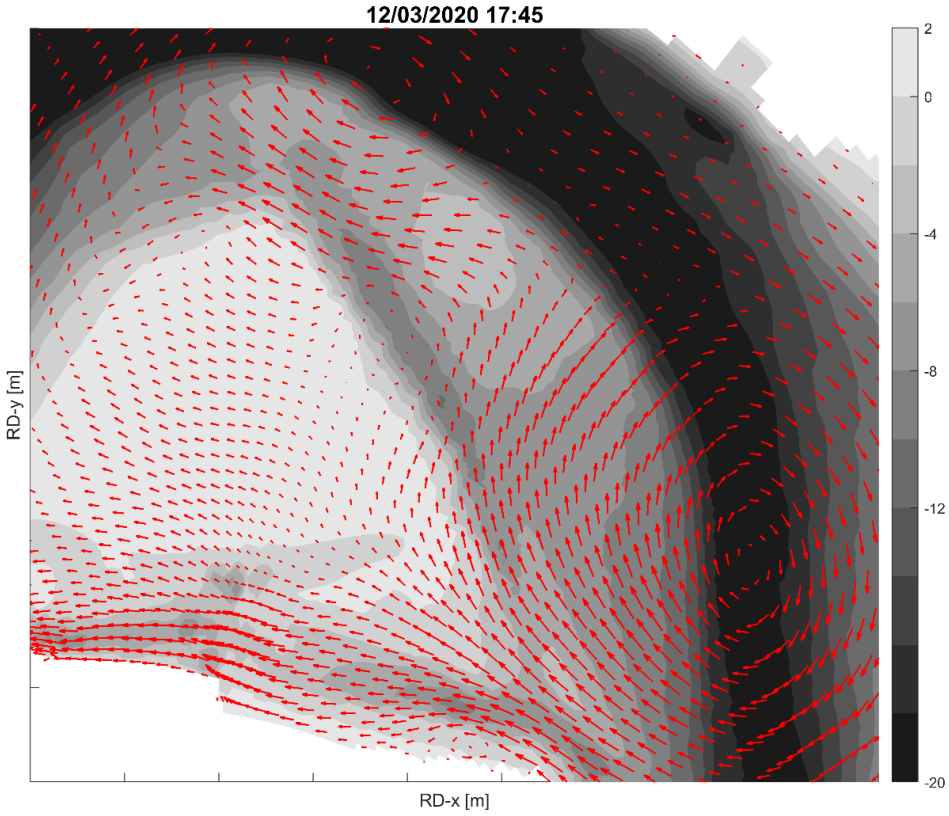
Figuur 77 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:42



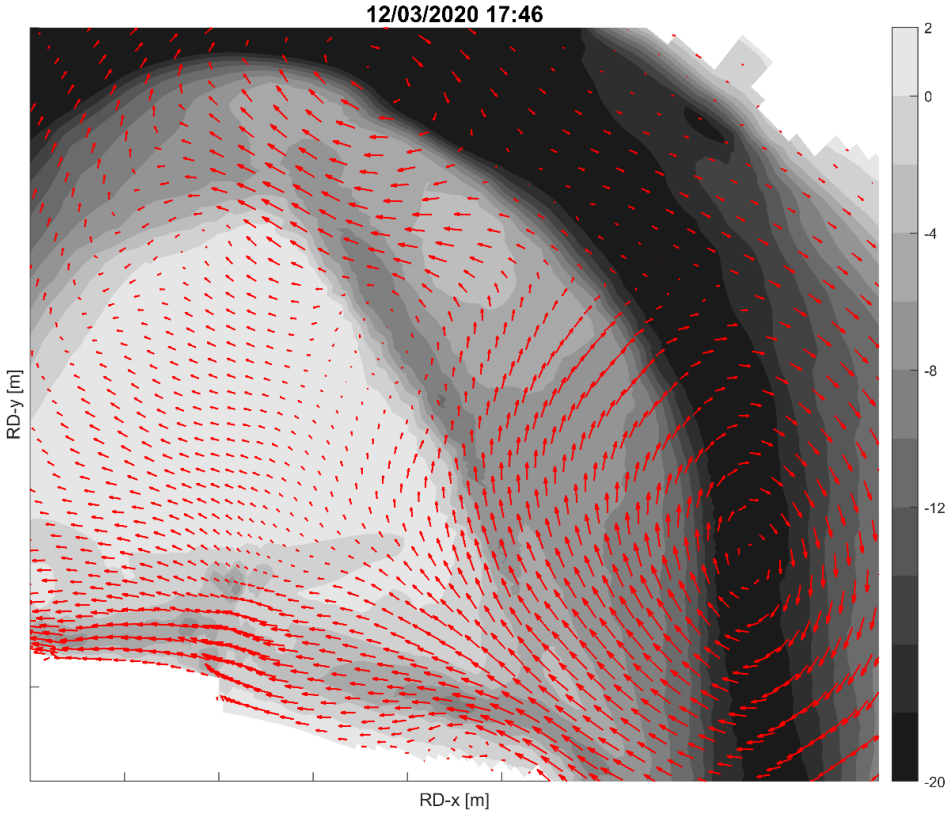
Figuur 78 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:43



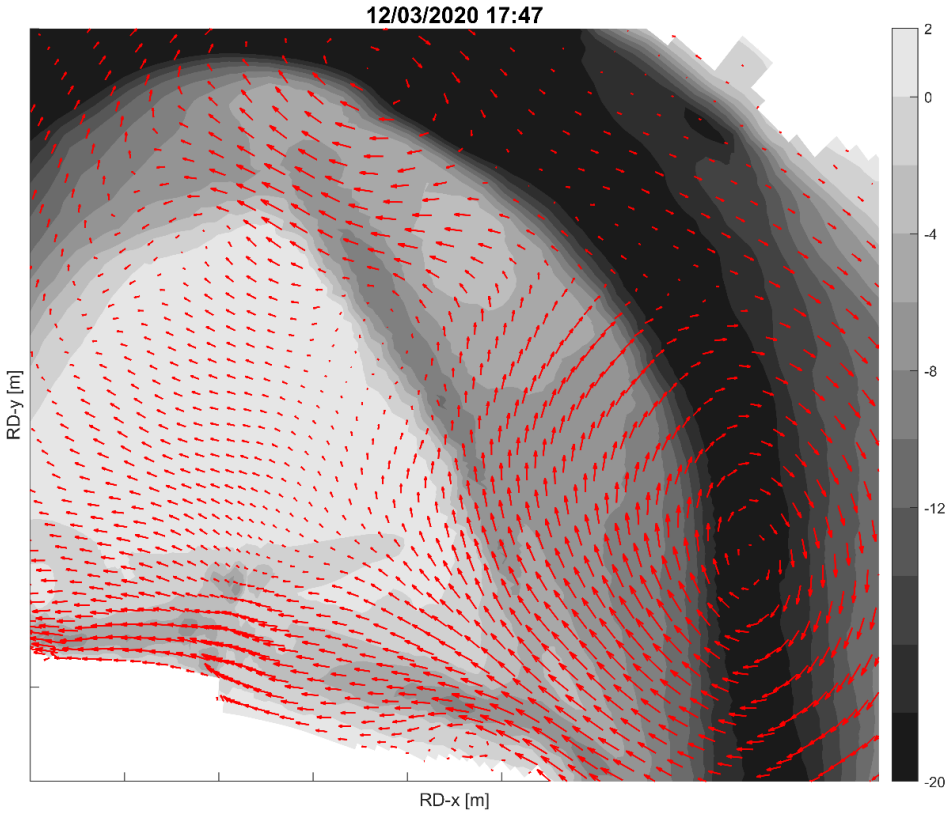
Figuur 79 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:44



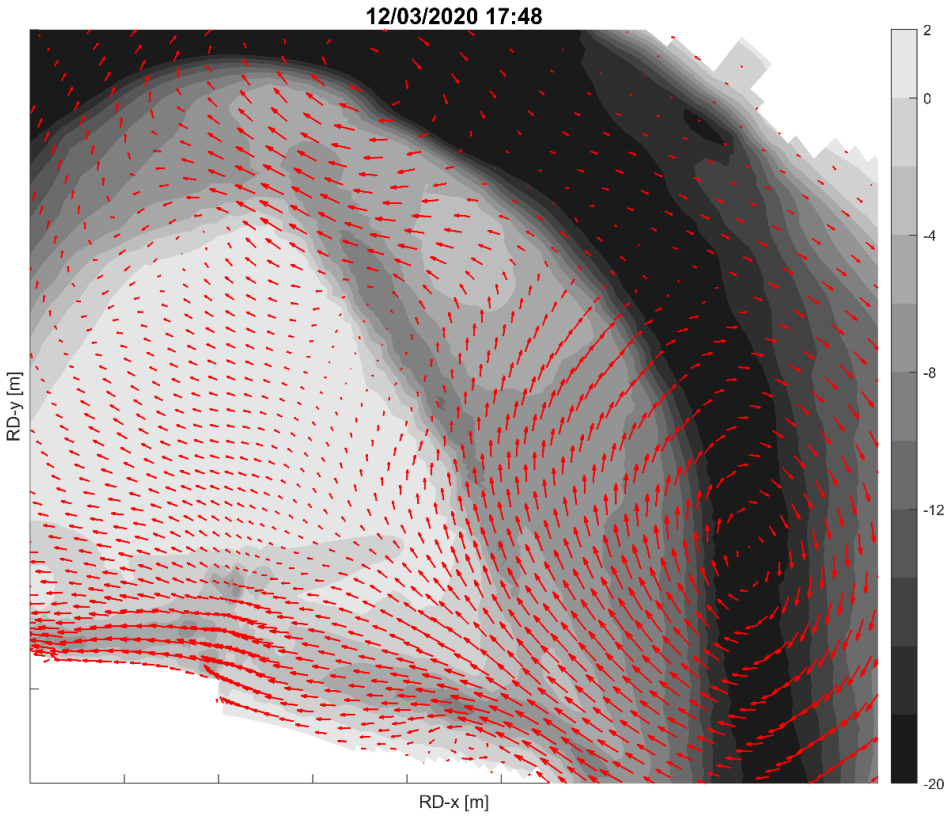
Figuur 80 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:45



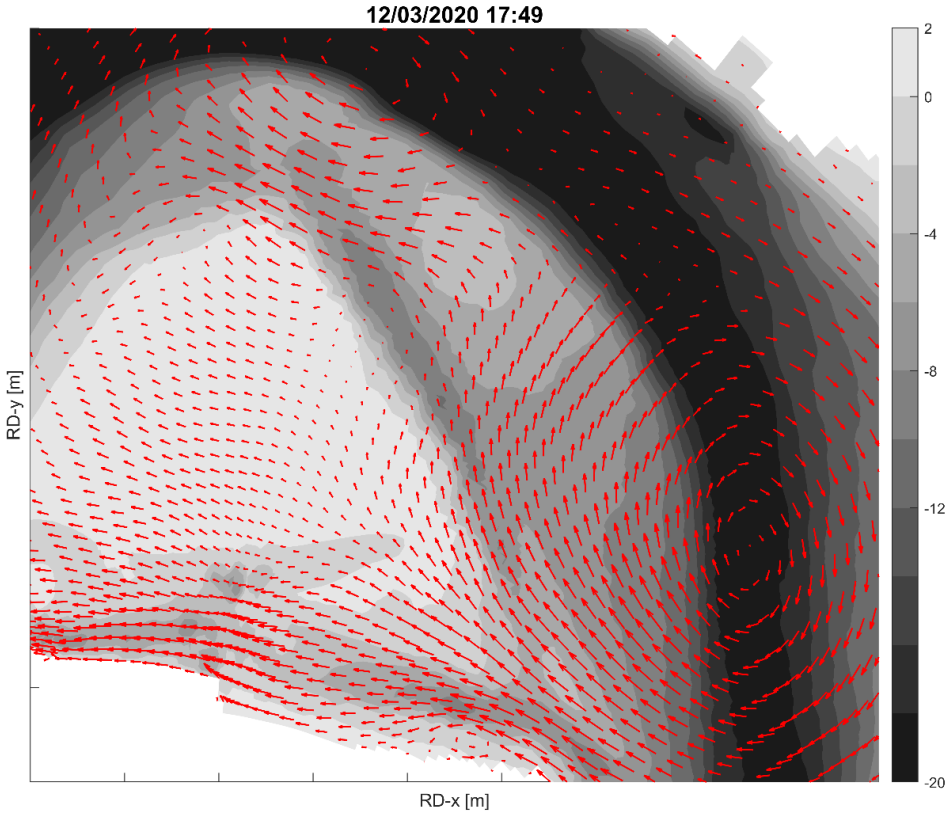
Figuur 81 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:46



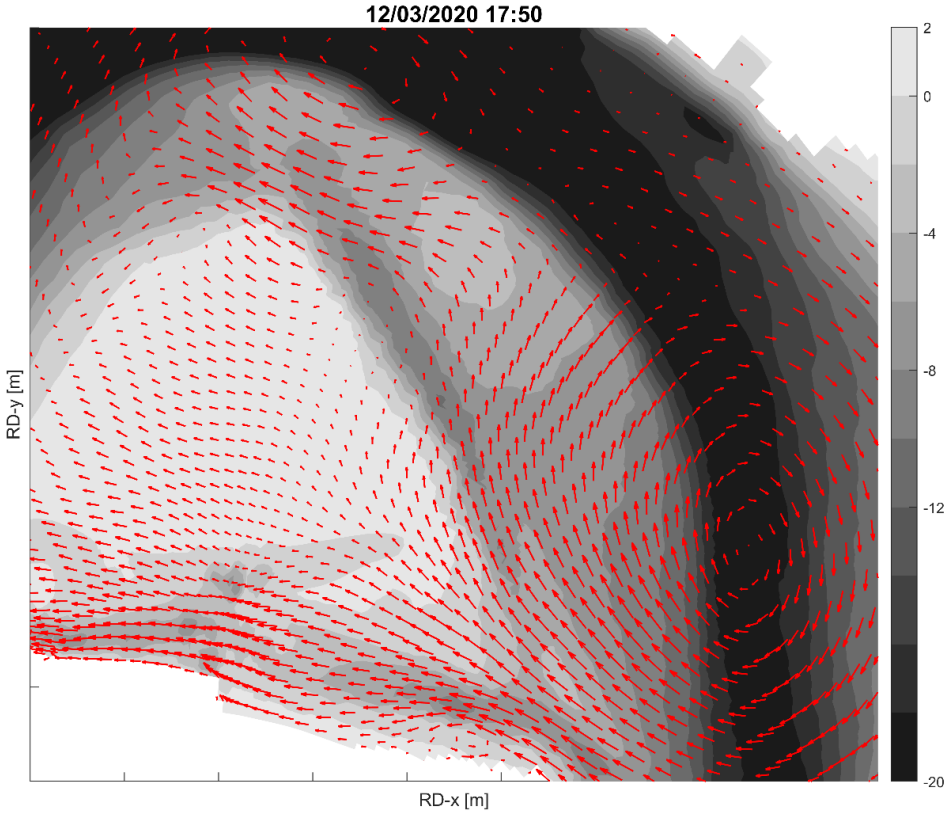
Figuur 82 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:47



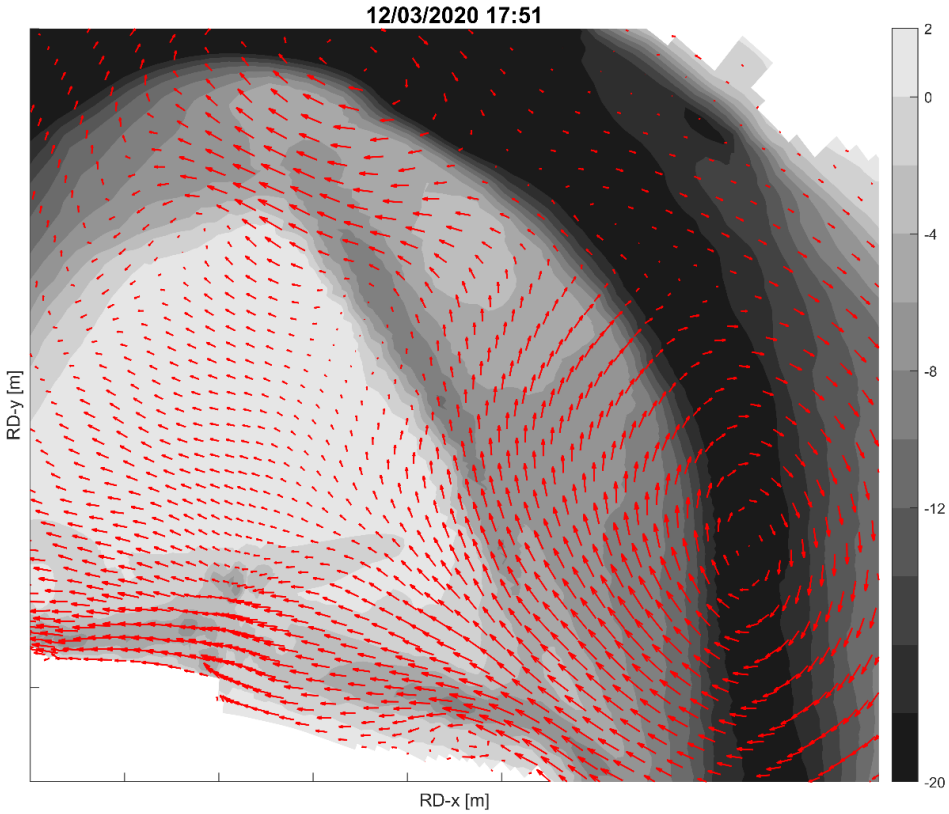
Figuur 83 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:48



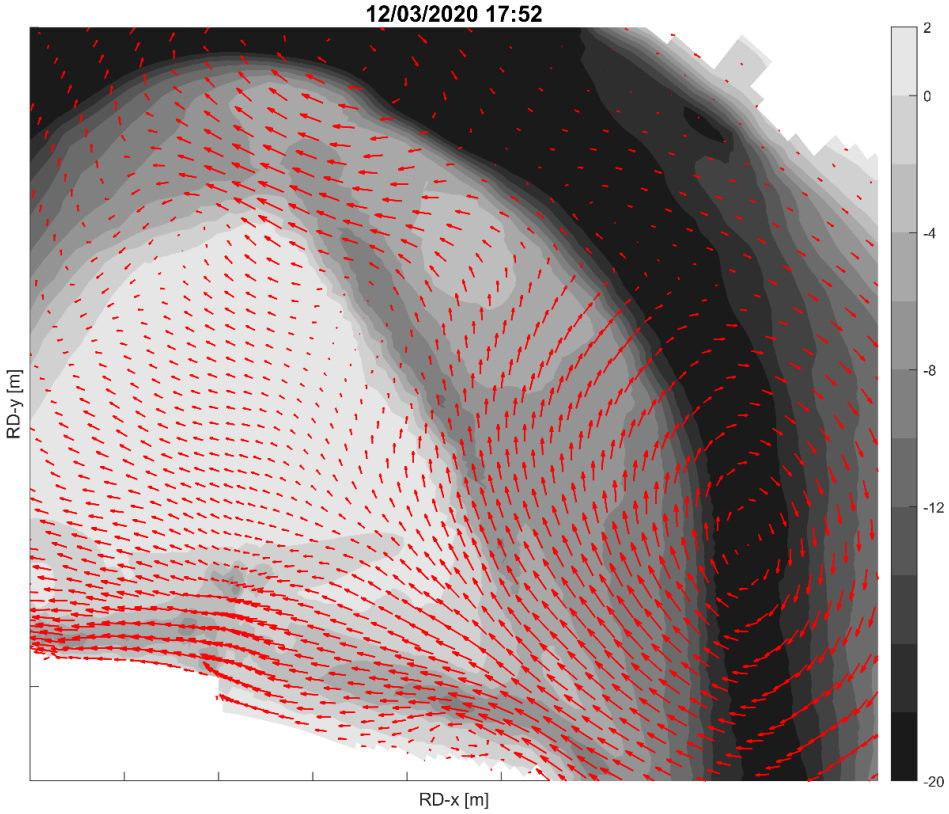
Figuur 84 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:49



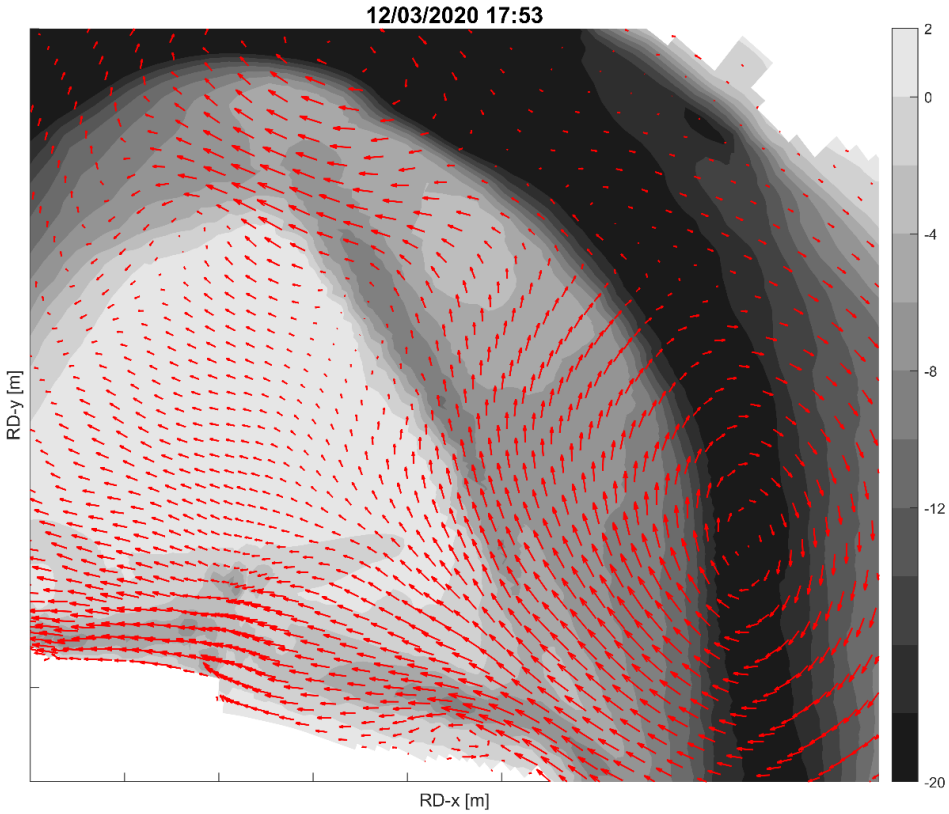
Figuur 85 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:50



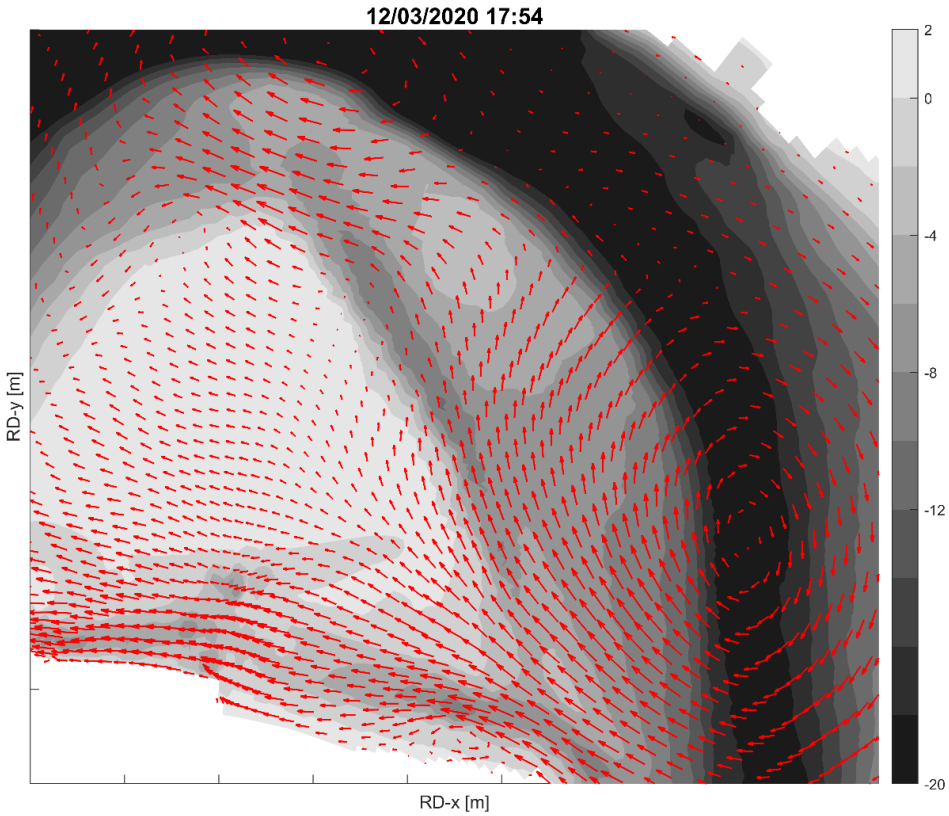
Figuur 86 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:51



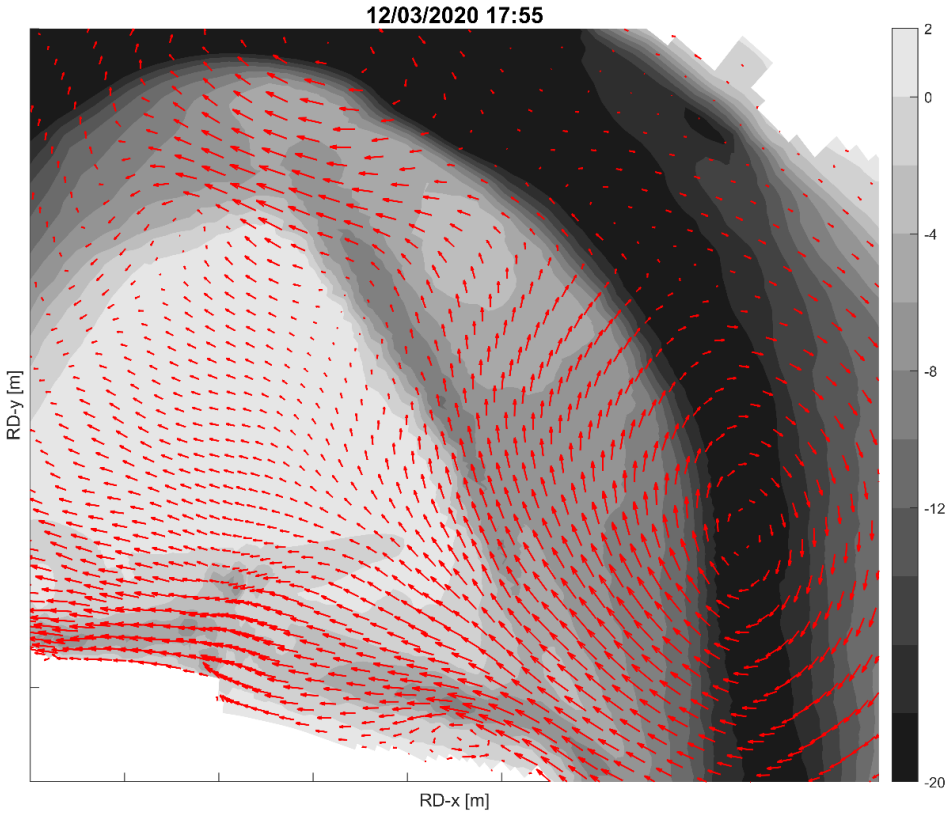
Figuur 87 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:52



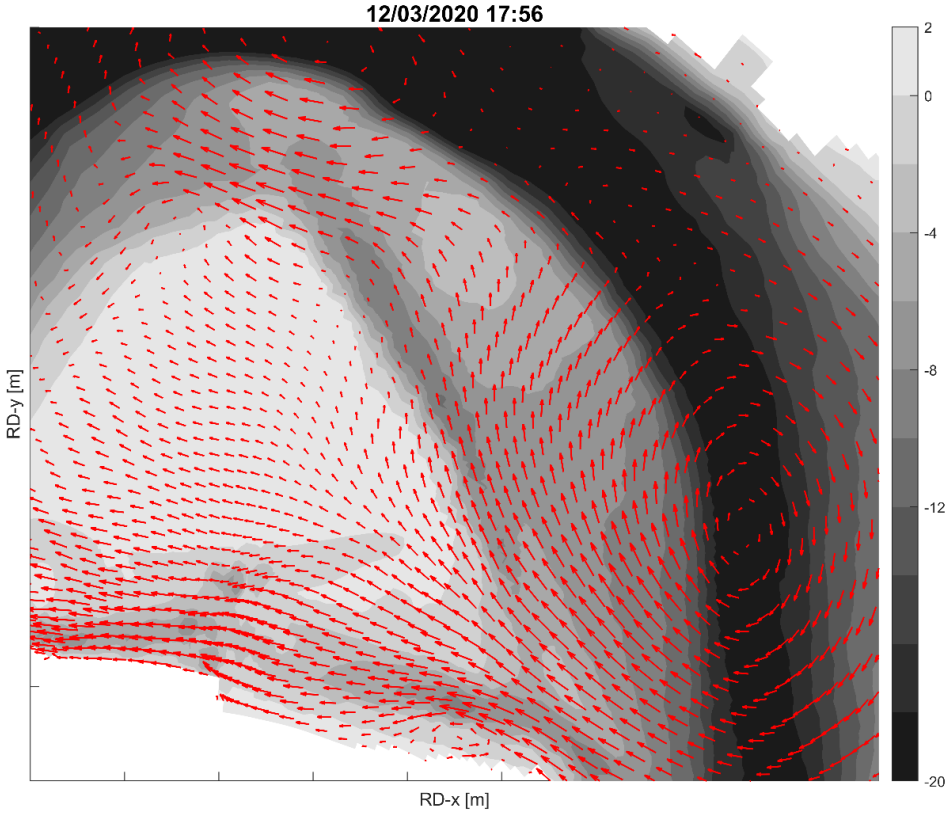
Figuur 88 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:53



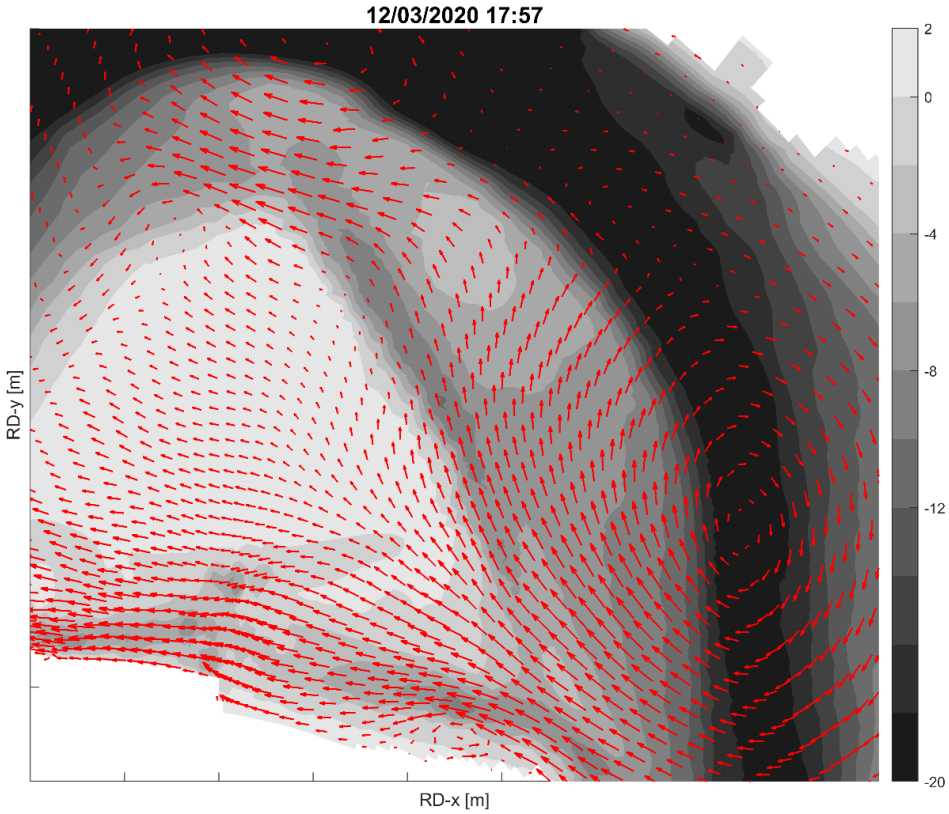
Figuur 89 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:54



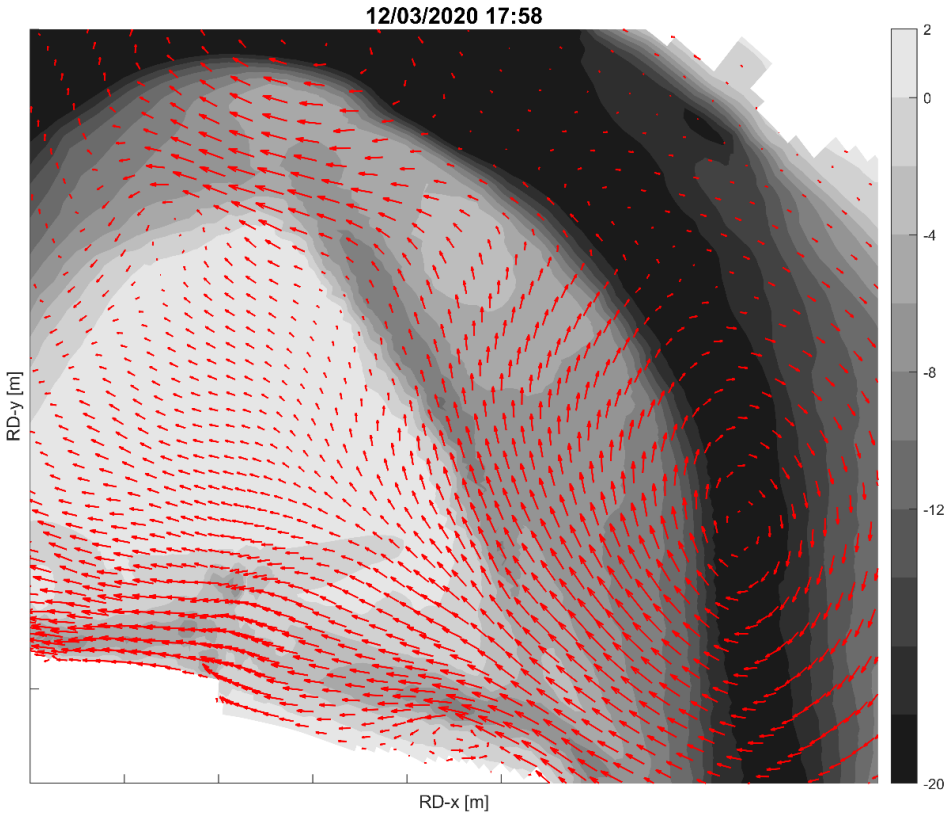
Figuur 90 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:55



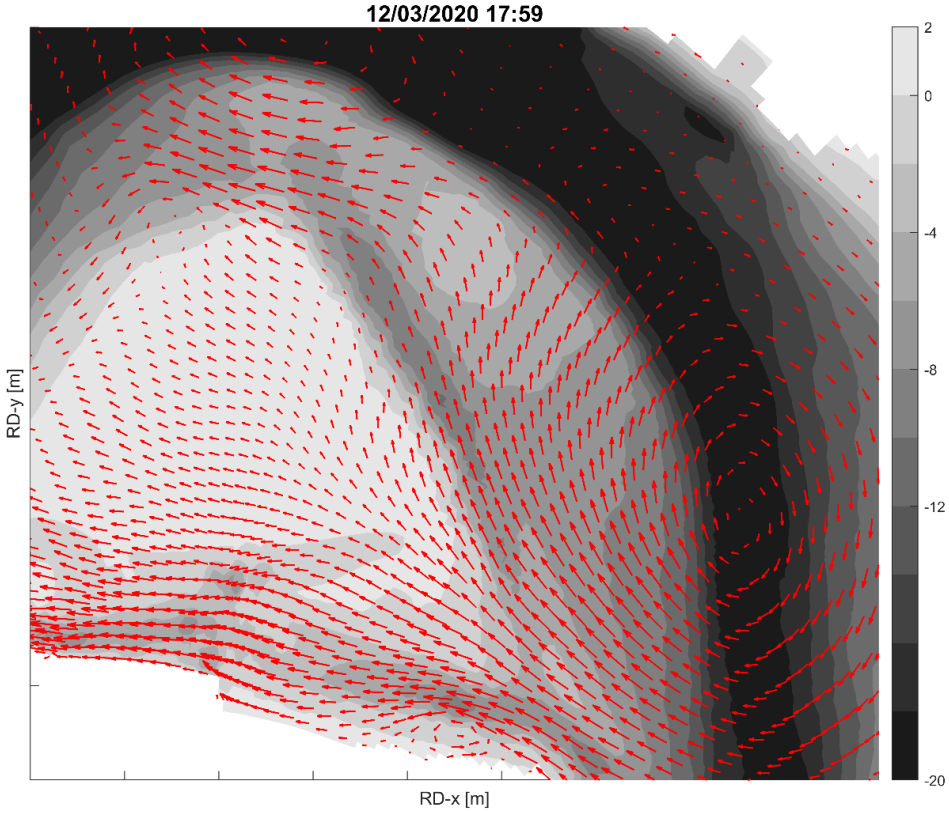
Figuur 91 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:56



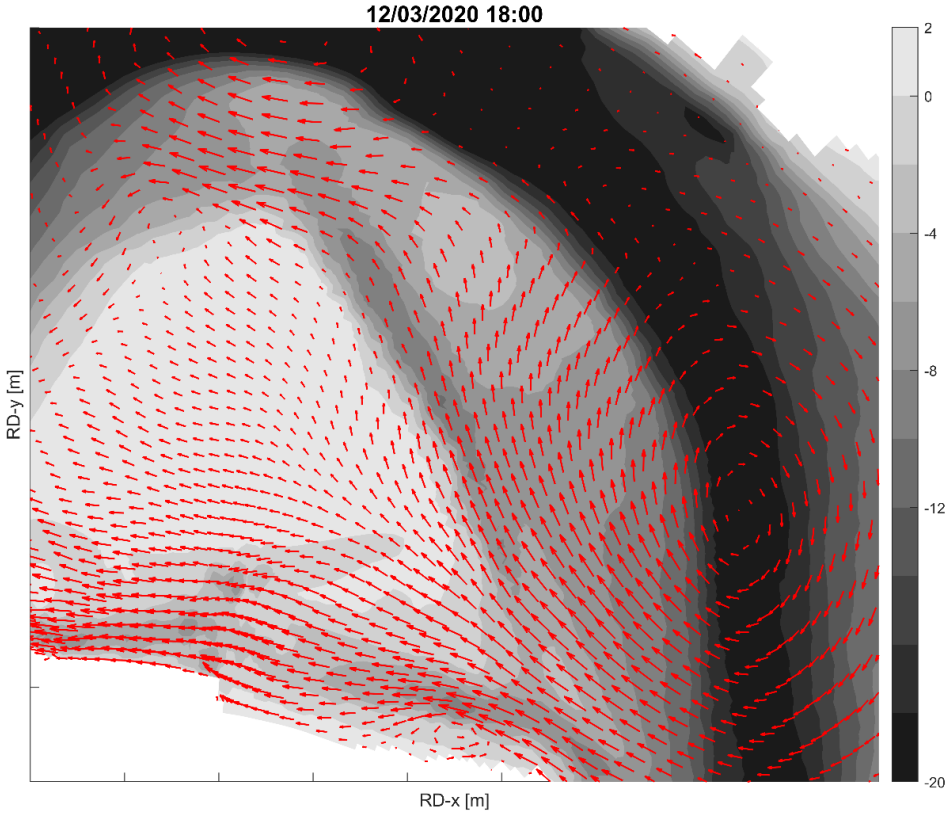
Figuur 92 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:57



Figuur 93 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:58



Figuur 94 – Gesimuleerd stromingsveld om 17:59



Figuur 95 – Gesimuleerd stromingsveld om 18:00

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