

D-HYDRO modelschematisatie IJVD

Modelopzet en eerste validatie



D-HYDRO modelschematisatie IJVD

Modelopzet en eerste validatie

Auteur(s)

Carlijn Eijsberg-Bak

Asako Fujisaki

Menno Genseberger

D-HYDRO modelschematisatie IJVD

Modelopzet en eerste validatie

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Martin Scholten
Referenties	-
Trefwoorden	IJsselmeer en IJssel Vecht Delta (IJVD), D-HYDRO, D-Flow FM, ondiep water

Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	21-11-2022
Projectnummer	11206813-009
Document ID	11206813-009-ZWS-0029
Pagina's	107
Status	definitief

Auteur(s)

	Carlijn Eijsberg-Bak	
	Asako Fujisaki	
	Menno Genseberger	

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de modelopzet en een eerste validatie van de D-HYDRO modelschematisatie IJVD (IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta & Overijsselse Vecht) voor Rijkswaterstaat (RWS).

Alle zesde-generatie modelschematisaties voor de Nederlandse Rijkswateren zijn gebaseerd op het nieuwe simulatiesoftwarepakket D-HYDRO (ook wel Delft3D FM genoemd). Kern van D-HYDRO is de D-Flow Flexible Mesh module (D-Flow FM) waarmee eendimensionale (1D, netwerk), tweedimensionale (2DH, dieptegemiddeld) en driedimensionale (3D) hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde roosters. Tijdens de ontwikkeling van de zesde-generatie D-HYDRO modelschematisaties wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met de verschillende voor Rijkswaterstaat relevante toepassingen en primaire processen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de door RWS opgestelde Programma van Eisen (PvE), de landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties voor de zesde-generatie watermodellen 2D en 3D en is gebruik gemaakt van Baseline-NL. De werkzaamheden voor de ontwikkeling van alle zesde-generatie modelschematisaties van heel Nederland vinden plaats in de periode 2017-2022.

De hier gerapporteerde D-HYDRO modelschematisatie IJVD betreft de modelopzet en een eerste validatie specifiek ten behoeve van oplevering aan RWSOS Meren. Hieruit kan het volgende samengevat worden:

- De resultaten voor twee historische stormperiodes zijn acceptabel. Wel bleek het lastig om te zorgen voor een correcte waterbalans. Met de storm in januari 2018 was er een sluiting van de Ramspolkering en blijkt dat de waterstanden bovenstrooms de kering dan erg gevoelig zijn.
- De resultaten voor extremere situaties specifiek voor verificatie van de werking van Reevediep laten zien dat het model robuust is en dat de rivierverruimende maatregelen in het model functioneren.

Voor operationeel gebruik binnen RWSOS Meren wordt sterk aanbevolen de rekentijden na te gaan voor dit model in operationele setting en op de specifieke hardware.

Voor toepassingen met waterstanden in 2DH (o.a. BOI - Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium) wordt een meer uitgebreide validatie aanbevolen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding en doel	7
1.2	Aanpak op hoofdlijnen	7
1.3	Gebruikte programmatuur en hardware	7
1.4	Organisatie en bijdragen	7
2	Systeembeschrijving	8
2.1	Gebiedsomschrijving	8
2.1.1	Aansluiting op aangrenzende gebieden	8
2.2	Relevante processen en doelvariabelen	12
3	Modelopzet	13
3.1	Verloop van modelontwikkeling	13
3.2	Model voor validatie met historische stormperiodes	13
3.2.1	Baseline projectie	13
3.2.2	Spuikokers Afsluitdijk	14
3.2.3	Neerslag en verdamping	14
3.2.4	Sturing kunstwerken	14
3.2.5	Sturing Ramspolkering	14
3.3	Model voor verificatie Reevediep	15
3.3.1	Baseline projectie	15
3.3.2	Sturing Ramspolkering	18
3.3.3	Baseline projectie zonder Reevediep	18
4	Modelvalidatie met historische stormperiodes	20
4.1	Simulatieperiode en wind	20
4.2	Randvoorwaarden	20
4.3	Initiële condities	21
4.4	Resultaat en conclusie	22
4.4.1	Algemeen	22
4.4.2	Afvoer IJssel	23
4.4.3	Werking Ramspolkering (januari storm)	24
4.4.4	Plaggemars	26
5	Modelverificatie werking Reevediep	27
5.1	Randvoorwaarden	27
5.2	Initiële condities	29
5.3	Resultaten	30
5.3.1	Begintoestand	30
5.3.2	Testsimulaties bo1, bo2 en bo3	34

5.3.3	Testsimulatie bo4 model robuustheid	42
5.3.4	Vergelijking met de referentie (effect Reevediep)	49
5.4	Conclusies	51
6	Samenvattende conclusies en aanbevelingen	52
6.1	Samenvattende conclusies	52
6.2	Aanbevelingen	52
6.2.1	Algemeen	52
6.2.2	Specifiek	53
6.2.2.1	Geometrische gegevens	53
6.2.2.2	Rekenrooster	53
6.2.2.3	Rekentijden	53
7	Referenties/Literatuur	54
A	Selectie figuren validatie januari 2018, detail	55
B	Selectie figuren validatie januari 2018, volledige periode	57
C	Selectie figuren validatie maart 2018	60
D	Tabellen validatie januari 2018	62
E	Tabellen validatie maart 2018	63
F	Rekentijden	64
G	Sturing Ramspolkering uit 2018	65
H	MDU bestand	66
I	Figuren alle observatiestations validatie januari 2018	70
J	Figuren alle observatiestations validatie maart 2018	89

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Verschillende onderdelen van de zesde-generatie (G6) D-HYDRO modelschematisatie van de IJssel Vecht Delta (IJVD) zijn tussen 2018 en 2021 ontwikkeld:

- Het zesde-generatie D-HYDRO model van het IJsselmeer [1].
- Het overlapgebied met het zesde-generatie D-HYDRO model van de Rijntakken [2].
- Het zesde-generatie D-HYDRO model van de Overijsselse Vecht Delta (OVD) [3].

Het algemene doel is om hiermee te komen tot een D-HYDRO IJVD modelschematisatie die dient als basis voor generieke modeltoepassingen (zie verdere beschrijving in sectie 2.2). Voor operationeel gebruik binnen RWsOS Meren is op korte termijn behoefte aan dit model inclusief Reevediep. Daarom was er specifiek focus om met de al ontwikkelde onderdelen een modelversie op te leveren die RWsOS Meren in 2022 kan operationaliseren. Het voorliggende rapport beschrijft de opzet van deze modelversie en een eerste validatie op waterstanden in dieptegemiddelde mode (2DH).

1.2 Aanpak op hoofdlijnen

Om tot een D-HYDRO modelschematisatie van IJVD inclusief Reevediep te komen zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Het bij elkaar brengen van de verschillende rekenroosters van de deelmodellen tot één rekenrooster voor het IJVD gebied en het projecteren op het rekenrooster van gebiedsgegevens vanuit Baseline inclusief uitbreiding met Reevediep en maken van overall model (exclusief kunstwerken) (hoofdstuk 3).
- Overnemen kunstwerken uit deelmodellen en kunstwerken Afsluitdijk en Ramspol, het verzamelen van data en het uitvoeren van modelvalidaties specifiek voor waterstanden t.b.v. hoogwaterveiligheid voor historische situaties in januari 2018 en maart 2018 (hoofdstuk 4).
- Het uitvoeren van modelverificatie specifiek voor waterstanden t.b.v. hoogwaterveiligheid voor de werking van Reevediep (hoofdstuk 5).

1.3 Gebruikte programmatuur en hardware

De Baseline-schematisatie is opgebouwd met Baseline versie 6.2.1.2353. Er is gebruik gemaakt van ArcGIS 10.6.1.

Voor het draaien van het model is gebruik gemaakt van D-Flow FM uit de D-HYDRO / Delft3D FM versie 2021.03 (validatie met historische stormen) en 2022.02 (verificatie van werking Reevediep) aangestuurd met DIMR op het Deltares H6 linux-cluster (Linux CentOS-7, **e3-c7 nodes** met elk 4 cores in 1 Intel Xeon E3-1276 v3 processor, 32 GB geheugen per node, 3.60 GHz per core en **e5-c7 nodes** met elk 4 cores in 1 Intel Xeon E5-2667 v3 processor, 32 GB geheugen per node, 3.20 GHz per core).

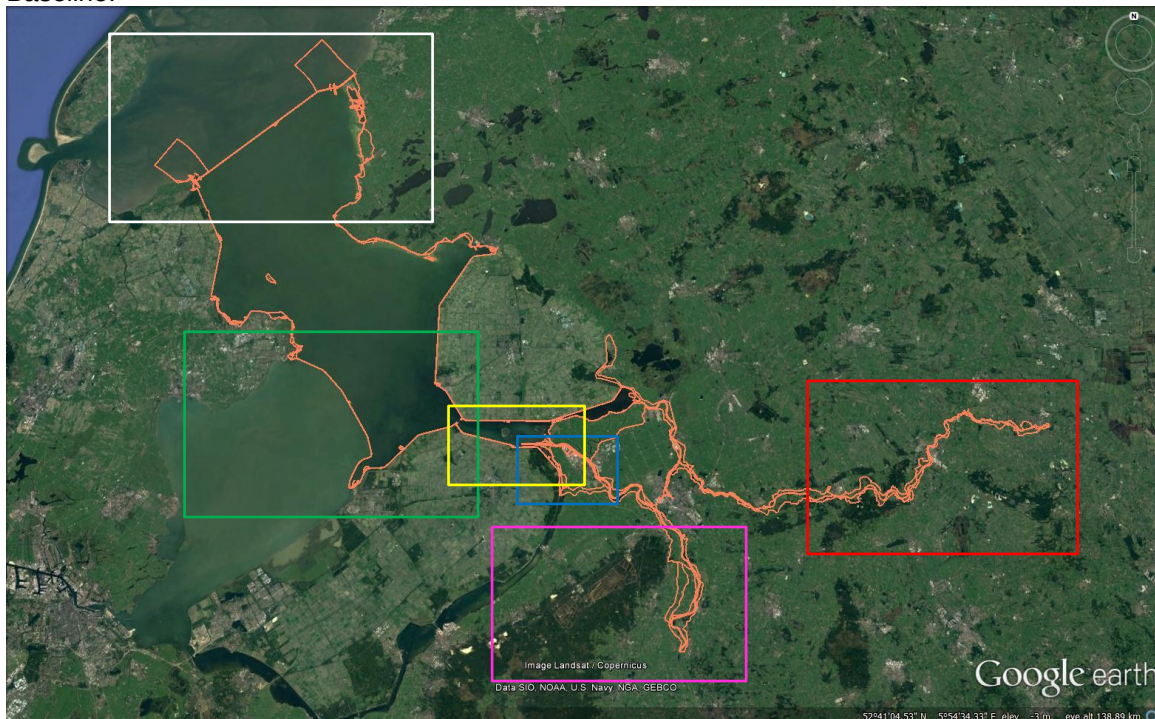
1.4 Organisatie en bijdragen

Het hier gerapporteerde werk is uitgevoerd door Carlijn Eijsberg-Bak, Asako Fujisaki en Menno Genseberger.

2 Systeembeschrijving

2.1 Gebiedsomschrijving

De zesde-generatie D-HYDRO IJVD modelschematisatie is voor het gebied omspannen door IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta en een gedeelte van de Overijsselse Vecht. Figuur 2-1 laat dit gebied in Google Earth zien. Hierbij zijn de oranje lijnen de winterdijk en de oeverlijn in Baseline.



Figuur 2-1 Gebied omspannen door IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta & Overijsselse Vecht in Google Earth. De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline. Omkaderd in wit, groen, geel, blauw, roze en rood de uitsneden zoals weergegeven in Figuur 2-2 t/m Figuur 2-7.

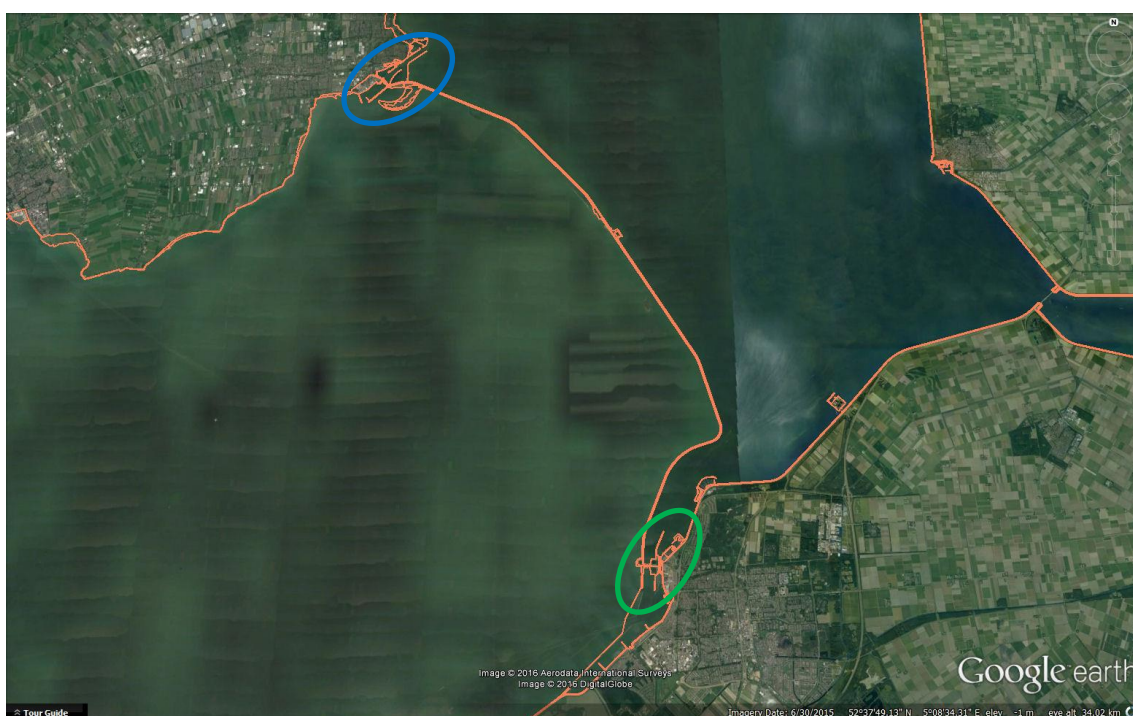
2.1.1 Aansluiting op aangrenzende gebieden

Het IJVD gebied grenst aan of heeft overlap met de volgende gebieden:

- 1 De Waddenzee bij de Afsluitdijk met verbindingen via de Stevinssluisen bij Den Oever en de Lorentzsluisen bij Kornwerderzand, zie Figuur 2-2. De Stevinssluisen bestaan uit 1 schutsluis en een spuisluizencomplex van drie spui groepen. De Lorentzsluisen uit 2 schutsluisen (een grote en een kleine) en een spuisluizencomplex van twee spui groepen. Elke spui groep bestaat uit vijf kokers van 12 m breedte die afzonderlijk bediend kunnen worden. De kokers worden gescheiden door 4 m brede tussenpijlers.
- 2 Het Markermeer bij de Houtribdijk met verbindingen via de Krabbersgatssluisen bij Enkhuizen en de Houtribsluisen bij Lelystad, zie Figuur 2-3. De Krabbersgatssluisen bestaan uit 3 schutsluisen (waarvan 2 bij een naviduct) en een spuisluizencomplex met twee afzonderlijk te bedienen spui kokers. De Houtribsluisen bestaan uit 2 schutsluisen en een spuisluizencomplex van twee spui groepen met elk 3 afzonderlijk te bedienen spui kokers.
- 3 Het Drontermeer bij de nieuwe Reevesluis en bypass Reevediep, zie Figuur 2-5.
- 4 De Rijntakken op een overlapgebied dat loopt tussen Ketelmeer en Reevediep, zie Figuur 2-4 en Figuur 2-5, en een deel van de IJssel, zie Figuur 2-6.
- 5 De Overijsselse Vecht, zie Figuur 2-7.



Figuur 2-2 Overgangsgebied tussen IJsselmeer (onder) en Waddenzee (boven) in Google Earth. Deze uitsnede is wit omkaderd in Figuur 2-1. De scheiding wordt gevormd door de Afsluitdijk die wordt begrensd door de Stevinsluizen bij Den Oever (blauwe ellips) en de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand (groene ellips). De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline.



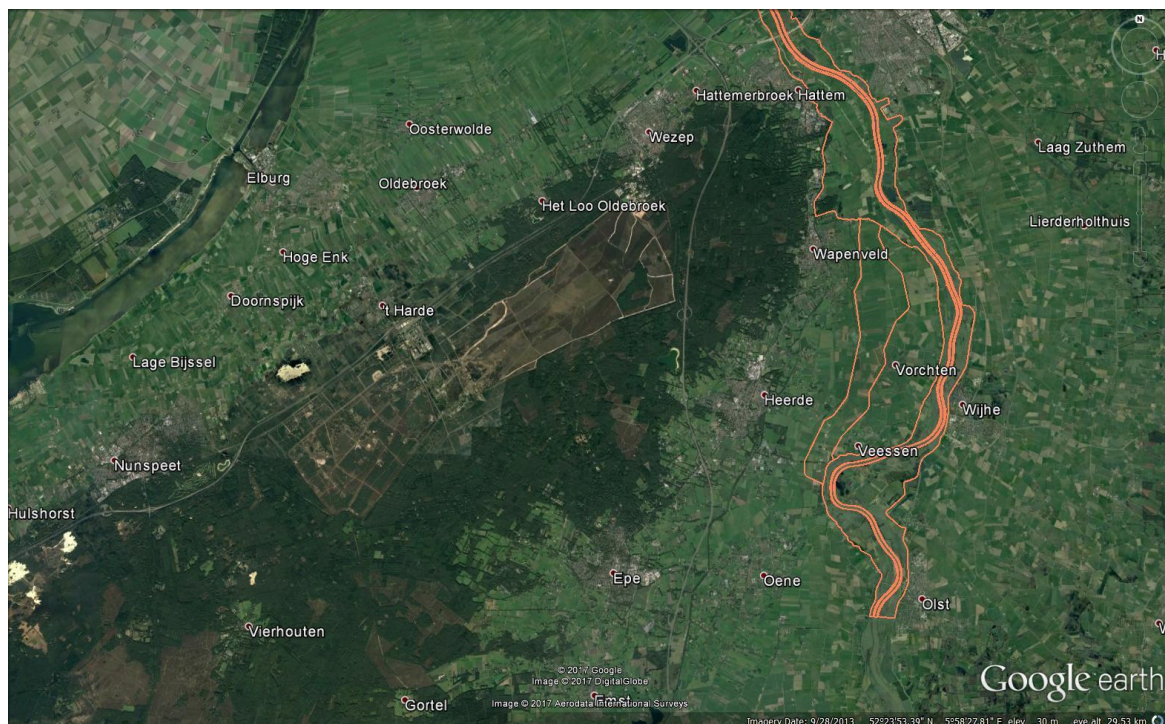
Figuur 2-3 Overgangsgebied tussen Markermeer (links) en IJsselmeer (rechts) in Google Earth. Deze uitsnede is groen omkaderd in Figuur 2-1. De scheiding wordt gevormd door de Houtribdijk die wordt begrensd door de Krabbersgatsluizen bij Enkhuizen (blauwe ellips) en de Houtribsluizen bij Lelystad (groene ellips). De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline.



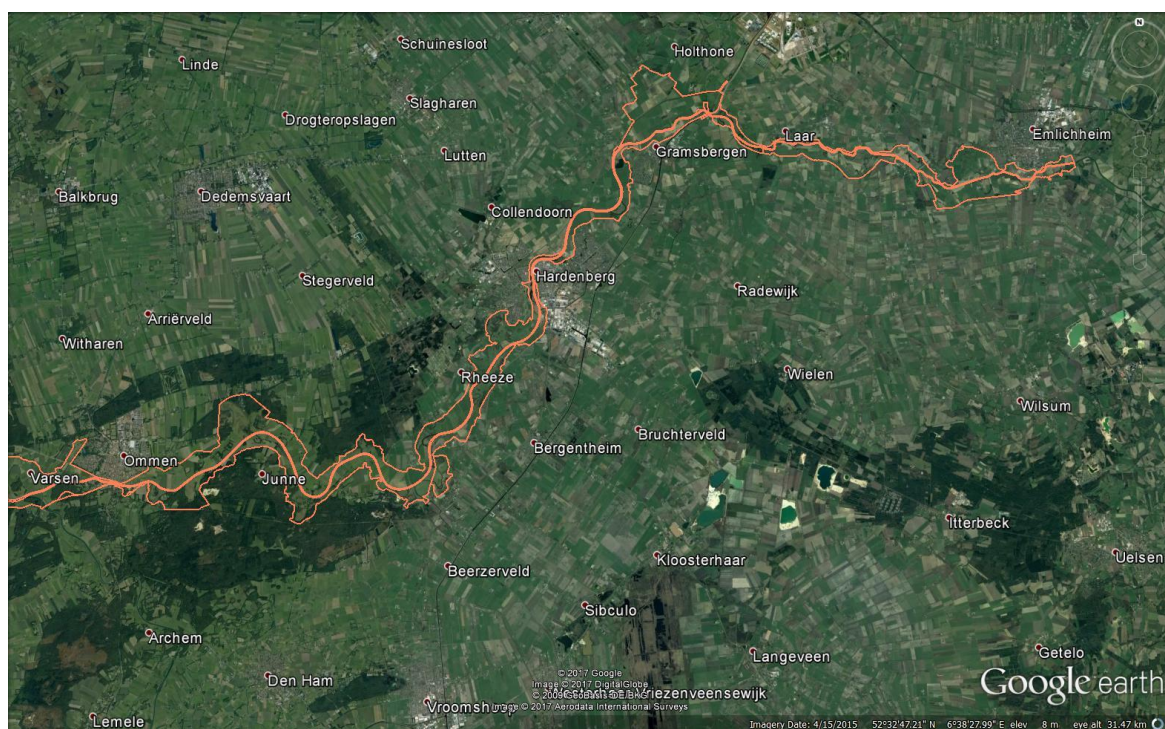
Figuur 2-4 Overgangsg gebied tussen IJsselmeer (links) en Ketelmeer (midden), Vossemeer - Drontermeer (rechtsonder) en Ramsdiep - Zwarte Meer (rechtsboven) in Google Earth. Deze uitsnede is geel omkaderd in Figuur 2-1. De scheiding tussen Ketelmeer en Ramsdiep (vaargeul, noordkant) en Ramsgeul (zuidkant) wordt gevormd door de Ramspolkering (blauwe ellips). De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline.



Figuur 2-5 Gebied rondom de nieuwe bypass Reevediep bij Kampen met Drontermeer (linksonder), Vossemeer (linksboven) en de IJssel (rechts) in Google Earth. Deze uitsnede is blauw omkaderd in Figuur 2-1. De oude scheiding tussen Drontermeer en Vossemeer is de Roggebotsluis (blauwe ellips). De nieuwe scheiding wordt gevormd door de Reevesluis en de Reevedam (groene ellips). De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline.



Figuur 2-6 Uiteinde van gebied op de IJssel tot aan Olst in Google Earth. Deze uitsnede is roze omkaderd in Figuur 2-1. De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline voor deze gebieden.



Figuur 2-7 Uiteinde van gebied bij Emlichheim waar de Overijsselse Vecht over gaat in de Duitse Vecht in Google Earth. Deze uitsnede is rood omkaderd in Figuur 2-1. De oranje lijnen zijn de winterdijk en de oeverlijn in Baseline voor deze gebieden.

2.2 Relevante processen en doelvariabelen

In het kader van modelontwikkeling volgen Deltares en RWS-WVL “good modelling practices” (zie [5]). Daarin wordt voorafgaand aan de ontwikkeling geïdentificeerd waarvoor het model precies nodig is en waaraan het dientengevolge moet voldoen. Dit leidt tot de definitie van zogenaamde “doelvariabelen”. Het is het streven de modelkalibratie en –validatie zo veel mogelijk te richten op deze doelvariabelen zodat de modeluitkomsten zo bruikbaar mogelijk zijn.

De belangrijkste toepassingen in het IJsselmeergebied zijn gebaseerd op resultaten van de startworkshop zesde-generatie modellen van Rijkswaterstaat in januari 2016. Voor de onderliggende fysische, chemische en biologische processen van deze toepassingen, typische ruimte/tijd schalen, belangrijkste grootheden en (uitvoer) locaties is eerst globaal gekeken hoe onderdelen nu gebruikt wordt en hoe deze aan elkaar gekoppeld worden:

- 1 Waterveiligheid: waterstanden, golfoploop en golfoverslag bij de dijken (toepassing binnen BOI en RWSOS Meren): wind en in mindere mate afvoer als forcering van dieptegemiddelde waterbeweging, deze weer als randvoorwaarde voor golven.¹
- 2 Waterverdeling (toepassing binnen o.a. Nationaal Watermodel): wind- en afvoergedreven dieptegemiddelde eendimensionale stroming.
- 3 Stofverspreiding (toepassing binnen o.a. calamiteiten instrumentarium en drinkwatervoorziening): dieptegemiddelde twee- en driedimensionale stroming en transport met deze stroming van (conservatieve) stoffen.
- 4 Effectstudies slib en ecologie (toepassing binnen o.a. MIRT verkenningen en MER studies): wind als forcering van driedimensionale stroming gekoppeld aan golven, dit weer als randvoorwaarde voor slib, waterkwaliteit en ecologie.

Vanuit Rijkswaterstaat is de wens uitgesproken dat in de zesde-generatie modelschematisaties zoveel mogelijk hetzelfde horizontale rekenrooster gebruikt kan worden voor deze verschillende toepassingen. De eerste directe toepassing is toepassing 1 (waterveiligheid) waarbij zoveel mogelijk toepassingen 3 (stofverspreiding) en 4 (effectstudies) worden meegenomen.

Voor toepassing 1 (waterveiligheid) zijn de doelvariabelen waterstanden, golfcondities en hieruit volgend golfoploop en golfoverslag aan de teen van de dijken. Hierbij gaat het om de meer extremere condities waarbij waterstanden, golfoploop of golfoverslag optreden waardoor sprake is van significante belasting (ten opzichte van aanwezige sterkte van de dijken). Voor BOI zijn dit extreme condities met herhalingstijden oplopend tot orde 10.000 jaar, voor RWSOS Meren zijn dit condities die zich actueel voordoen.

Voor toepassing 3 (stofverspreiding) zijn doelvariabelen stofconcentraties op locaties in het oppervlaktewater waar de normen voor deze stoffen overschreden kunnen worden. De condities en locaties hangen erg af van de specifieke stof, de bronnen daarvan en het meng- en transportproces in het oppervlaktewater.

Voor toepassing 4 (effectstudies) zijn doelvariabelen stof/organismeconcentraties op locaties in het oppervlaktewater waar de normen voor deze stoffen/organismen overschreden kunnen worden. Het verschil met toepassing 3 (stofverspreiding) is dat het hier gaat om minder passieve stoffen/organismen in het oppervlaktewater: niet alleen meng- en transportprocessen zijn van belang voor de concentraties maar ook onderlinge interacties. De condities en locaties hangen erg af van de/het specifieke stof/organisme, de bronnen daarvan, het meng- en transportproces en de specifieke interacties in het oppervlaktewater.

¹ Voor de toevoerende wateren (waaronder de IJssel) naar de meren in het IJsselmeergebied is afvoer juist in belangrijke mate de forcering van de stroming.

3 Modelopzet

3.1 Verloop van modelontwikkeling

Voor de modeltoepassing binnen RWSOS Meren is het belangrijk om snel aan te kunnen sluiten op de nieuwe D-HYDRO software. Vanuit de modelontwikkeling is daarbij wel voorkeur, om extra inspanning te besparen, om alle nodige gebiedsactualisaties (d.m.v. Baseline, waaronder voor Reevediep) en modelinstellingen (waaronder de voor OVD gekalibreerde ruwheden) meteen goed mee te nemen. Echter, om de doorlooptijd kort te houden voor de modeltoepassing binnen RWSOS Meren volgen mogelijk nog later modelupdates (die binnen RWSOS Meren relatief eenvoudig te verwerken zijn). Voor de bovenstroomse randen worden dezelfde randen aangehouden bij Olst en Ommen zoals eerder voor het vijfde generatie WAQUA IJVD model [6, 7]. Als het zinvol is om deze randen te verleggen (bijvoorbeeld i.v.m. invloedsgebied Reevediep) zal dat op een later moment moeten gebeuren. De uiteindelijke officiële modeloplevering middels een Protocol van Overdracht is in 2022.

De bestaande roosters voor de modellen van IJsselmeer, Overijsselse Vecht Delta en het overlapgebied van IJVD met de Rijntakken uit [1, 2, 3] zijn aan elkaar gekoppeld zodat daarop met Baseline een projectie kan worden verricht. Eerder is geconstateerd dat de roosters ter hoogte van de Ketelbrug niet meer goed aansluiten, dit is nu verbeterd. Het gehele rekenrooster bestaat uit 849.344 elementen en 658.555 nodes, daarmee is het een relatief groot D-HYDRO model.

Voor de actuele situatie is een projectie verricht vanuit Baseline, er wordt aangenomen dat deze situatie goed genoeg beschreven wordt door de gegevens in Baseline-NL. Uitgangspunt is hoe het gebied er over twee jaar bij ligt, Reevediep wordt daarin meegenomen als planmaatregel. Er is geen extra inbouw van een kunstwerk nodig voor Reevediep. In principe kan met 1 schematisatie volstaan worden om naast de situatie over twee jaar ook de huidige situatie te beschrijven. Daarbij wordt voor de huidige situatie handmatig in het D-HYDRO model gezorgd dat er geen water door het Reevediep kan stromen door het gebruik van een enclosure. Voor de validatie met de historische stormperiodes is het Reevediep niet meegenomen.

Vervolgens zijn voor de validatie met historische stormperiodes en de verificaties van de werking van Reevediep aanvullende modelaanpassingen gedaan. Deze worden nu afzonderlijk beschreven.

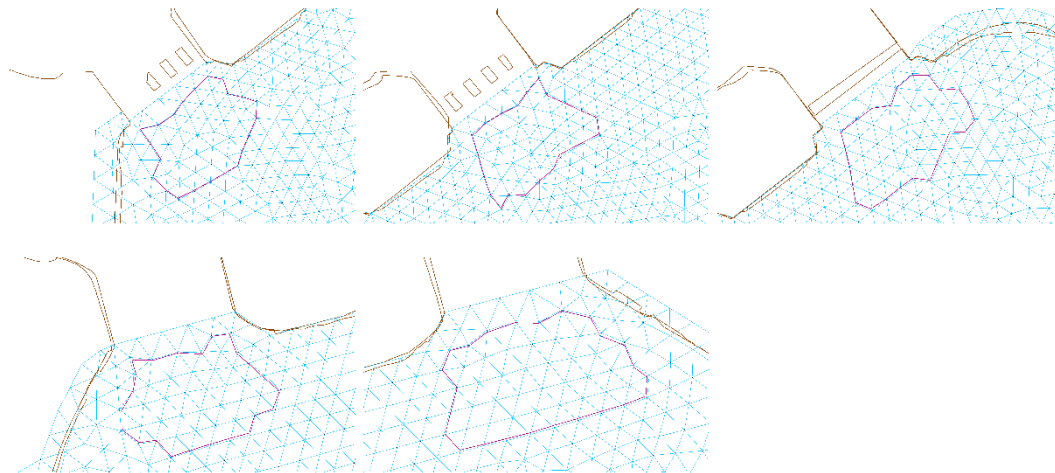
3.2 Model voor validatie met historische stormperiodes

3.2.1 Baseline projectie

Er is gebruik gemaakt van projectie uit Baseline-nl_land-j19_6-w2 (juli 2021).

3.2.2 Spuikokers Afsluitdijk

De spuidebieten bij de Afsluitdijk worden niet zoals in [1] onttrokken via losse rekencellen maar uit vooraf gedefinieerde polygonen (3 bij Den Oever en 2 bij Kornwerderzand, zie Figuur 3-1. N.B. voor de modelverificatie van de werking van Reevediep is wel gebruik gemaakt van de aanpak uit [1] door onttrekking uit losse rekencellen. Het wordt aanbevolen op een later moment na te gaan of er een betere aanpak mogelijk is vanuit de D-HYDRO software met een Q randvoorwaarde op de precieze locatie van de drempels (op -4.7 m +NAP) van de spuikokers.



Figuur 3-1 Polygonen voor opleggen spuidebieten bij de Afsluitdijk, boven: spuisluizen Den Oever (links linker spuigroep, midden middelste en rechts rechter), onder: spuisluizen Kornwerderzand (links linker spuigroep en rechts rechter).

3.2.3 Neerslag en verdamping

Om neerslag en verdamping gelijkmatig mee te kunnen nemen is een polygoon gemaakt. Basis zijn KRW polygonen van de meren. Dit zijn relatief gladde contouren, waarin geen “eilanden voorkomen”, wat essentieel is voor gebruik in D-HYDRO. De polygonen zijn vervolgens met 100 m naar binnen gebufferd.

3.2.4 Sturing kunstwerken

Voor de modelvalidatie zijn de kleppen van Veessen-Wapenveld nog niet meegenomen als kunstwerken, aangezien de waterstand in de validatieperiode ter plekke niet hoog genoeg was. Er is geen stroming in de nevengeul geweest, dat is gecontroleerd. In de definitieve schematisatie doen deze wel mee. De overige kunstwerken in het model zijn: 3 balgen bij Ramspol, Kadoelerkeersluis, 2 stuwen op de Vecht (Vilsteren en Vechterweerd) en inlaatwerk Plaggemars.

Het Meppelerdiep is in de schematisatie, echter er kan geen water in- of uitstromen, de pomp is uitgezet, de sluis Meppelerdiep permanent dicht. Dit is gerealiseerd door kleine aanpassingen in de RTC-bestanden. Het debiet van de pomp bij Zedemuden en de afvoer uit Meppelerdiep zijn samengevoegd en worden geloosd op het Zwarte Water als lateraal.

3.2.5 Sturing Ramspolkering

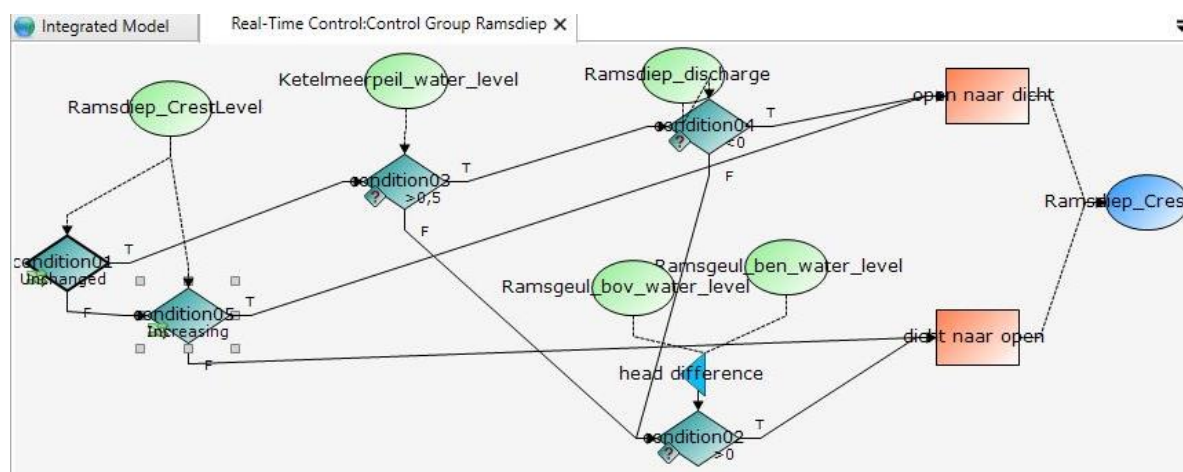
In het OVD-model is dit kunstwerk niet nodig aangezien het LMW station (Ramspolbrug) bovenstrooms van de balgen daar de benedenstroomse rand is.

Voor de validatie van het IJVD-model is de sturing voor Ramspol zodanig gemaakt dat alle 3 de balgen afzonderlijk kunnen worden aangestuurd. Deze sturing is eerder ontwikkeld en getest in 2018 zie bijlage G. De tabellen voor de sturing zijn onafhankelijk van de keuze van de tijdstap van informatieoverdracht tussen D-Flow FM en RTC. Dit in tegenstelling tot de sturing voor de Ramspolkering die voor de verificatie van Reevediep in hoofdstuk 5 is toegepast, zie daarvoor sectie 3.3.2.

De stormvloedkering bij Ramspol bestaat uit 3 balgen in Ramsdiep, Ramsgeul-Noord en Ramsgeul-Zuid. Om te sluiten (balg omhoog) moet het peil aan de kant van het Ketelmeer hoger zijn dan NAP+50cm en moet de stroomrichting oostelijk zijn. De kering gaat pas weer open als de waterstand aan Zwartemeerzijde hoger is dan de waterstand aan Ketelmeerzijde. Het sluiten en het weer openen duurt 1 uur, de beweging wordt altijd volledig afgemaakt. Daarvoor wordt gezorgd door eerst te controleren of de balgen bewegen (condition01 in Figuur 3-2), en zo ja in welke richting (condition05 in Figuur 3-2). In het model wordt elke balg als een 'crest' (ofwel de hoogte van de drempel) gestuurd.

In onderstaande figuur wordt de sturing voor de balg in het Ramsdiep getoond. Specifiek hierin is dat er gebruik is gemaakt van een differential-condition (conditie5), die controleert of de kruinhoogte toeneemt. Dit is nodig om uiteindelijk te bepalen met welke tabel er wordt gewerkt (dat onthoudt RTC niet).

De schema's voor de andere 2 balgen zien er vergelijkbaar uit, d.w.z. dat waar in onderstaande figuur Ramsdiep is te zien (3 keer) dit vervangen is door Ramsgeul_N resp. Ramsgeul_Z, waarmee de 3 balgen onafhankelijk van elkaar zijn. De rule "open naar dicht" is een tijdreeks voor de kruin die in een uur beweegt van -4,65 m naar 3.55 m, de rule "dicht naar open" vice versa.



Figuur 3-2 Schema voor sturing Ramspol balg in het Ramsdiep toegepast in de validaties.

N.B. in de RTC toegepast voor de validatie is de sturing van Veessen-Wapenveld nog niet opgenomen; er is geprobeerd ook de sturing daarvan (dezelfde als die voor Rijntakken) op te nemen in de bestanden, dit resulteerde in foutmelding van RTC. De bug moet nog worden opgelost. zolang dit nog niet is gebeurd, kan gebruik worden gemaakt van de sturing zoals deze toegepast is voor de testsimulaties (zie paragraaf 3.3.2).

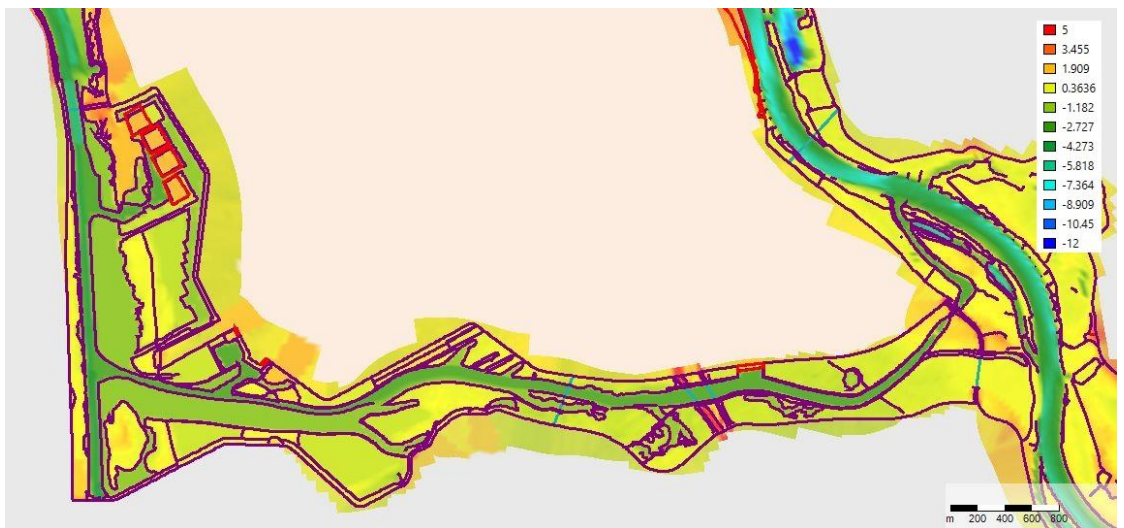
3.3 Model voor verificatie Reevediep

3.3.1 Baseline projectie

De basis voor de nieuwe Baseline-schematisatie is de schematisatie Baseline-nl_land-j19_6-w2. Hier zijn 8 maatregelen ingemixt. De maatregelen zijn in nl-land gemixt en daarna is een clip gemaakt. De resulterende Baseline-database is baseline-ym_ijvd_rd-j19_6-w1. De Baseline-schematisatie is vertaald naar D-HYDRO. Figuur 3-3 en Figuur 3-4 tonen het rooster, de bodemhoogte en de overlaten in het Reevediep in D-HYDRO. Figuur 3-5 en Figuur 3-6 geven de D-HYDRO-schematisatie van de inlaat en de (voormalige) Roggebotsluis in meer detail weer.



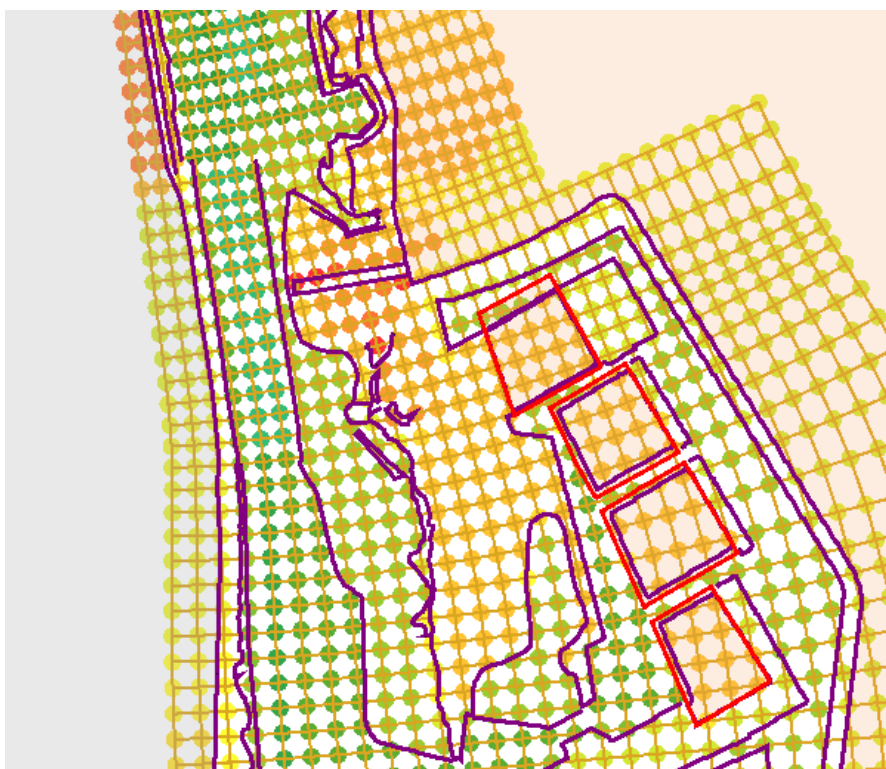
Figuur 3-3 Geactualiseerd Reevediep. Rekenrooster, vaste overlaten (paars), dunne dammen (rood), permanent droog (zalmroze) gebied tussen de IJssel en het Revemeer en brugpijlers (blauw-groen). Het grijze gebied is buiten de modelbegrenzing. De inlaat Reevediep ligt onder de meest rechtse brug.



Figuur 3-4 Bodemhoogte (m+NAP) in het Reevediep.



Figuur 3-5 Bodemhoogte (m+NAP) rond de inlaat van het Reevediep (kleurschaal in Figuur 3-4). Ogen zijn locaties voor observatie van de waterstanden, de roze lijnen met pijlen de dwarsdoorsnedes voor observeren debiet.

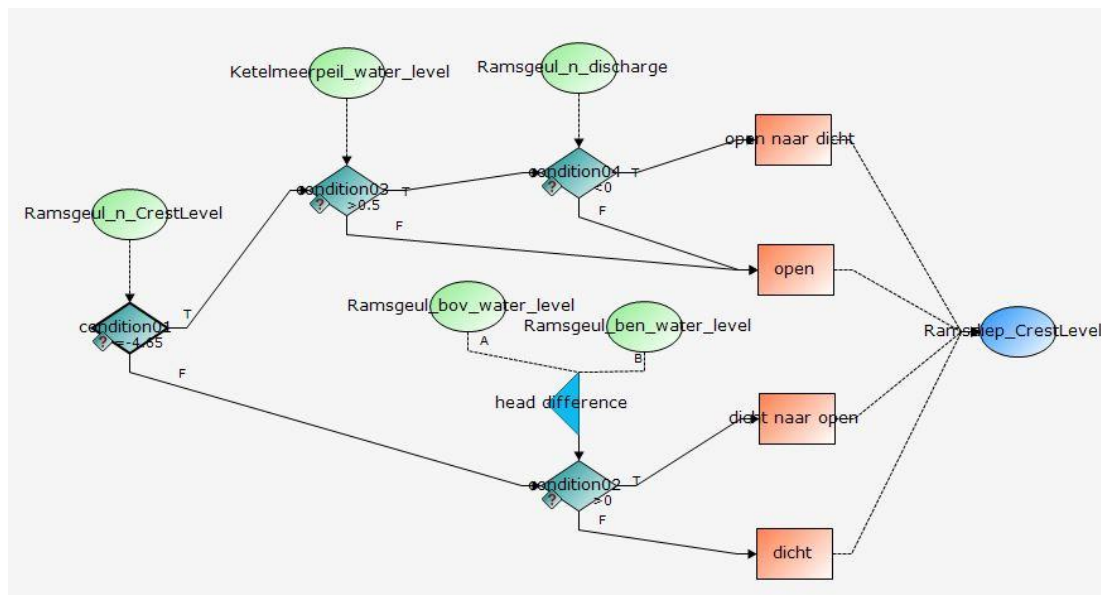


Figuur 3-6 Bodemhoogte (m+NAP) nabij Roggebotsluis (kleuren conform Figuur 3-4).

3.3.2 Sturing Ramspolkering

In tegenstelling tot de validatie met historische stormperiodes (zie sectie 3.2.5) is voor de verificatie van Reevediep voor de modelmatige sturing van de Ramspolkering een methode gebruikt waar geen differential-condition voor nodig is. Er wordt alleen gecontroleerd of de balg niet op minimale stand staat (conditie1). Deze methode is gebaseerd op projectwerk met Sobek in opdracht van RWS in [10].

Voor conditie1 wordt - ongeacht welk van de 3 balgen - de crest-level van Ramsgeul_N gebruikt, idem voor conditie4 het debiet van Ramsgeul_N.



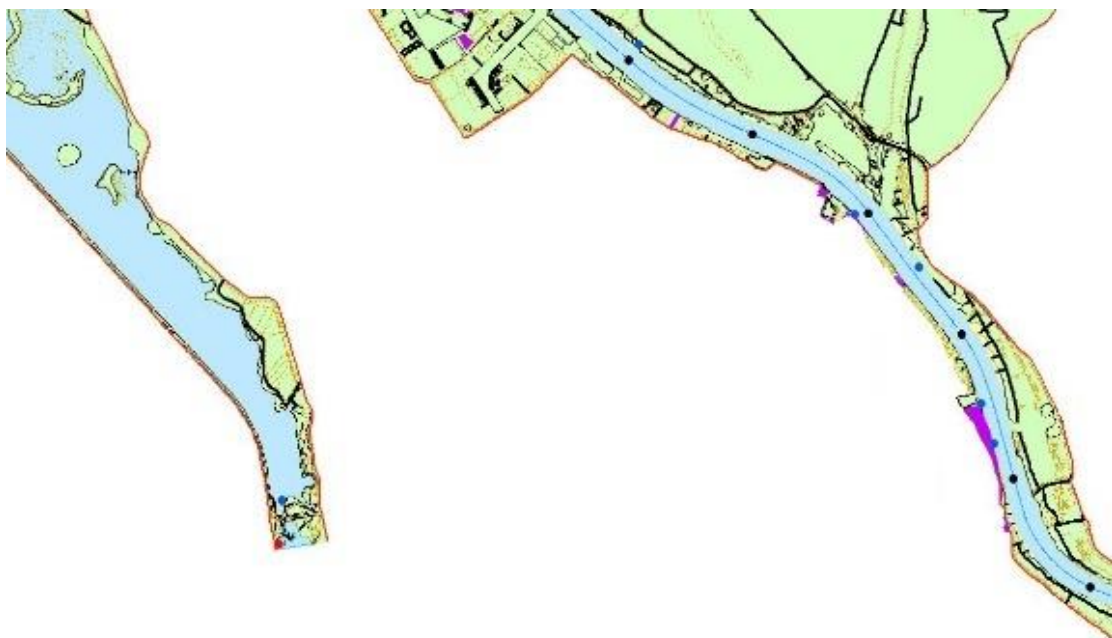
Figuur 3-7 Schema voor sturing Ramspol balg in het Ramsdiep toegepast voor de verificatie van Reevediep. Het resultaat van de 4 rules wordt doorgegeven aan de crest_level van Ramsgeul_N.

Er zijn 4 tijdreeksen, “open naar dicht” doet in 1 minuut een klein stukje sluiten (-4,65m naar -4,513m), “open” is constante waarde -4,65; met “dicht” gaat de kruin in 59 minuten van -4.377m naar 3.55m (waarmee het sluiten kan worden afgemaakt), met “dicht naar open” in 60 minuten van 3.55 naar -4.65m. De waarden -4,513 resp. -4.377 zijn gebaseerd op de communicatiestap tussen RTC en D-Flow FM van 1 minuut². In zeer bijzondere situaties zijn er kleine hikjes bij het openen/sluiten. Echter het toepassen van de sturing zoals die gebruikt wordt bij de validatie met historische stormperiodes geeft problemen in combinatie met de sturing van Veessen-Wapenveld zie 3.2.5

3.3.3 Baseline projectie zonder Reevediep

De versie van Baseline zonder het Reevediep heet baseline-ym_ijvd_ovd-j19_6-v2a. Het modeldomein is hetzelfde als de eerdere WAQUA versie van de IJVD schematisatie, waar de inlaat van Reevediep ligt bij rivierkilometer 991.00 van de IJssel tot aan Roggebotsluis in het Vossemeer.

² De reeks “dicht” begint met -4,377 m en niet met -4,513 m om ervoor te zorgen dat er geen pauze in de stuwbeving ontstaat in de overgang van “open naar dicht” naar “dicht”.



Figuur 3-8 Baseline schematisatie zonder Reevediep

4 Modelvalidatie met historische stormperiodes

4.1 Simulatieperiode en wind

Uitgevoerd zijn modelvalidaties voor twee historische situaties. De eerste betreft de storm met west tot noordwestelijke wind in de periode tussen 12 en 19 januari 2018. In maart 2018 zijn er 2 oostelijke stormen geweest. Aanvankelijk was het de bedoeling om de storm van begin maart te gebruiken voor de validatie. Echter door bevriezing van veel delen van de meren is deze niet geschikt. Daarom is voor de tweede historische situatie gekozen voor een tweede oostelijke storm die optrad in de periode tussen 13 en 20 maart. De situatie in deze periode is qua wind complementair aan die voor de storm in januari 2018. Voor een uitgebreide beschrijving van de in deze situaties opgetreden wind verwijzen we naar [4].

Voor elke periode wordt voor de windforcering zowel gemeten wind van een windmeetstation (uniform opgelegd in het model) als een ruimtelijke variërend windveld met HARMONIE-stress gebruikt. Voor deze windforcering gebruiken we hier dezelfde HARMONIE-stress (storm januari 2018 en storm in maart 2018) en gemeten wind bij Rotterdamse Hoek (storm januari 2018) en Wijdenes (storm in maart 2018) als toegepast voor het Markermeer en de Veluwerandmeren in [4]. Voor de storm in maart 2018 was er helaas geen data van Rotterdamse Hoek beschikbaar omdat deze meetpaal getrokken was vanwege ijsvorming, daarom is voor die periode gekozen voor Wijdenes.



Figuur 4-1 Windsnelheid bij Rotterdamsehoek (bron: <https://matroos.rws.nl>).

4.2 Randvoorwaarden

Debeten voor de IJssel bij Olst zijn verkregen uit een aangepaste Q-h relatie van RWS Oost Nederland (per e-mail ontvangen van Dénes Beyer op 11 juni 2021). Dit betreft 10 minuutwaarden waarbij enkele waarden missen. Het debiet van de Overijsselse Vecht bij Ommen komt uit de simulaties van het D-HYDRO model voor de Overijsselse Vecht Delta (OVD) [3]. Dit betreft uurwaarden.

Voor de lateralen langs de randen van het IJsselmeer, Ketelmeer en Vossemeer zijn gegevens deels gehaald uit BALANS (dagwaarden) en deels uit Waterinfo (10-minuutwaarden). Voor de lateralen langs de Overijsselse Vecht, het Zwarte Water, het Zwarte Meer en de IJssel is de randvoorwaardengenerator [11] gebruikt.

4.3 Initiële condities

Omdat het modelsysteem een gesloten bak is (geforceerd door alleen debieten), kan een initiële fout blijven doorwerken. Er is dus ruime aandacht voor het initialiseren.

Voorafgaand aan de echte simulatie wordt er een inspeel-simulatie gedaan. Deze is nodig om verhang op de IJssel en Vecht te krijgen, dat past bij de afvoer. Voor de inspeelsom zijn waterstanden uit Matroos gehaald, (operationeel RWSOS Meren, WAQUA model), dat zal initieel en goede benadering zijn. NB: in de operationele runs wordt een passend verhang op de rivieren gecreëerd door afvoeren uit FEWS Rivieren te gebruiken indien beschikbaar en anders een meting. De meting bij Olst is een (verouderde) Q-h relatie.

Voor beiden runs wordt het eerste waterstandsveld uit een zogenaamde hindcast gebruikt, met als voordeel dat er in RWSOS Meren een meerpeilcorrectie is gedaan. Voor maart is 13-maart-2018 00:00 MET opgehaald, voor januari 12-januari-2018 00:00 MET.

Het aanmaken van de initiële voorwaarde in de inspeelrun bestaat uit 3 onderdelen:

1. het opgehaalde waterstandsveld wordt geïnterpoleerd naar het rooster van D-Flow FM. Dat kan een vertekend beeld geven in uiterwaarden.
2. Zet delen droog. In eerste instantie was het hele “sectie3” gebied “droog” gezet, maar dan gaat inspelen op de IJssel erg lang duren. Daarom is uiteindelijk alleen het sectie3 gebied rond de Vecht en benedenstrooms van Kampen drooggezet. Dat is inclusief het Kampereiland (droge deel), waar in de operationele berekening vaak onterecht water staat (omissie RWSOS Meren). Tijdens het inspelen lopen overigens de geulen op het Kampereiland weer netjes vol.
3. Als laatste is ervoor gezorgd dat de nevengeul Veessen-Wapenveld droog staat.

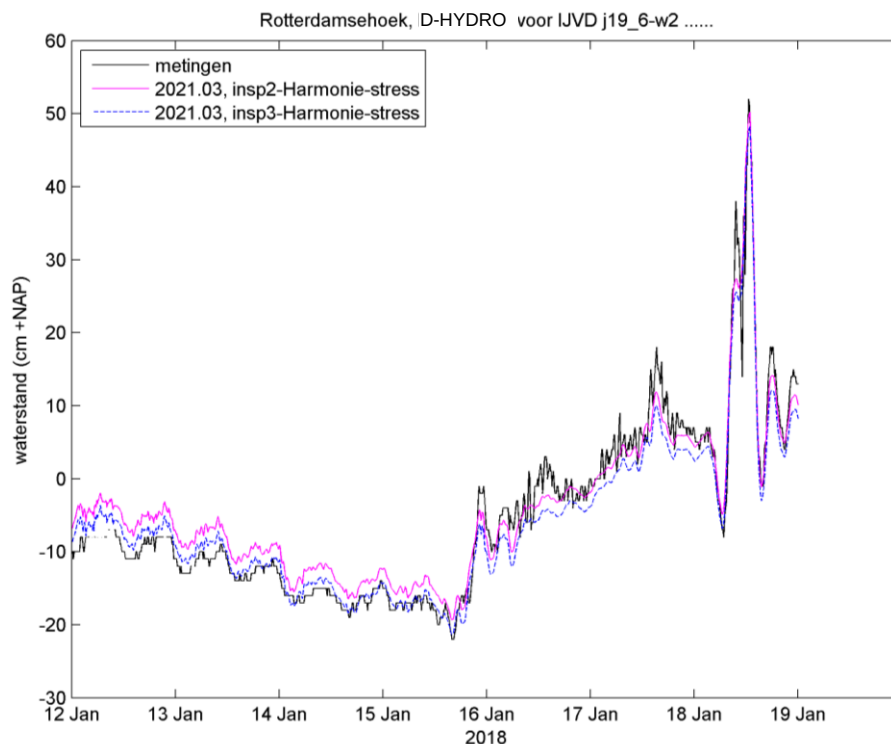
Tijdens het inspelen is de aanvoer vanuit de rivieren constant. Eenzelfde hoeveelheid aanvoer wordt ook afgevoerd. Om deze afvoer uit het systeem te halen wordt het polygoon gebruikt, waarmee ook verdamping en neerslag worden gemodelleerd. Deze onttrekking gebeurt met enige vertraging. Idealiter zou dat een halve dag moeten zijn, dat is de looptijd tussen Olst en monding IJssel. (afgeleid uit [9]). Voor de januari-storm is te zien dat er alsnog teveel water in het systeem aanwezig is, daarom is ook een kortere vertraging (6 uur) uitgeprobeerd. Mogelijk was ook in het operationele model de waterbalans niet op orde.

Tijdens het inspelen zijn de overige lateralen uitgeschakeld (pompen, gemalen, beken, zijrivieren), voor de januari storm is wind (stress HARMONIE) aangezet, voor de storm in maart is de wind uitgeschakeld.

Uit experimenten blijkt, dat na 2 dagen simuleren met beoogd debiet een stabiele en constante waterstand op de IJssel wordt bereikt. Op de Vecht is dat al eerder (tgv de stuwen).

In de simulatie met de storm wordt doorgestart met tijdstip 2 dagen na start inspeelsimulatie. In onderstaande figuur is het effect van inspelen te zien. De simulatie “insp2_HARMONIE-stress” is doorgestart op de inspeelrun met vertraging van 12 uur, de simulatie “insp3_HARMONIE-stress” is doorgestart op de inspeelrun met vertraging van 6 uur. In de eerste dagen is duidelijk te zien dat met vertraging van 12 uur er teveel water in het systeem is. Met vertraging van 6 uur is dat wat minder. Echter vanaf 15 januari avond gaat het meerpeil stijgen en is de balans niet meer in orde. Het teveel bij de start wordt gecompenseerd.

Voor de beoordeling van de storm simulaties wordt de vertraging van 12 uur gebruikt.



Figuur 4-2 Waterstand bij Rotterdamsehoek voor 2 verschillende inspeelsimulaties. insp2 is doorgestart op inspeelrun met 12 uur 'vertraging', insp3 is doorgestart op run met 6 uur 'vertraging'.

4.4 Resultaat en conclusie

4.4.1 Algemeen

In bijlage A (detailperiode januari 2018), B (gehele periode januari 2018) en C (maart 2018) zijn figuren opgenomen van gesimuleerde en gemeten waterstanden voor de twee stormperiodes. Bijlage D (januari 2018) en E (maart 2018) bevatten de bijbehorende statistiek. In Bijlage F zijn de rekentijden opgenomen zoals die optraden tijdens de validatie, voor operationeel gebruik wordt sterk aanbevolen de rekentijden na te gaan voor dit model in operationele setting en op de specifieke hardware.

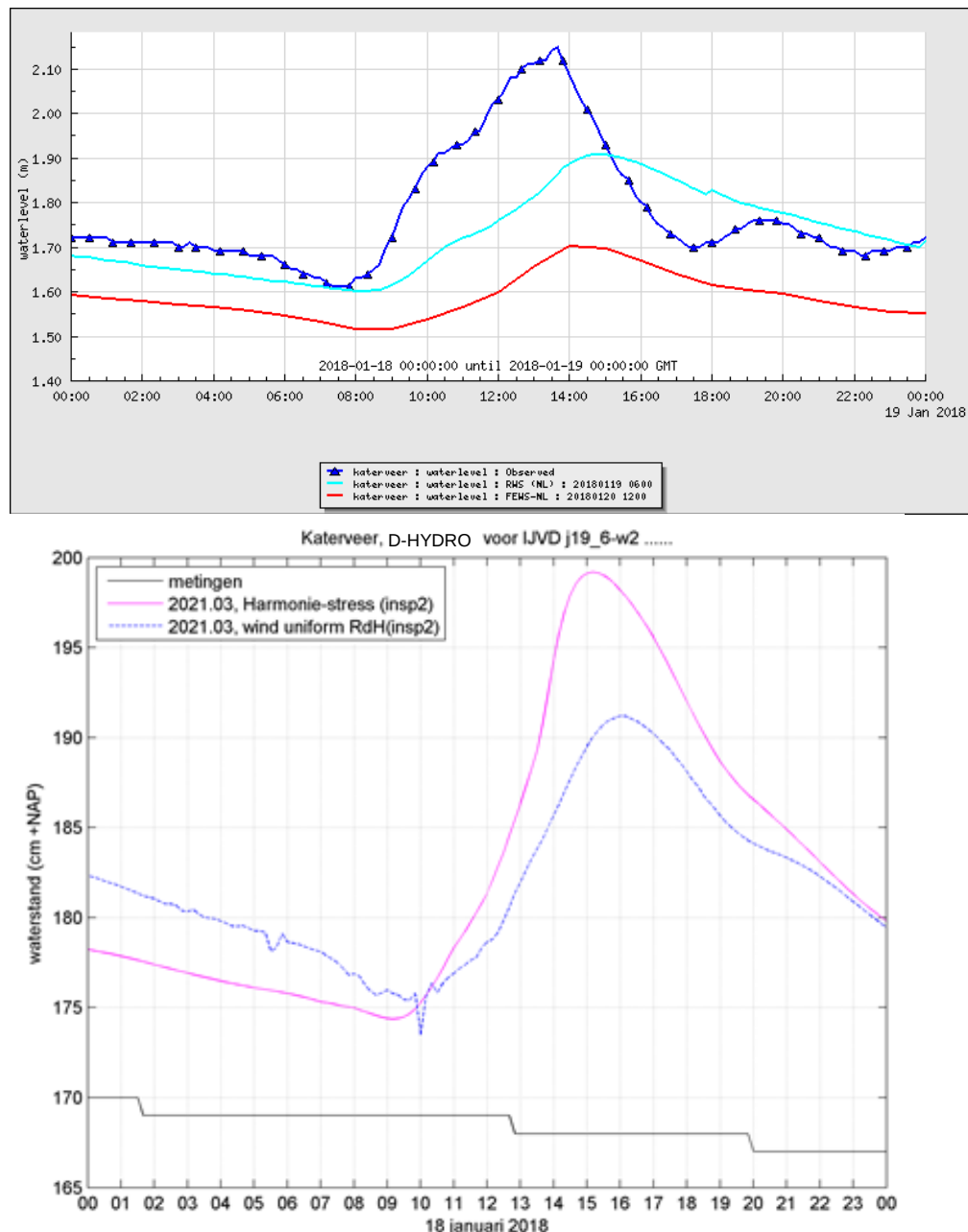
Bij aanvang van de simulatieperiode in januari is te zien dat de waterstanden in enkele uren snel stijgen. Het effect is het sterkst te zien op de meetlocaties Zwarte Water en Zwarte Meer. Dit wordt veroorzaakt doordat bij het inspelen geen rekening is gehouden met de relatief hoge afvoer van de Regge/Linderbeek. Daardoor stellen de stuwen op de Vecht zich anders in (ruim 20 cm lager dan in de inspeelsom). Het is aan te bevelen om tijdens inspelen deze afvoer ook mee te nemen (aanbeveling1).

In de aanloop naar de storm (16 tot 18 januari) doet uniforme wind het beter, echter op de stormdag zelf is HARMONIE beter. Op het Ketelmeer worden de waterstanden licht overschat waardoor de Ramspolkering eerder sluit. Op het gebied oostelijk van Ramspol doen beide windformuleringen het slecht. Probleem is de sterke waterstandsval achter de kering na sluiting in het model.

Voor de maart storm zijn er veel slingeringen in zowel de meting als de modellen, dat maakt de beoordeling lastig. Ook hier zijn na inspelen de waterstanden licht te hoog (2 - 3 cm). Opmerkelijke resultaten: Kadoelen met uniforme wind ziet er goed uit; bij Kamperbovenhaven doet HARMONIE stress het beter.

4.4.2 Afvoer IJssel

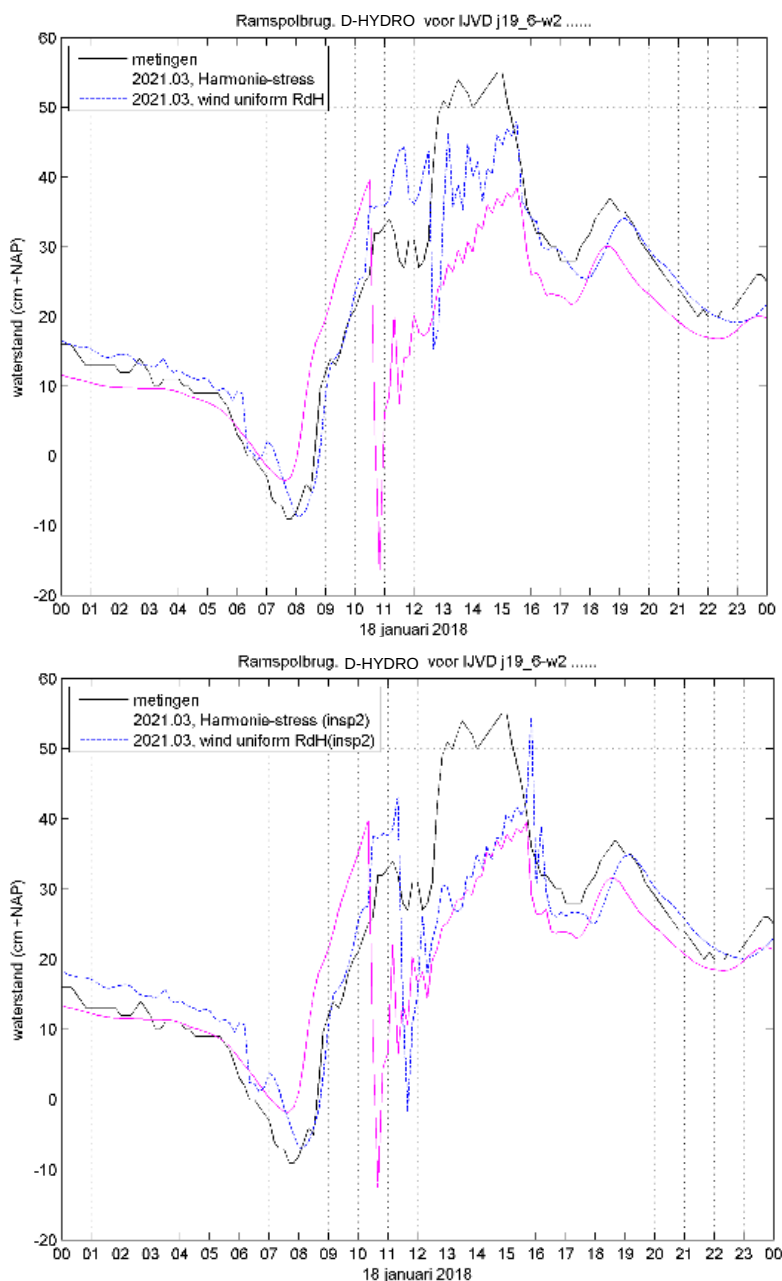
Alhoewel een vernieuwde Q-h relatie is gebruikt voor Olst en ook gekalibreerde zomerbedruwheden uit het Rijntakken-model, blijkt dat de waterstanden op de IJssel worden overschat (Wijhe, Katerveer en ook bij Kampen en Keteldiep, orde 7 tot 10 cm) tijdens de januari-storm. In januari was de afvoer hoog, in maart iets bovengemiddeld, dan is sprake van een lichte onderschatting (minder dan 5 cm). Helaas is met het Rijntakken-model nog geen verificatie voor 2018 gedaan, dit is aan te bevelen (aanbeveling2a). Overigens blijkt dat de data voor station Katerveer zijn aangepast (Waterinfo, interpolatie tussen 15 en 23 januari, zwarte curve in onderste deel Figuur 4-3). In de originele data (MATROOS, blauwe curve in bovenste deel Figuur 4-3) is dat niet gedaan en is er een duidelijk windeffect op 18 januari in de modellen. Het wordt aanbevolen (aanbeveling 2b) de data van WaterInfo goed te checken.



Figuur 4-3 Boven: windeffect Katerveer operationele modellen (bron: <https://matroos.rws.nl>). Onder: windeffect Katerveer uit meetdata (bron: <https://waterinfo.rws.nl>).

4.4.3 Werking Ramspolkering (januari storm)

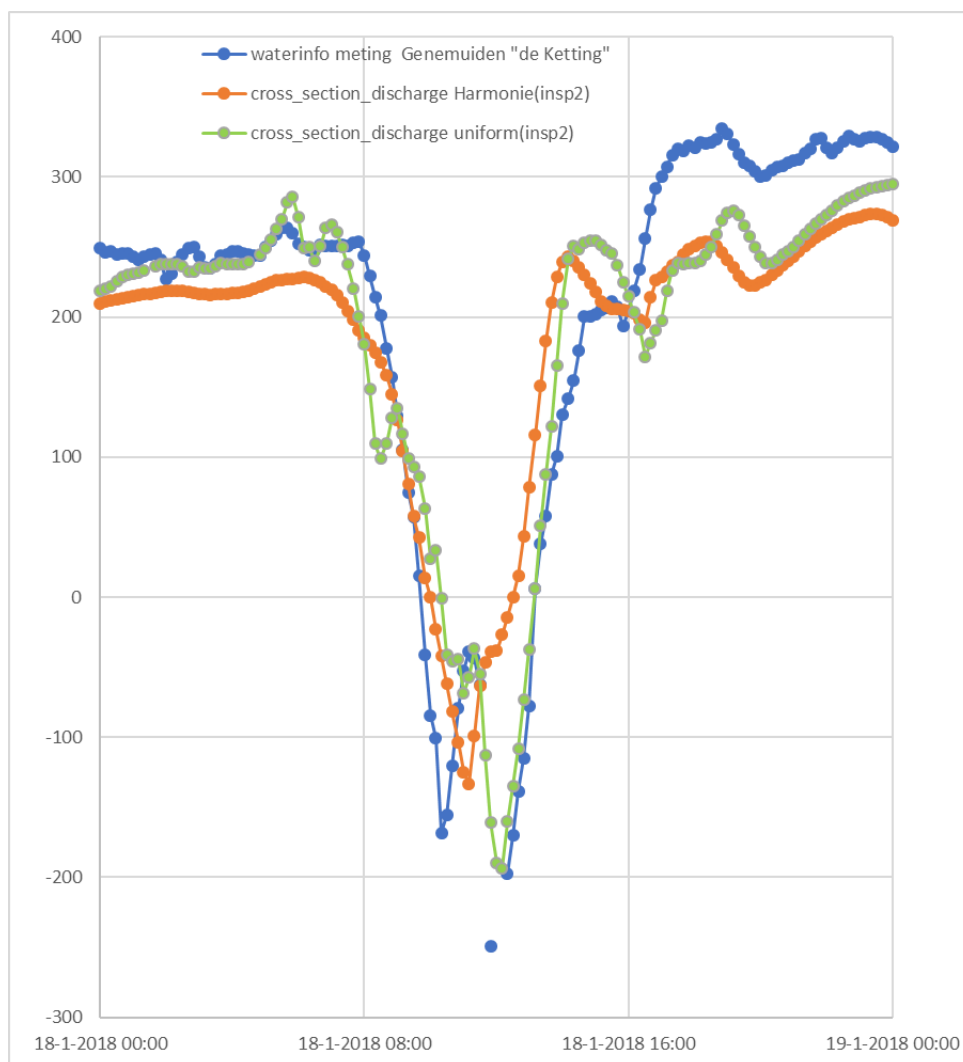
Deze kering is tijdens de januari storm gesloten om 11:45 (bron logboek WMCN-meren bindingsdienst van Manen). Aan de meting te zien, is het sluitproces iets na 11:00 begonnen. Met HARMONIE wordt er anderhalf uur eerder gesloten (10:20-11:20). Door het sluiten zakt de gemodelleerde waterstand op het LMW-meetstation Ramspolbrug (oostelijk van de kering) erg snel, en blijft in het gebied erachter (Zwartemeer, Zwartewater) ook erg laag. Met de uniforme wind gaat dit iets beter (11:20-12:20), dit is echter afhankelijk van hoe er initieel is gestart. Opvallend is, dat in de meting deze snelle daling niet optreedt, dat was in een eerdere storm op 3 januari wel het geval. Een daling van 20 tot 30 cm is niet ongewoon. Verder blijkt dat de hoeveelheid water bij aanvang de modelresultaten nabij de kering behoorlijk beïnvloedt. Doordat er met inspeelrun2 meer water in het systeem is, is te zien dat i.g.v. uniforme wind de kering veel sneller sluit met ook weer een scherpe waterstands daling.



Figuur 4-4 Meting en gemodelleerde waterstand op LMW-Ramspolbrug 18 januari, boven is inspeelrun3 gebruikt (meer water in het systeem), onder is inspeelrun2 gebruikt. Eerste testberekeningen, waarin nog een fout met de sturing (abrupte sluiting) voor kwam. Deze 2 figuren dienen ter illustratie van dat de hoeveelheid water in het systeem erg bepalend is voor wat er op Zwartemeer / Zwartewater gebeurt.

Het operationele WAQUA model heeft het destijds beter gedaan. Helaas zijn alleen de hindcasts hiervan bewaard. Doordat de doorstart van deze berekeningen tijdens de sluiting viel, is bij de restart de kering opnieuw open gegaan om vervolgens direct weer te sluiten. Dat zorgt voor tijdelijk sterk verhoogde waterstand achter de kering.

De berekende waterstanden op Zwarte Meer en Zwarte Water zijn met de uniforme windforcering en inspeelrun2 veel te laag. Er is een scherpe daling van de waterstand bij Ramspol, met inspeelrun2 heeft dat ongewenste effecten. Daarom is ook het berekende en gemeten debiet aan het einde van het Zwarte water geanalyseerd. Direct na het sluiten van de kering draait de stroomrichting om (stroomopwaarts) en is er een sterk negatief debiet, ondanks de hoge aanvoer van Vecht en Meppelerdiep. Het daggemiddelde debiet voor de meting is 205 m³/s, het gemiddelde debiet voor 18 januari in de modellen (voor beide modelforceringen) komt lager uit; de sterk negatieve debieten vlak na het sluiten zijn van vergelijkbare ordegrrootte.



Figuur 4-5 Gemeten en berekende debiet over dwarsraai bij het einde van Zwarte Water (nabij meetstation Genemuiden) op 18 januari.

De resultaten uit het OVD-model in dit deel waren correct, echter dat model heeft als benedenrand de gemeten waterstand van LMW_Ramspolbrug (en geen kunstwerk). Het is aan te bevelen (aanbeveling 3) om de simulatie ook nog eens te maken waarbij de stand van de balg (de crest) als (absolute) reeks wordt opgegeven in RTC.

Aanbeveling 4: ook de storm van 3 januari 2018 had een sluiting van de Ramspolkering. Het WAQUA model deed het goed. Probeer ook deze storm te simuleren, alle data is er, aangezien deze verzameld is tussen 1 december 2017 en 31 maart 2018.

Aanbeveling 5: zorg dat in RTC de actuele standen van kunstwerken worden doorgegeven m.b.v. het import/export-bestand, dit is specifiek nodig voor het operationele gebruik, welke elke 6 uur een doorstart maakt op warme start. In de reguliere invoer voor kunstwerken in D-Flow FM (struct.ini) wordt alleen een initialisatie gedaan, echter deze is niet geschikt voor de doorstart.

4.4.4 Plaggemars

Deze stuw wordt gestuurd met een streefpeil van 2.45 m +NAP. Er is geconstateerd dat dit streefpeil niet wordt bereikt, waterstand blijft onder de 2.40 m +NAP. Mogelijk is het fysiek onmogelijk om deze sturing te realiseren. Er wordt aanbevolen dit verder uit te zoeken.

5 Modelverificatie werking Reevediep

5.1 Randvoorwaarden

Om de schematisatie te testen en te controleren voor de werking van de bypass Reevediep zijn er vier fictieve scenario's met het model gemodelleerd (Tabel 5.1). De randvoorwaarden zijn gekozen uit de beschikbare standaardrandvoorwaarden voor dit gebied. Er is gekozen voor een scenario met lage afvoer, hoog peil en extreme wind (bo1), een met hoge afvoer, hoog peil en extreme wind (bo2) en een met hoge afvoer en laag peil zonder wind (bo3). Er is later een extra scenario (bo4) uitgevoerd met lage afvoer, laag peil en nog extremere wind. Dit scenario is ook bedoeld om te zien hoe het hele IJVD gebied reageert op extreme omstandigheden. Deze wind draait in de tijd met de klok mee 360° waarmee de robuustheid van het model wordt getest. De opgelegde afvoeren zijn constant in de tijd, de som van alle aanvoer wordt (tegelijktijd) ook weer afgevoerd. De scenario's bo1 en bo3 zijn dezelfde die eerder zijn toegepast met WAQUA [8]. Scenario bo2 is een mix van bo1 en bo3.

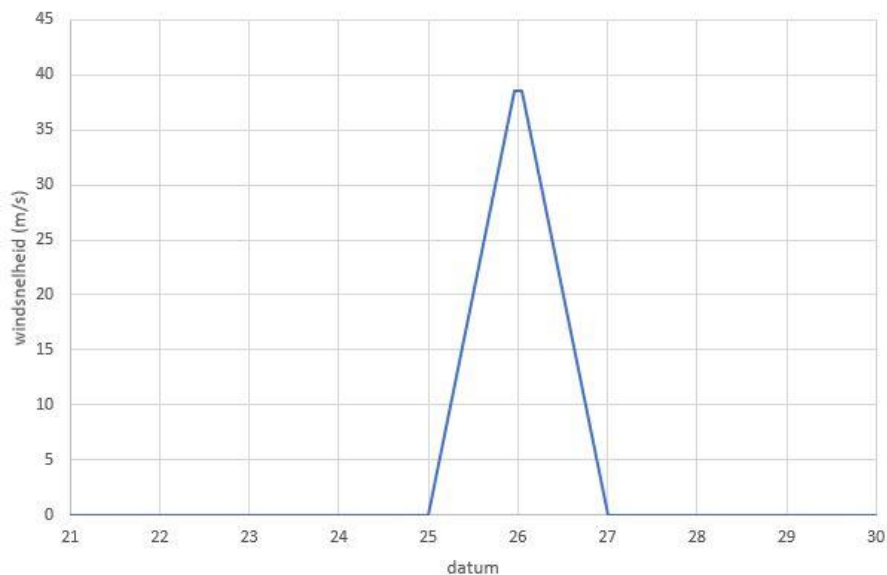
Tabel 5.1: Randvoorwaarden voor de fictieve scenario's, simulatieduur is 10 dagen (2001-01-21 t/m 2001-01-31).

Randvoorwaarde		bo1	bo2	bo3	bo4
Afvoer Olst/IJssel	m ³ /s	885	2665	2665	885
Afvoer Ommen/Vecht	m ³ /s	180	550	550	180
Afvoer Meppel	m ³ /s	30,2	92,2	92,2	30,2
Lateralen IJssel	m ³ /s	10,8	21,2	21,2	10,8
Lateralen Vecht	m ³ /s	23,6	36,1	36,1	23,6
Initieel IJsselmeerpeil	m+NAP	1,3	1,3	-0,4	-0,4
Windrichting	-	NNW	NNW	geen	Z-W-N-O->Z
Windrichting	°	337,5	337,5	geen	180→180
Windsnelheid (piekwaarde)	m/s	38,5	38,5	0	48
Afvoer Den Oever (40%) ³	m ³ /s	451,84	1345,80	1345,80	451,84
Afvoer Kornwerderzand (60%)	m ³ /s	677,76	2018,70	2018,70	677,76

In scenario bo1 en bo2 is wind opgelegd met een totale duur (inclusief voorflank en achterflank) van 48 uur. De wind is als volgt geschematiseerd:

- 1 4 dagen zonder wind. Dit is bedoeld als extra inspeelperiode. De volgende keer dat deze berekeningen gedraaid worden, kan deze periode ingekort worden.
- 2 In 23 uur oplopen naar boven vermelde windsnelheidswaarde (U10ow).
- 3 2 uur lang op maximale waarde.
- 4 Binnen 23 uur weer aflopen naar een windsnelheid van 0 m/s (geen wind).

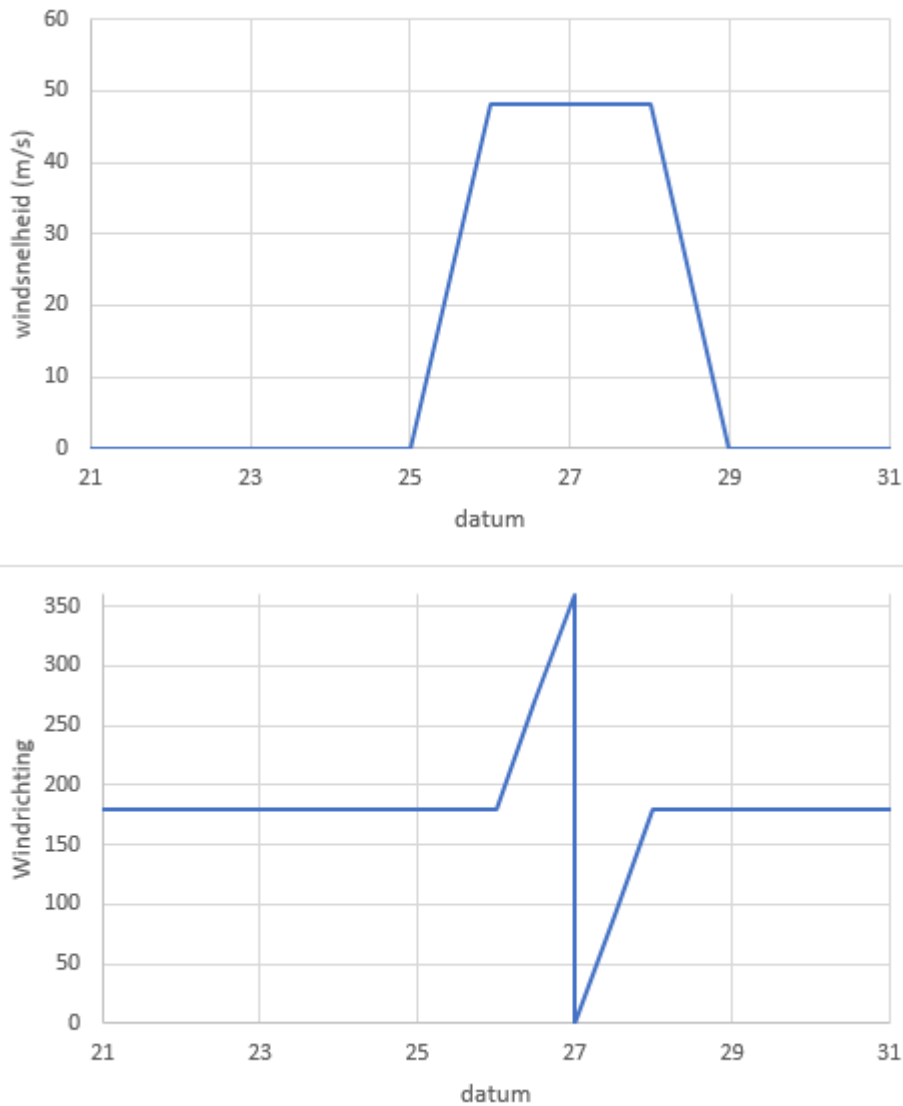
³ De vermelde percentages zijn abusievelijk overgenomen uit eerdere projecten. De verhouding in BOI zal worden 60% bij Den Oever resp. 40% bij Kornwerderzand.



Figuur 5-1 Windsnelheid in bo1 en bo2. De windrichting is constant NNW (337,5°).

In scenario bo4 worden een windpiek opgelegd met een totale duur (inclusief aan- en afloop) van 96 uur. De piek is als volgt geschematiseerd:

- 1 4 dagen zonder wind. Dit is bedoeld als extra inspeelperiode. De volgende keer dat deze berekeningen gedraaid worden kan deze periode ingekort worden.
- 2 In 24 uur oplopen naar boven genoemde windsnelheidswaarde.
- 3 48 uur lang op maximale waarde, tegelijkertijd draait de wind met de klok mee 360°, dus van zuid, via west, naar noord, oost en eindigt zuid, de draaiing bedraagt dus 7,5°/uur.
- 4 Binnen 24 uur weer afnemen naar een windsnelheid van 0 m/s (geen wind).



Figuur 5-2 Windsnelheid en richting in bo4.

5.2 Initiële condities

De initiële condities zijn aangemaakt in twee stappen:

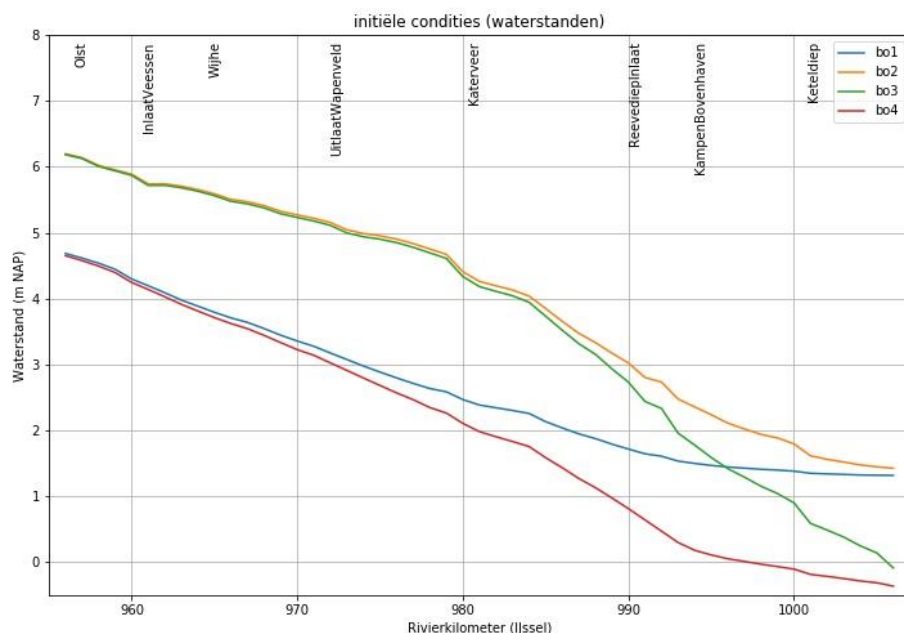
- Stap 1: aanmaken (laag) waterstandsveld (2001-01-01 t/m 2001-01-11) voor alle 4 inspeelruns.
 - -0.4m NAP waterstand bij Den Oever en Kornwerderzand,
 - 50 m³/s: Olst; 5 m³/s: Ommen-Hesselmulertbrug; 1 m³/s: Meppel.
- Stap 2: toewerken naar gewenste initiële conditie (2001-01-11 t/m 2001-01-21).
 - Het debiet neemt langzaam toe tussen dag2 en dag4 (2001-01-13 t/m 2001-01-15) tot het maximum zoals vermeld in Tabel 5.1. En bijna tegelijkertijd (slechts een half uur later) wordt eveneens het meerpeil verhoogd naar gewenst niveau. Dit gebeurt middels een open rand (met randvoorwaarde waterstand) langs de gehele Afsluitdijk. Verder is t.b.v. hoge debieten de bodemligging nabij de open randen (Ommen en Afsluitdijk) verlaagd zodat het debiet makkelijk kan passeren.

5.3 Resultaten

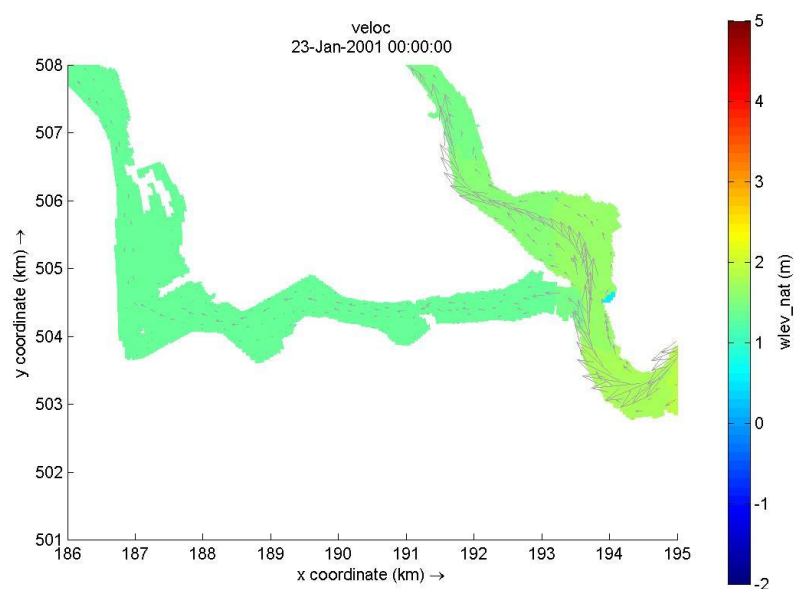
5.3.1 Begintoestand

De initiële condities zijn correct aangemaakt, het meerpeil en de afvoer in het systeem zijn goed voor de start van de testsimulaties. In de bo2 en bo3 simulaties met hoge afvoer is al een waterstandsgradiënt in het IJsselmeer, echter de berekende waterstanden nabij Den Oever, Kornwerderzand en midden in het IJsselmeer hebben een foutmarge van ± 1 cm t.o.v. het initiële meerpeil (Tabel 5.1). Er zijn kleine afrondingsfouten waardoor de totale netto waterbalans in het systeem niet 0 is, echter de totale volumefout veroorzaakt slechts $\pm 0,1$ mm afwijking in het meerpeil.

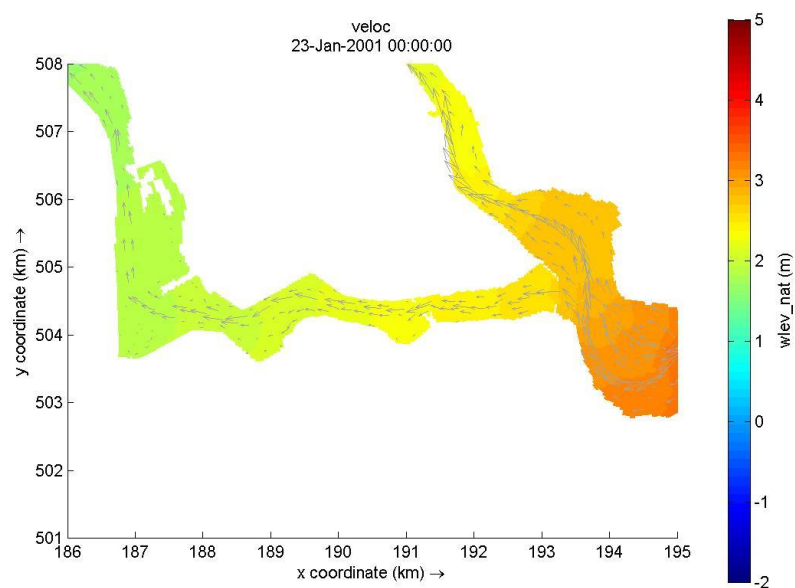
De initiële waterstand langs de IJssel wordt getoond in Figuur 5-3. De invloed van het meerpeil op de waterstandsgradiënt langs de IJssel is afhankelijk van de afvoer. Hoe lager de afvoer, hoe verder loopt de invloed van het meerpeil door naar bovenstrooms. Alhoewel het meerpeil in bo3 en bo4 1,7 m lager is dan het peil in bo1 en bo2, zijn de waterstanden bij Katerveer bijna vergelijkbaar bij simulaties met hoge afvoer (bo2 en bo3), terwijl de waterstand verschilt tot aan Olst in de simulaties met lage afvoer (scenario bo1 en bo4). Het Reevediep in bo4 start zonder actieve stroming, echter in de bo1-bo3 simulaties is er bij de start daar al wel veel stroming (Figuur 5-4 t/m Figuur 5-7).



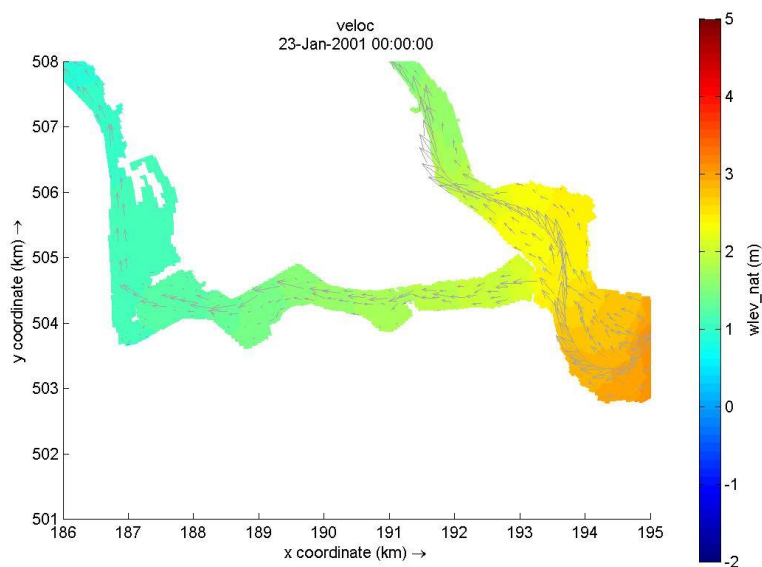
Figuur 5-3 Initiële waterstanden langs de IJssel voor alle testberekeningen.



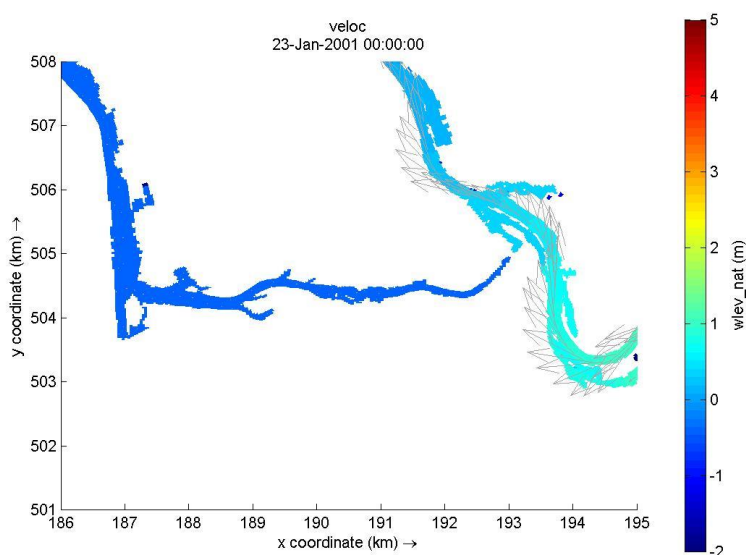
Figuur 5-4 bo1 initiële conditie (waterstand en stroomsnelheid (grijs)) in Reevediep.



Figuur 5-5 bo2 initiële conditie (waterstand en stroomsnelheid (grijs)) in Reevediep.

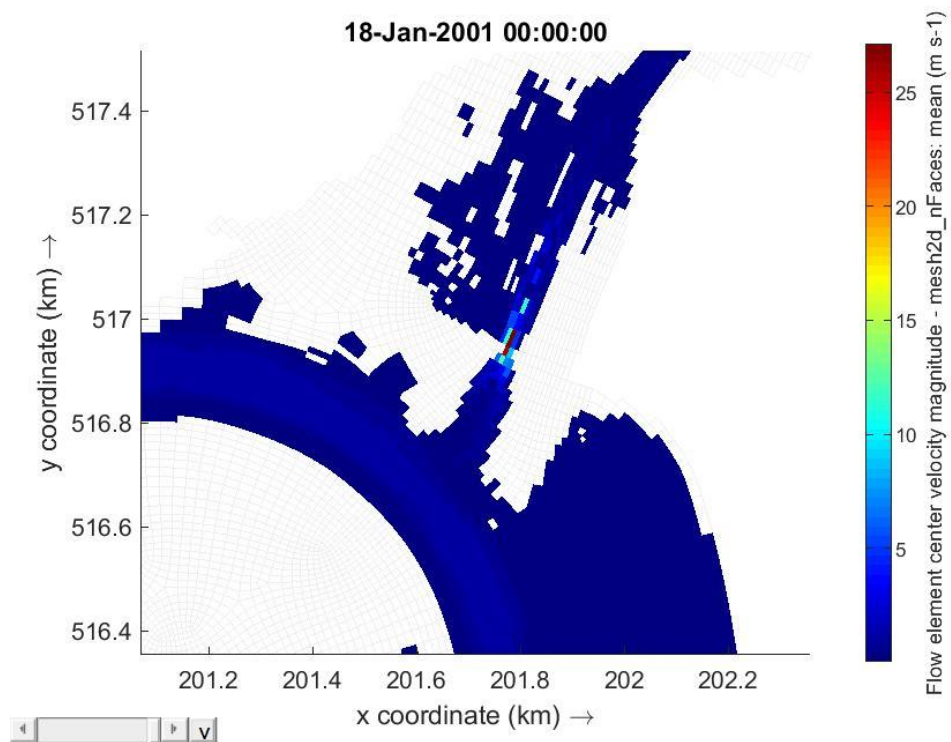


Figuur 5-6 bo3 initiële conditie (waterstand en stroomsnelheid (grijs)) in Reevediep.

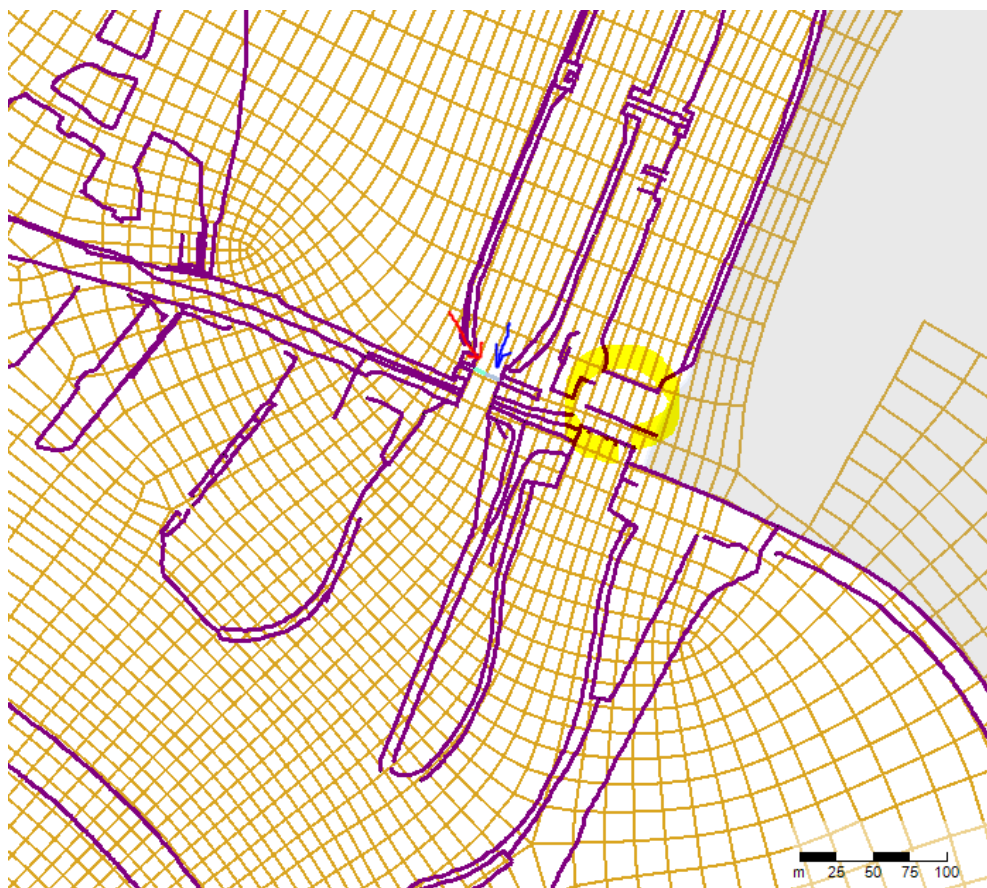


Figuur 5-7 bo4 initiële conditie (waterstand en stroomsnelheid (grijs)) in Reevediep.

Zelfs in de initiële simulatie zijn er problemen met de rekentijd. Dit wordt veroorzaakt door de stroomsnelheid door gemaal Zedemuden op het Zwarte Water (Figuur 5-8). Dit is al aangemeld tijdens de ontwikkeling van het Overijsselse Vecht model [3]. Achteraf blijkt dat de snelheden nabij een pomp ordes te hoog worden berekend in de software. Overigens is in deze testberekeningen de pomp gesitueerd direct naast de Meppelerdiepsluis vanwege ontbrekende functionaliteit gerelateerd aan pompen in D-HYDRO, (Figuur 5-9). Een manier om dit knelpunt voorlopig te vermijden is -conform wat is gedaan voor de validatie met historische stormperiodes- door het gehele Meppelerdiep te verwijderen en het debiet op te leggen als lateraal (zoals het nu in WAQUA is opgenomen) nabij Zwartsluis. Voor deze testberekeningen is de traagheid van de berekening net acceptabel, en is de originele Baseline schematisatie behouden.



Figuur 5-8 Stroomsnelheid bij Zwartsluis (snelheden < 1cm/s worden niet getoond). De hoge snelheid in rood is op de plek waar gemaal Zedemuden is gesitueerd.



Figuur 5-9 D-HYDRO schematisatie nabij Zwartsluis. In paars de vaste overlaten, groen en blauw (aangewezen met rode en blauwe pijl) de kunstwerken van gemaal Zedemuden respectievelijk de Meppelerdiepsluis. Geel gemarkeerd de locatie waar het gemaal in werkelijkheid ligt.

5.3.2 Testsimulaties bo1, bo2 en bo3

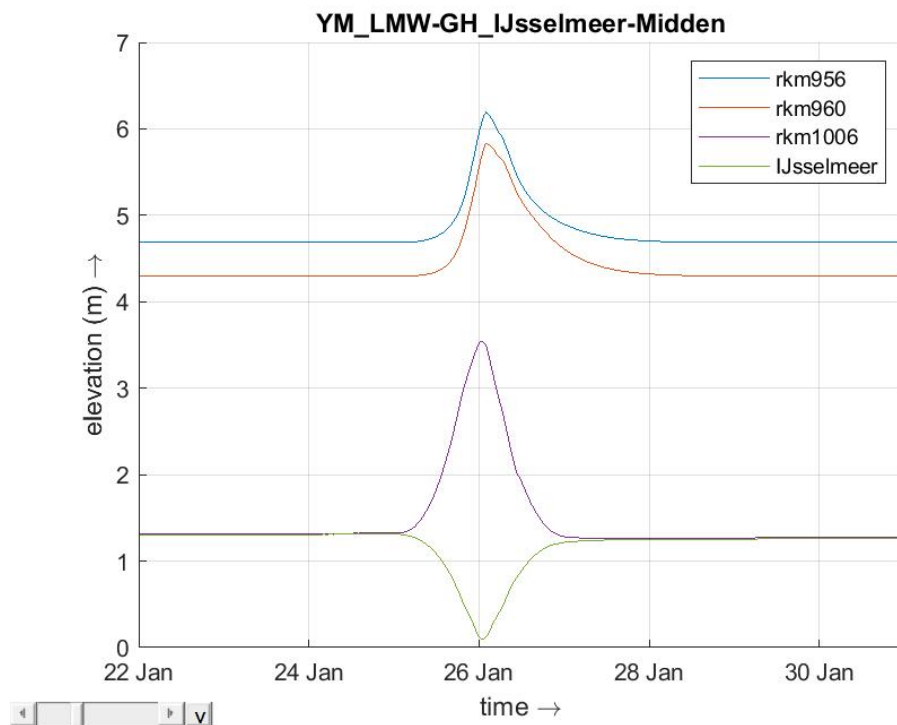
Er zijn veel kunstwerken in het IJVD model: 3 stuwen op de Vecht (Stuw Vilsteren, Plaggenmars en Stuw Vechterweerd), sluisdeuren en een pomp bij Zwartsluis (Meppelerdiepsluis en gemaal Zedemuden), hefdeur bij Kadoelen (Kadoelerkeersluis), 3 balgen bij Ramspol, en 60 kleppen bij inlaat Veessen-Wapenveld.

Tabel 5.2 toont de normale toestand (default), initiële en maximale toestand van elk kunstwerk in de simulaties. De Ramspolkering is open in bo3 ondanks de hoge waterstand in het Ketelmeer omdat de stroomrichting altijd westwaarts is. Kadoelen is dicht als gevolg van het hoge peil in het Zwarte Meer, maar gaat open rond de stormpiek in bo1 en bo2 (ongeveer 6 resp. 18 uur) aangezien de waterstand benedenstrooms zakt tijdens de sluiting van de Ramspolkering. In bo2 en bo3 zijn de kleppen van de inlaat bij Veessen-Wapenveld al open vanaf het begin van de simulatie als gevolg van de hoge afvoer.

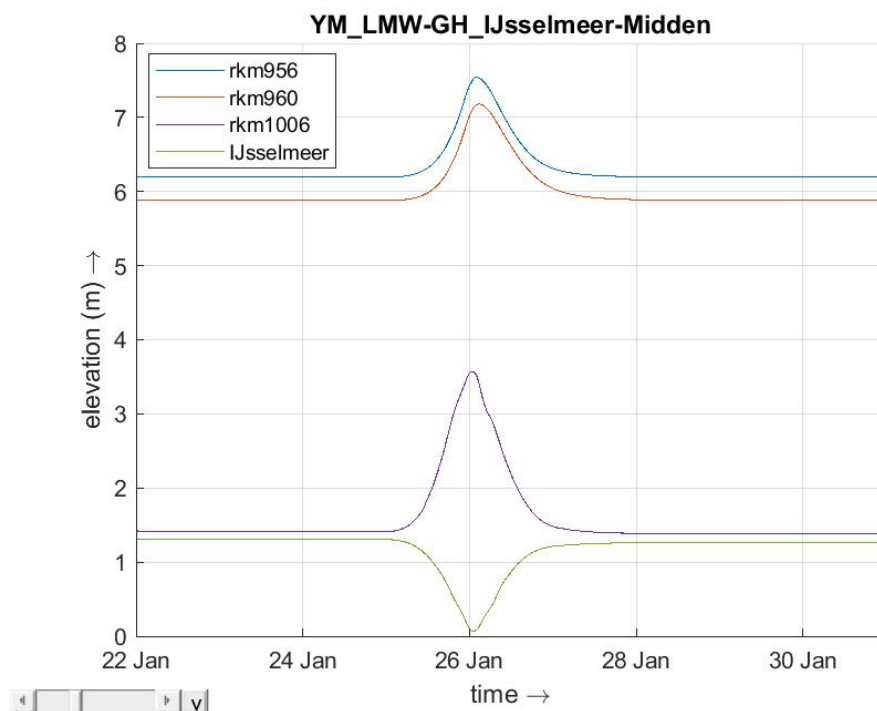
Tabel 5.2 Toestand van de kunstwerken. Plaggenmars werkt vergelijkbaar Stuw Vilsteren tijdens hoog water; gemaal Zedemuden is actief als de Meppelerdiepsluis gesloten is i.g.v. hoge afvoer (hoge waterstand op Meppelerdiep.

		Vilsteren	Vechterweerd	Meppelerdiep- sluis	Kadoelen	Ramspolkering	Veessen- Wapenveld
default		PID	PID	open	open	open	dicht
bo1	Ini	open	open	dicht	dicht	open	dicht
	peak	open	open	dicht	open	dicht	open
bo2	Ini	open	Open	dicht	dicht	open	open
	peak	open	Open	dicht	dicht	dicht	open
bo3		open	Open	dicht	open	open	open

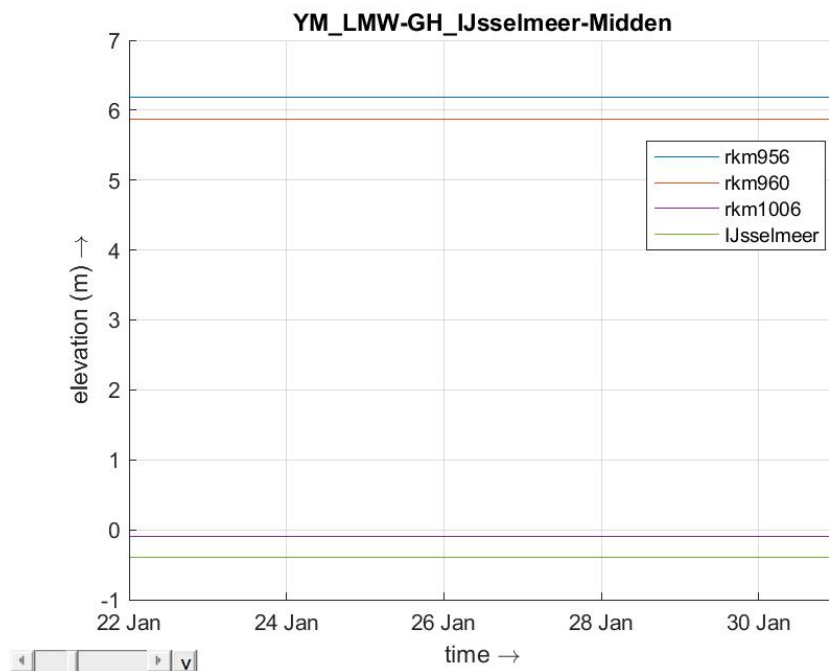
Figuur 5-10 t/m Figuur 5-12 tonen de waterstanden op de IJssel en het IJsselmeer gedurende de de simulatie van de drie scenario's (bo1-bo3). De op- en afwaaiing is zoals verwacht op de rivier en in het meer in bo1 en bo2. Simulatie bo3 is een stationaire simulatie zonder wind en laat daarom constante waterstanden zien. In Figuur 5-13 wordt de maximale waterstand getoond langs de IJssel, in Figuur 5-14 worden initiële- en topwaterstanden vergeleken. Het effect van de wind op de waterstandsstijging is afhankelijk van de afvoer. De opwaaiing varieert van 1,5 m tot 2,3 m in bo1 en van 1,0 m tot 2,2 m in bo2. De opwaaiing bij Olst is in bo1 1,4 m en in bo2 1,3 m, dus weinig verschil. Het effect van wind is in bo1 het grootst nabij de inlaat van Reevediep. Ook laat het effect 5 km bovenstrooms van die inlaat een scherpe stijging zien (Figuur 5-14). Het is aan te bevelen dit nader te analyseren.



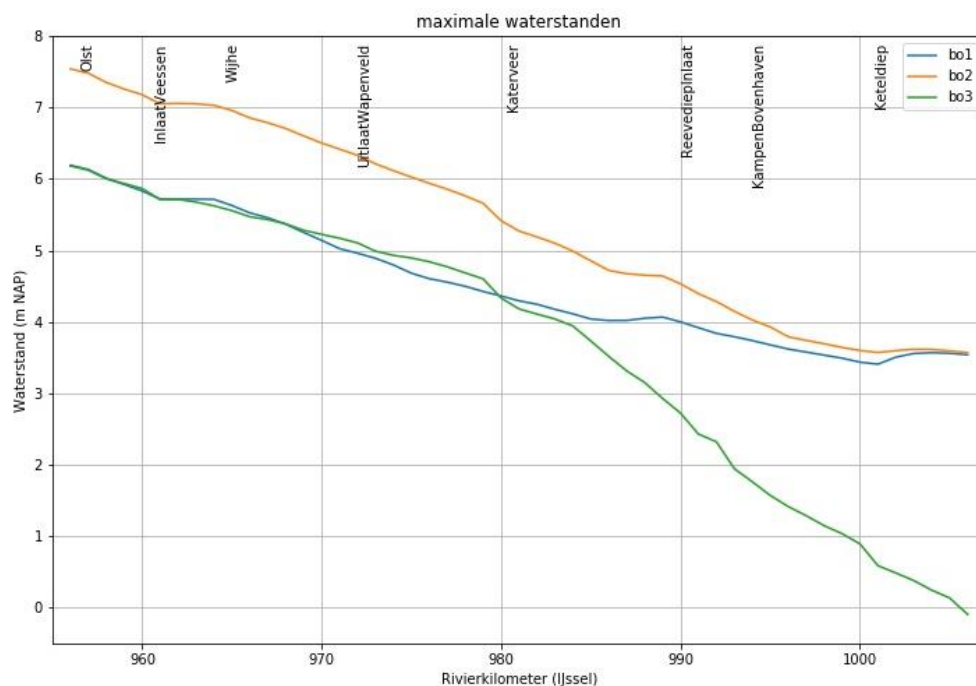
Figuur 5-10 bo1 waterstanden op rivierkilometers (rkm) 956 (Olst), 960 (Inlaat Veessen boven) en 1006 (einde Keteldiep), en in het midden van het IJsselmeer bij de oorspronkelijke locatie van meetpaal FL47.



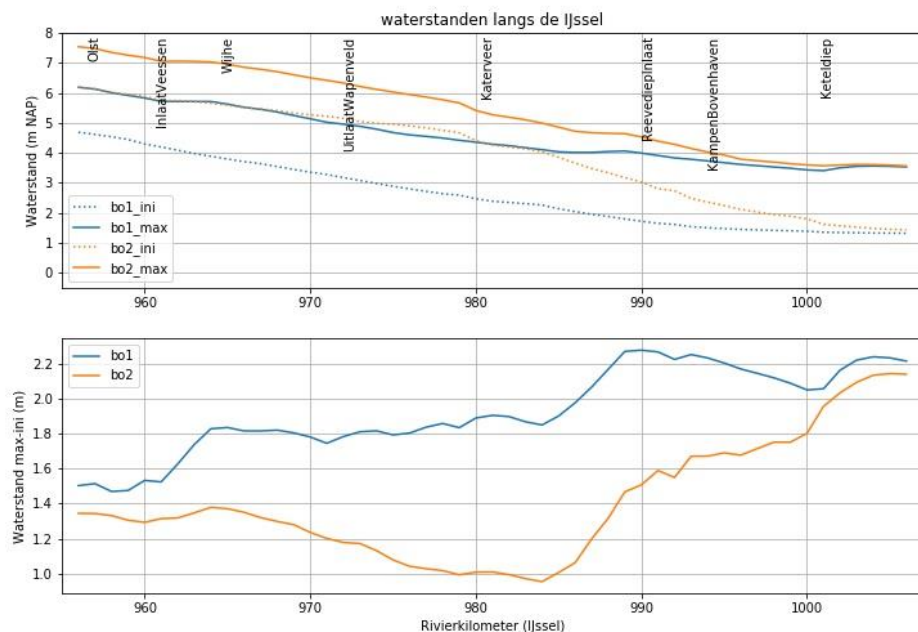
Figuur 5-11 bo2 waterstanden op rivierkilometers (rkm) 956 (Olst), 960 (Inlaat Veessen boven) en 1006 (einde Keteldiep), en in het midden van het IJsselmeer bij de oorspronkelijke locatie van meetpaal FL47.



Figuur 5-12 bo3 waterstanden op rivierkilometers (rkm) 956 (Olst), 960 (Inlaat Veessen boven) en 1006 (einde Keteldiep), en in het midden van het IJsselmeer bij oorspronkelijke locatie van meetpaal FL47. Steady state simulatie.



Figuur 5-13 Maximale waterstand langs de IJssel. De waterstand in bo3 is hetzelfde als in Figuur 5-3 omdat dat een stationaire berekening zonder wind is.

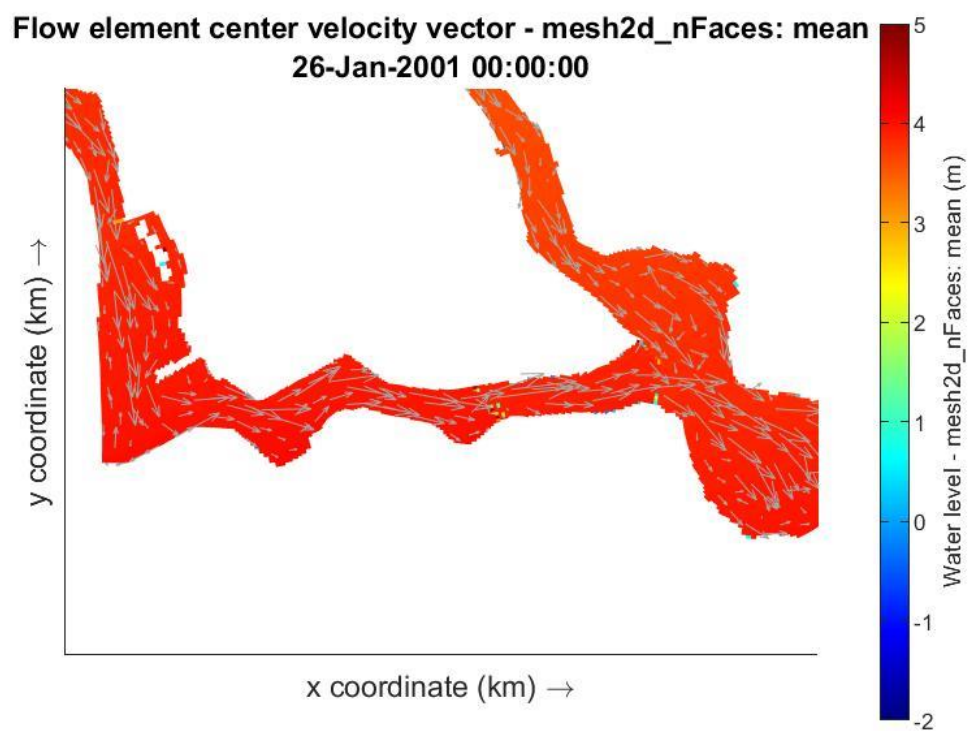


Figuur 5-14 De initiële waterstand (stippellijn) en de maximum waterstand (doorgetrokken lijn) langs de IJssel in bo1 en bo2 simulaties (boven), en het verschil (maximum waterstand min initiële waterstand) (onder).

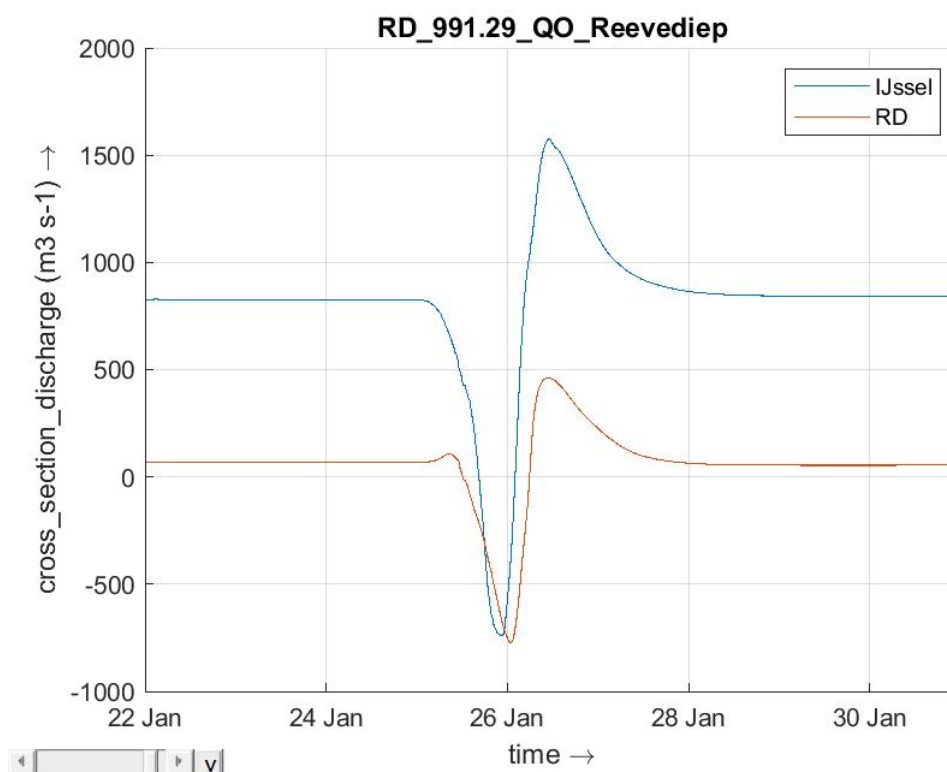
In bo1 stroomt het water in zowel het Reevediep als de IJssel in tegengestelde richting (Figuur 5-15 en Figuur 5-16), echter in bo2 is deze tegengestelde richting alleen in het Reevediep te zien (Figuur 5-17 en Figuur 5-18). In bo3 is de afvoer in de IJssel 2160 m³/s, het overige debiet van 524 m³/s stroomt door het Reevediep (Figuur 5-19). Resultaat met de eerdere WAQUA studie (model waqua-ym_ijvd_ov-hr2017_5-v4) voor bo3 was 2162 m³/s resp. 522 m³/s [8], dus de resultaten van beide modellen zijn vergelijkbaar voor de stationaire berekening.

In tegenstelling tot bo2 en bo3, zijn de inlaten van Veessen-Wapenveld gesloten bij het begin van de bo1 simulatie. Nog voordat deze openen, stroomt door opwaaiing het retentiegebied vol vanuit de benedenstroomse zijde, en door wind komt het water tot bijna achter de inlaten (Figuur 5-20). Net daarvoor openen de inlaten, en de stroomrichting in de nevengeul draait snel om.

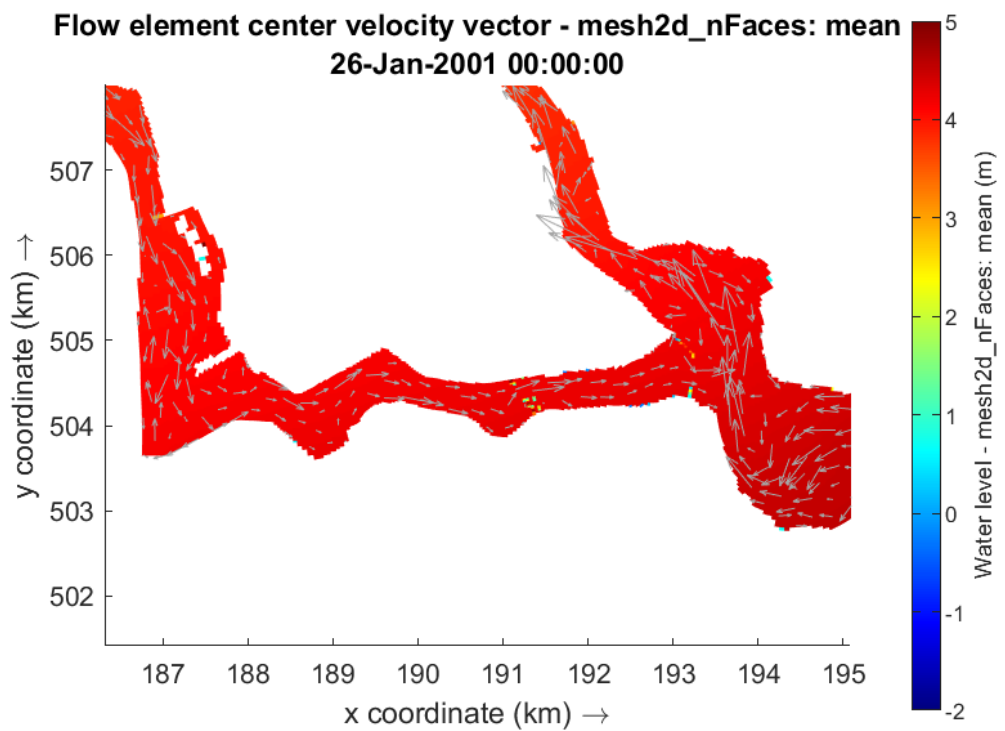
Het Kampereiland is bijna geheel overstroomd vanuit het Ketelmeer in bo1 nadat de Ramspolkering is gesloten (Figuur 5-21). Het is al deels overstroomd in bo2 bij de initiële conditie ten gevolge van hoge afvoer en hoog meerpeil, en het gebied stroomt volledig vol tijdens de storm (Figuur 5-22 en Figuur 5-23). In beide simulaties daalt de waterstand in het Kampereiland snel als de Ramspolkering weer open gaat.



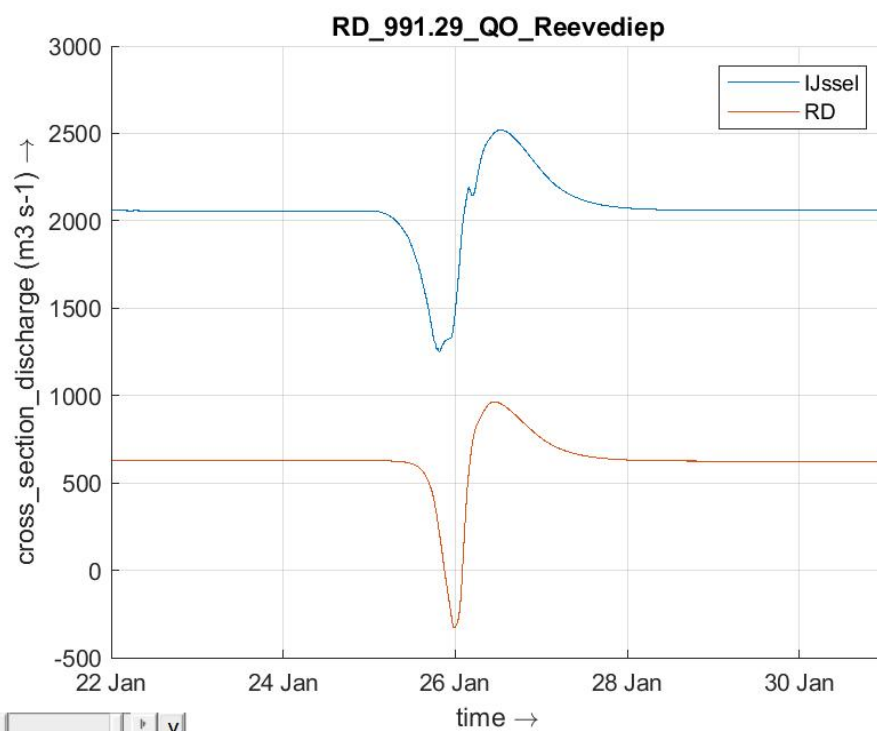
Figuur 5-15 bo1 waterstand en stroming tijdens stormpiek in Reevediep.



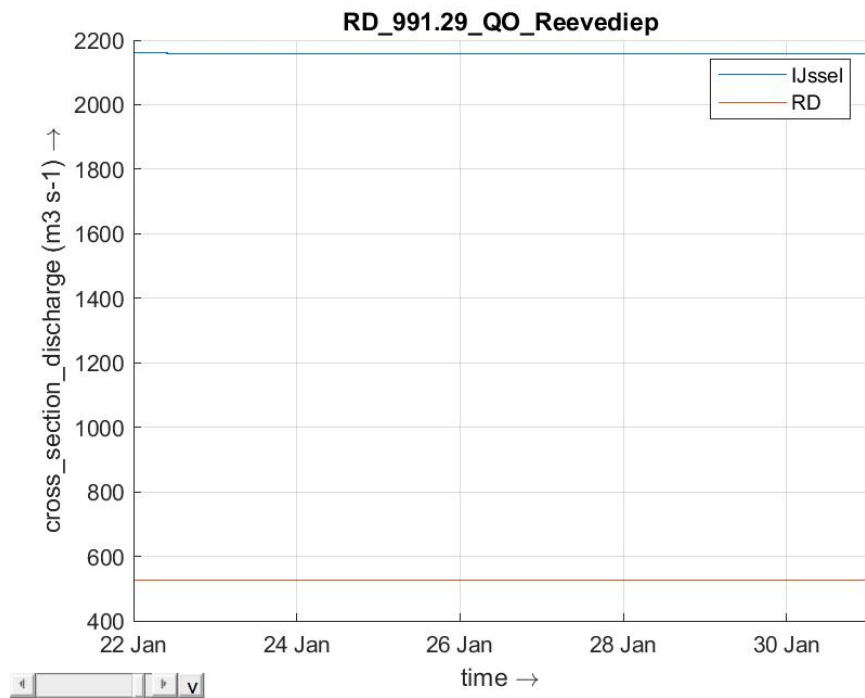
Figuur 5-16 Debiet in IJssel (crossectie op IJssel benedenstrooms inlaat) en in inlaat Reevediep in bo1.



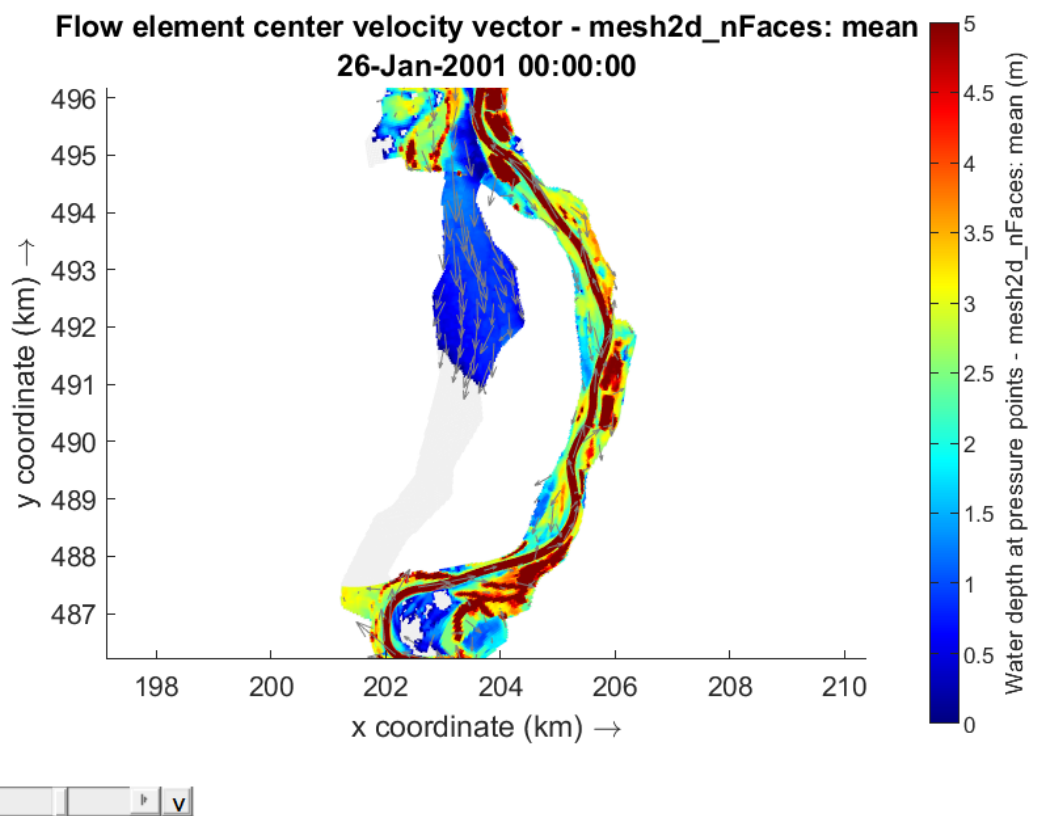
Figuur 5-17 *bo2 waterstand en stroming tijdens stormpiek in Reevediep.*



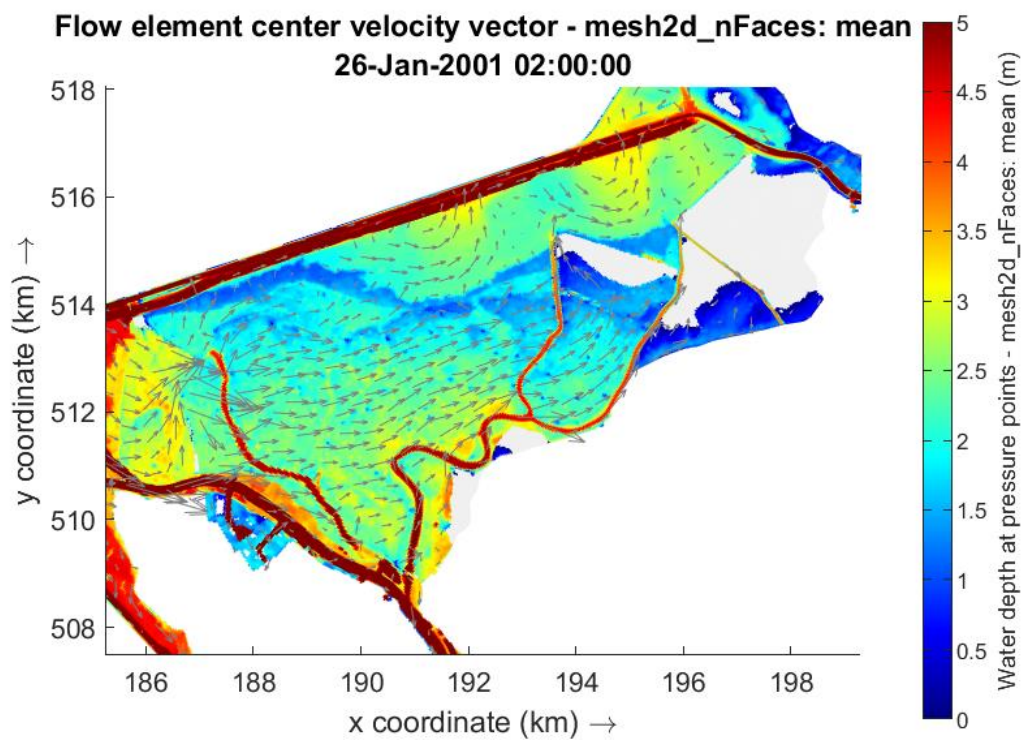
Figuur 5-18 *Debiet in IJssel en Reevediep in bo2.*



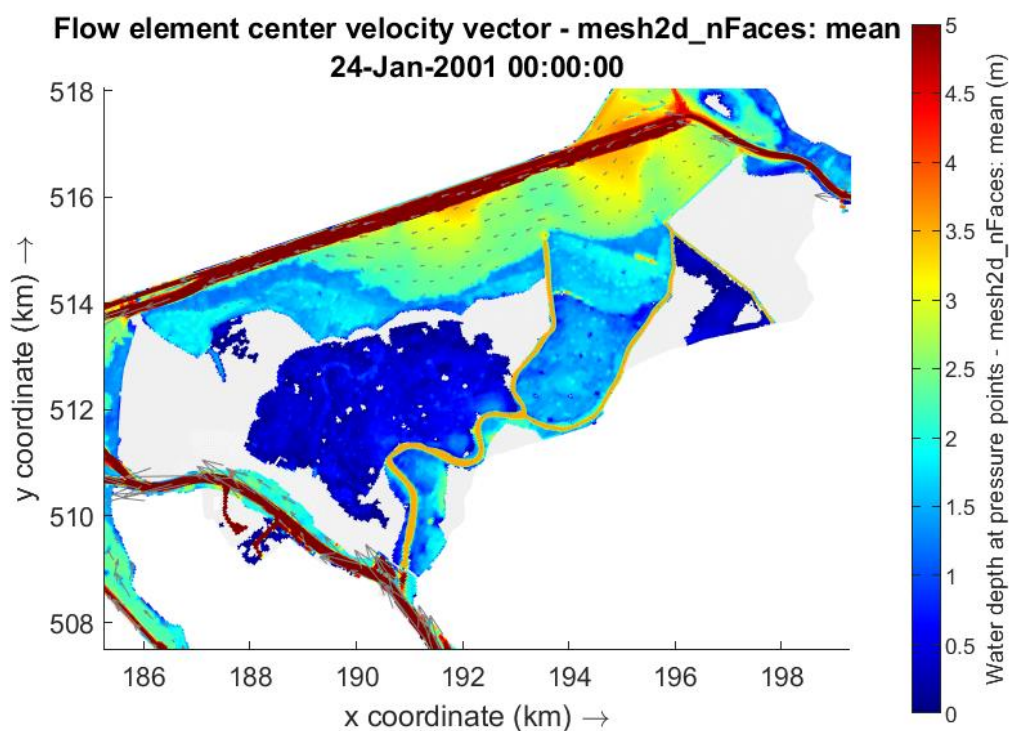
Figuur 5-19 Debiet in IJssel en Reevediep in bo3; steady-state simulatie, geen wind.



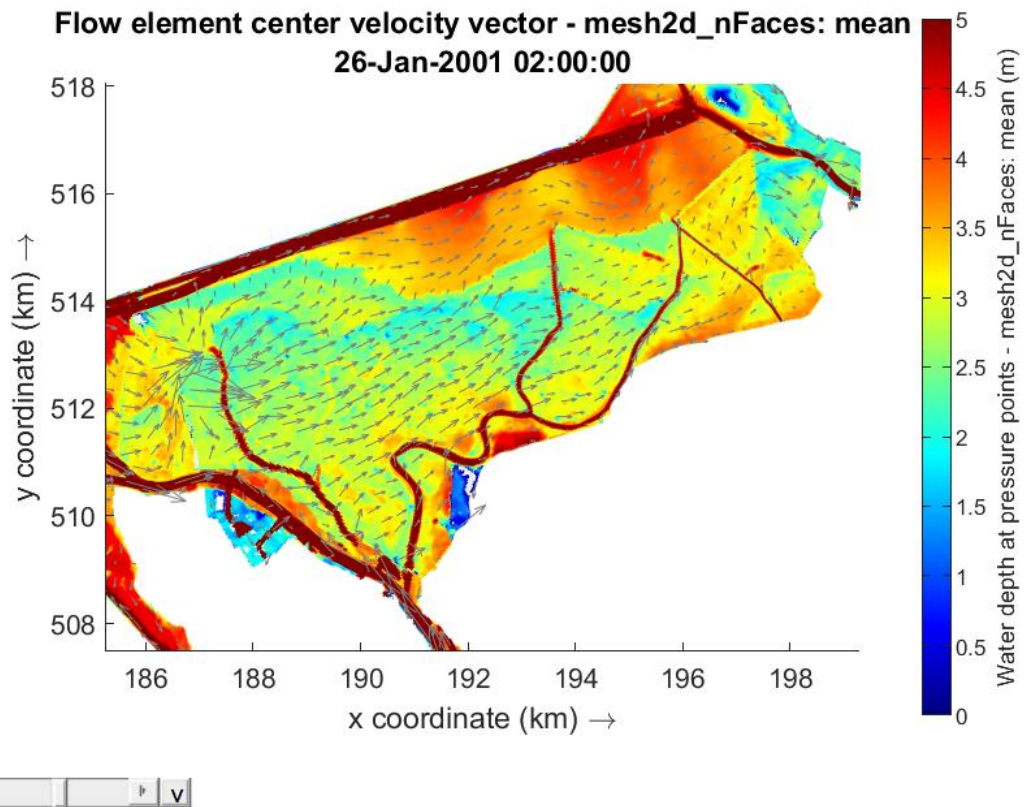
Figuur 5-20 bo1 waterdiepte en stroming tijdens stormpiek in nevengeul Veessen-Wapenveld. De inlaatkleppen Veessen-Wapenveld zijn nog niet open.



Figuur 5-21 bo1 waterdiepte en stroming tijdens stormpiek op het Kampereiland.



Figuur 5-22 bo2 initiële waterdiepte en stroming op het Kampereiland.

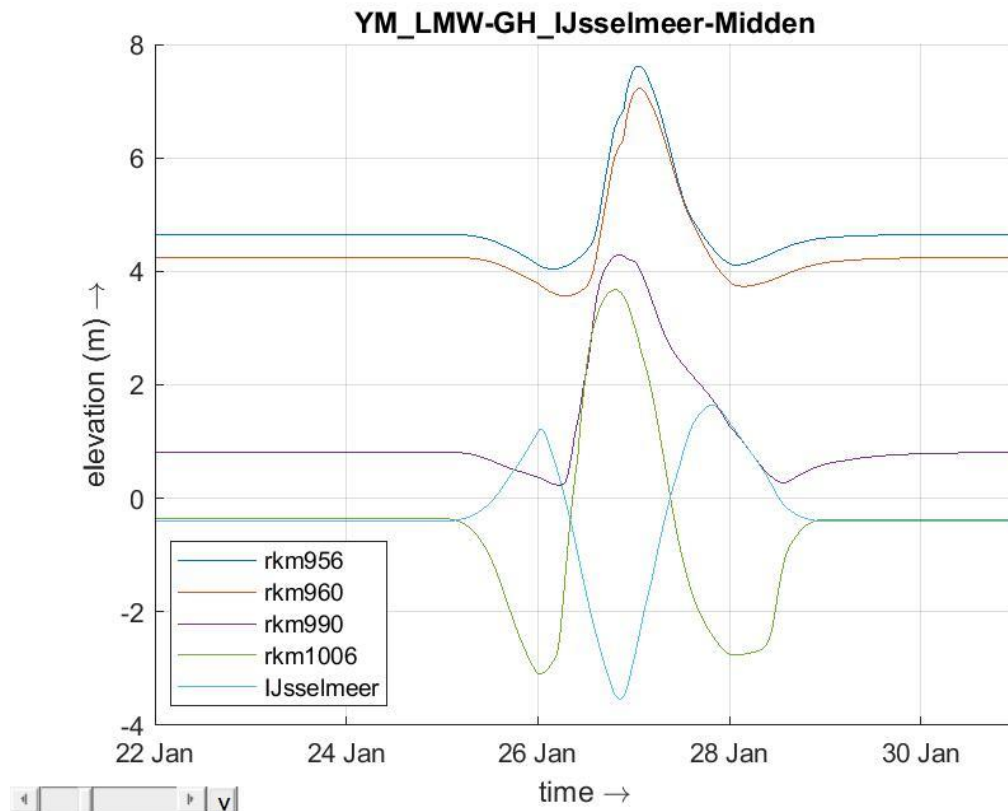


Figuur 5-23 bo2 waterdiepte en stroming tijdens stormpiek op het Kampereiland.

5.3.3 Testsimulatie bo4 model robuustheid

Zowel de windsnelheid als de windrichting die is toegepast in scenario bo4 is onrealistisch. Het doel van deze randvoorwaarden is het testen van de robuustheid van het systeem, de Vecht en het Zwarte Water zijn extra onderzocht t.o.v. de bo1-bo3 simulaties.

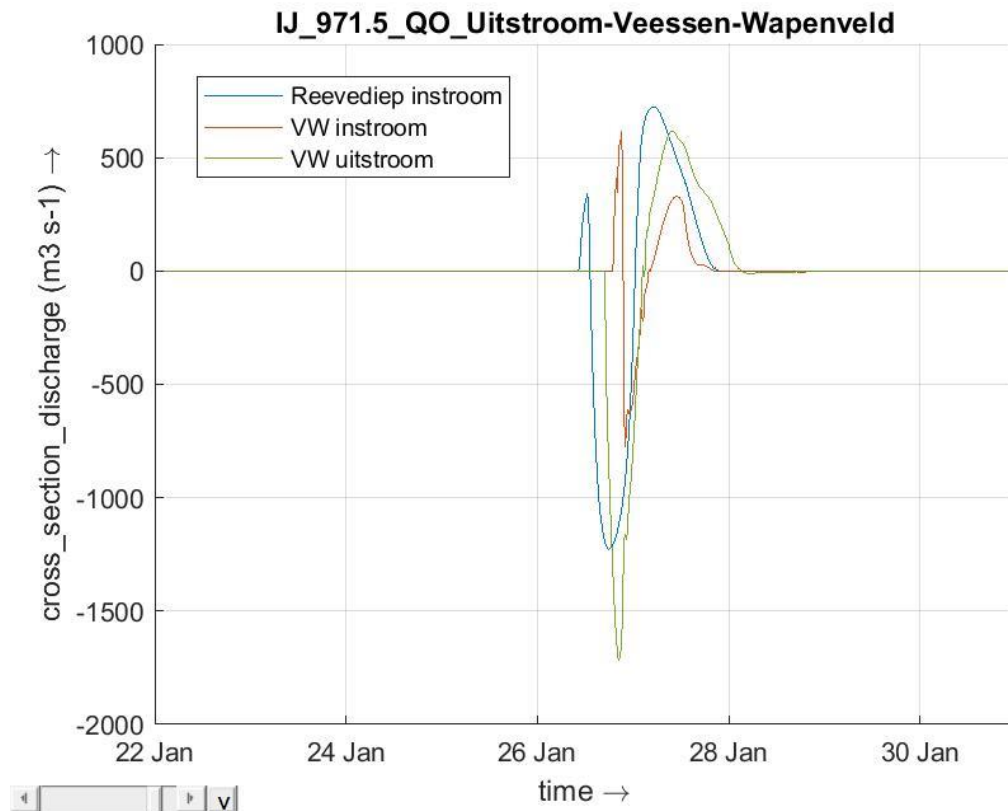
Zoals verwacht kan een 360° draaiende wind een golf in de waterstand veroorzaken in het IJsselmeer, welke begint vanaf het moment dat de draaiing start (Figuur 5-24; de locatie IJsselmeer-midden ligt in de noordelijke helft van het IJsselmeer tussen Workum en Oude Zeug). Ook waterstanden langs de IJssel hebben (met enige vertraging) vooral opwaaiing bij noordelijke windcomponenten.



Figuur 5-24 bo4 waterstanden op rivierkilometers (rkm) 956 (Olst), 960 (Inlaat Veessen boven), 990 (Inlaat Reevediep), 1006 (einde Keteldiep), en IJsselmeer-Midden.

De instroming van de IJssel naar het Reevediep treedt op nadat de waterstand op de IJssel (rkm990) boven 1.5 m NAP komt, echter doordat de wind uit het westen komt, keert de stroomrichting bij de inlaat snel om (Figuur 5-25). De stroomrichting verandert nogmaals als de wind uit het noorden komt.

De nevengeul Veessen-Wapenveld stroomt vol vanuit het noorden (Figuur 5-25). Vervolgens, ongeveer 2 uur later, bereikt de golf de inlaat bovenstrooms en gaan de kleppen open. N.B. het debiet door de nevengeul Veessen-Wapenveld (veroorzaakt door wind) is soms hoger dan het IJsseldebiet, het debiet door de inlaten is soms negatief gedurende enkele uren. Nadat de wind draait van Noord naar Oost, is de stroming bovenstrooms de inlaten weer gedomineerd door de IJssel.

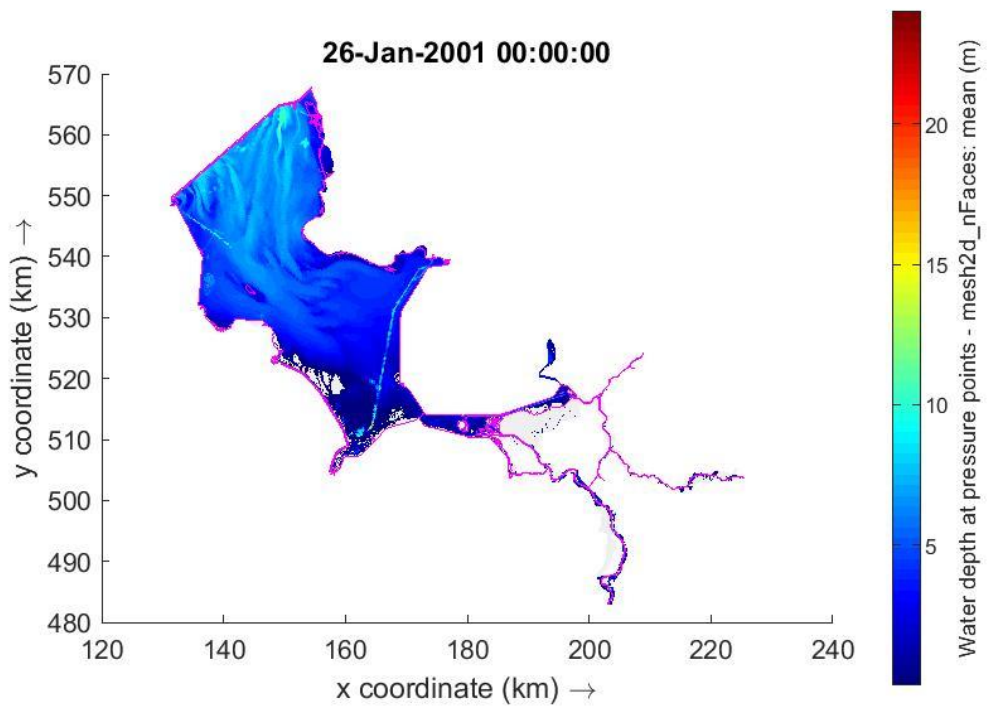


Figuur 5-25 bo4 debiet bij Reevediep instroom, Veessen-Wapenveld instroom en Veessen-Wapenveld uitstroom.

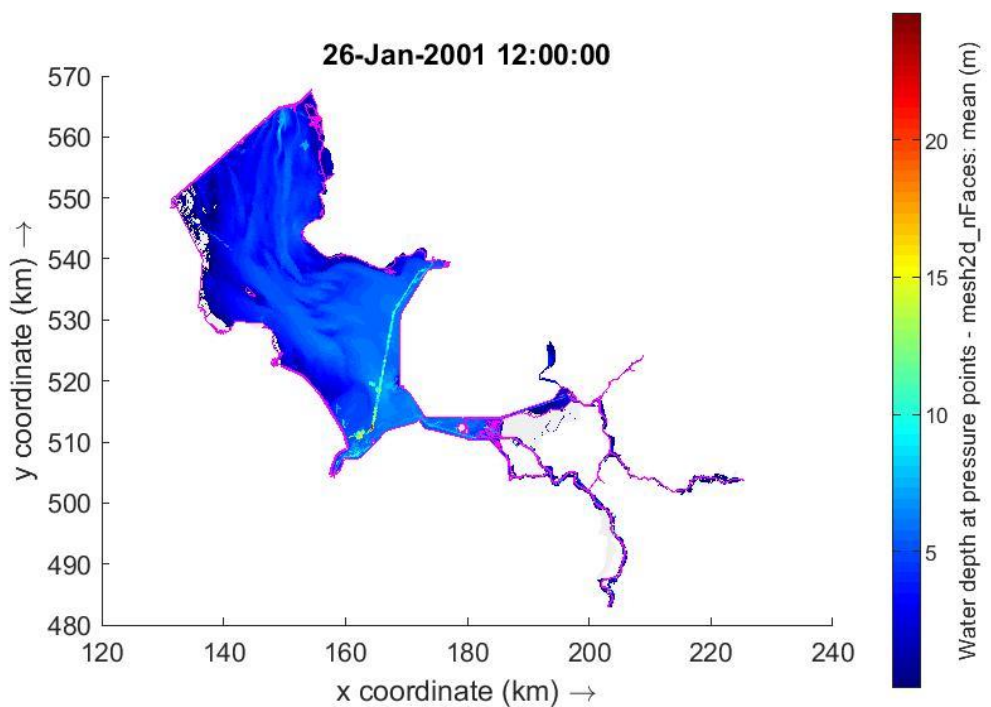
Als gevolg van de zeer extreme wind vallen langs de oever van het hele IJsselmeer grote delen droog (Figuur 5-26 t/m Figuur 5-29). Het tijdstip en de locatie van droogval hangen af van de windrichting. Zodra de omgeving van de spuicomplexen bij Den Oever en Kornwerderzand droogvallen, kan er uit de laterale bronnen voor de spuisluizen in de Afsluitdijk geen debiet meer worden onttrokken, dus zal de massabalans in het systeem verstoord worden. Hierdoor zal het meerpeil iets hoger zijn dan bij de start van de simulatie, het verschil blijkt echter slechts 5 mm in het midden van het IJsselmeer en is verwaarloosbaar.

Figuur 5-30 toont de waterstand in de 4 locaties (Den Oever, Houtribsluizen, Lemmer en Kornwerderzand) welke gebruikt worden om het meerpeil te bepalen, en in Figuur 5-31 is het berekende meerpeil op basis van gewogen gemiddelde te zien. De weegfactoren zijn 22%, 35%, 13%, 30%, deze weging wordt ook gebruikt in de operationele voorspelling. Het resultaat is grillig als gevolg van droogval⁴. Droogval bij Den Oever en Kornwerderzand is niet opgetreden in bo1 met 38,5 m/s NNW wind.

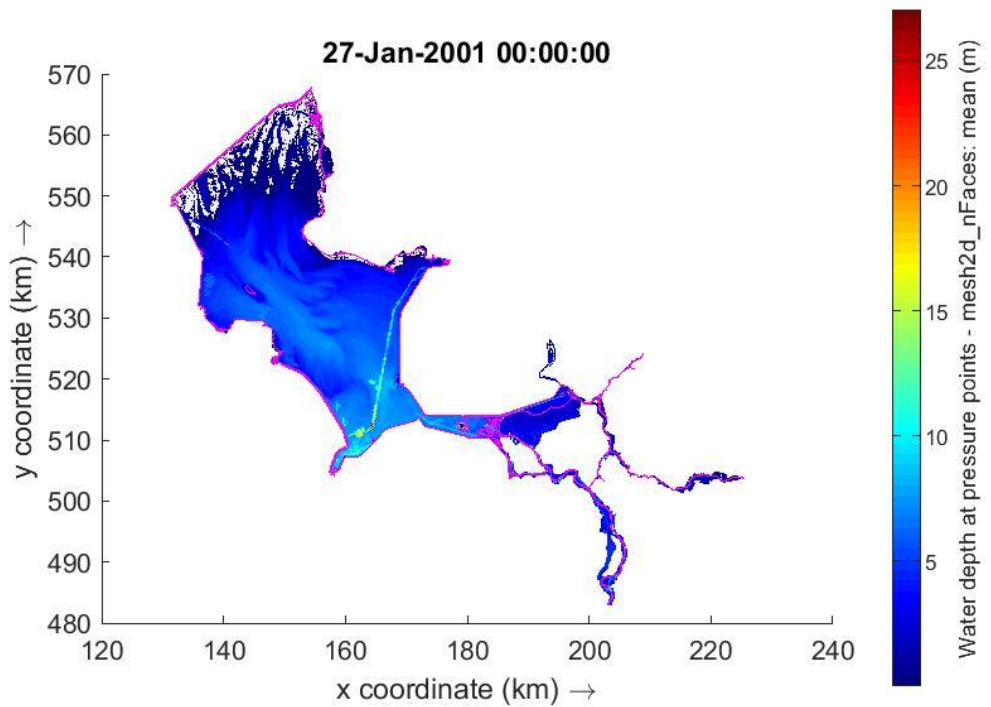
⁴ In geval van droogval (of uitval van stations) mogen de weegfactoren niet worden gebruikt.



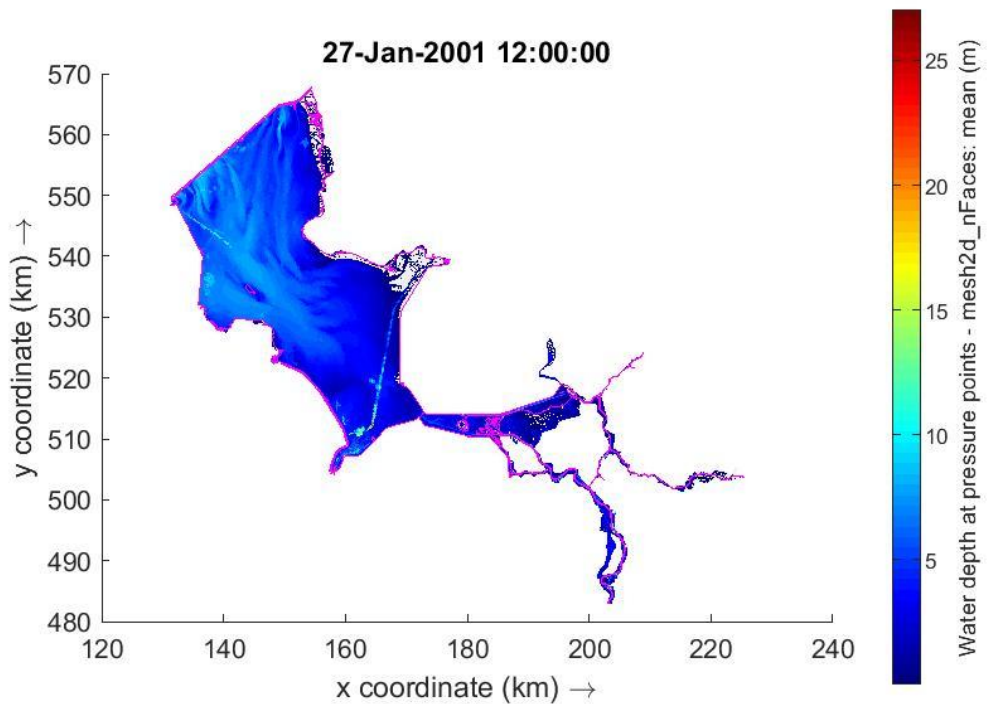
Figuur 5-26 Waterdiepte (>5mm) in het IJsselmeer. Windsnelheid maximaal (48m/s) en richting zuid. In zuiden IJsselmeer droogval, ook bij de Houtribsluizen.



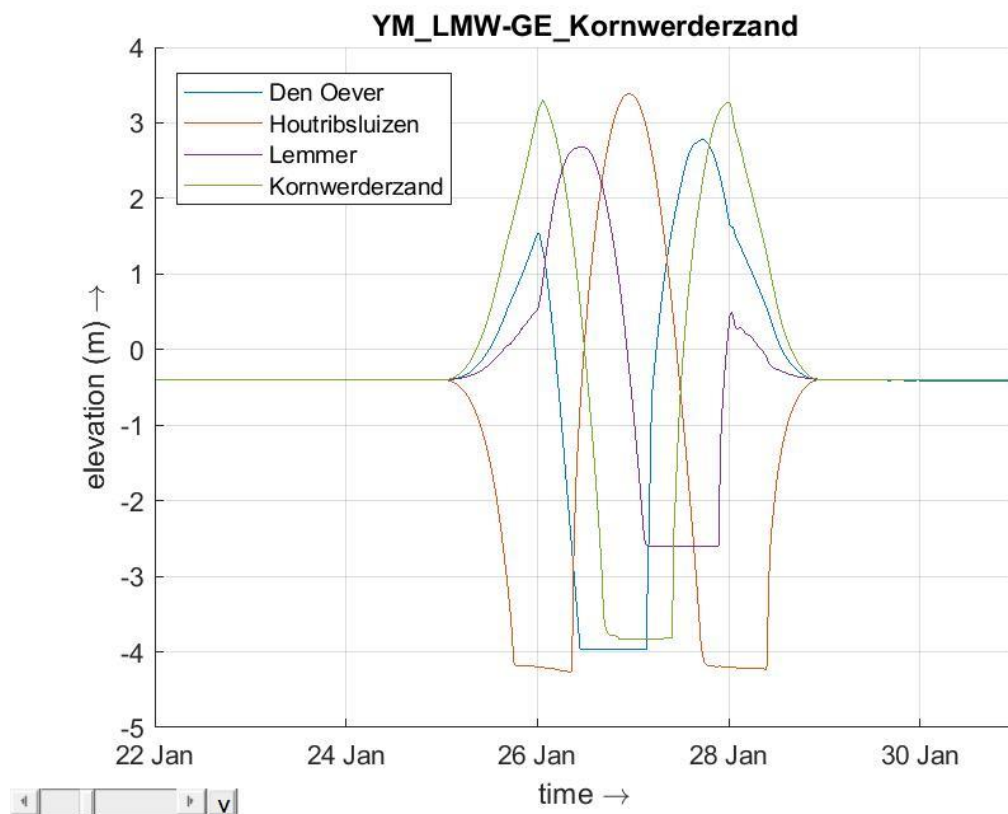
Figuur 5-27 Waterdiepte (>5mm) in het IJsselmeer. Windsnelheid maximaal (48m/s) en richting west. The laterale bron locaties bij Den Oever beginnen droog te vallen.



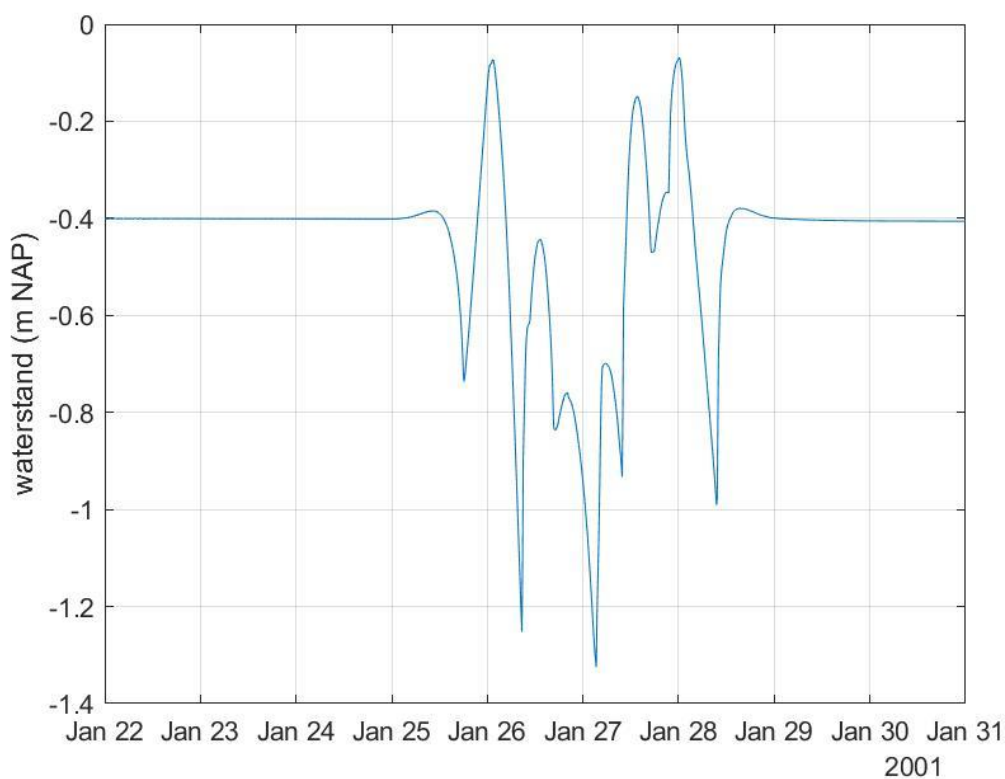
Figuur 5-28 Waterdiepte (>5mm) in het IJsselmeer. Windsnelheid maximaal (48m/s) en richting noord. Droogval langs de Afsluitdijk en bij Lemmer.



Figuur 5-29 Waterdiepte (>5mm) in het IJsselmeer. De windsnelheid maximaal (48m/s) en richting oost. Het noordoostelijke deel van het IJsselmeer is drooggevalen.



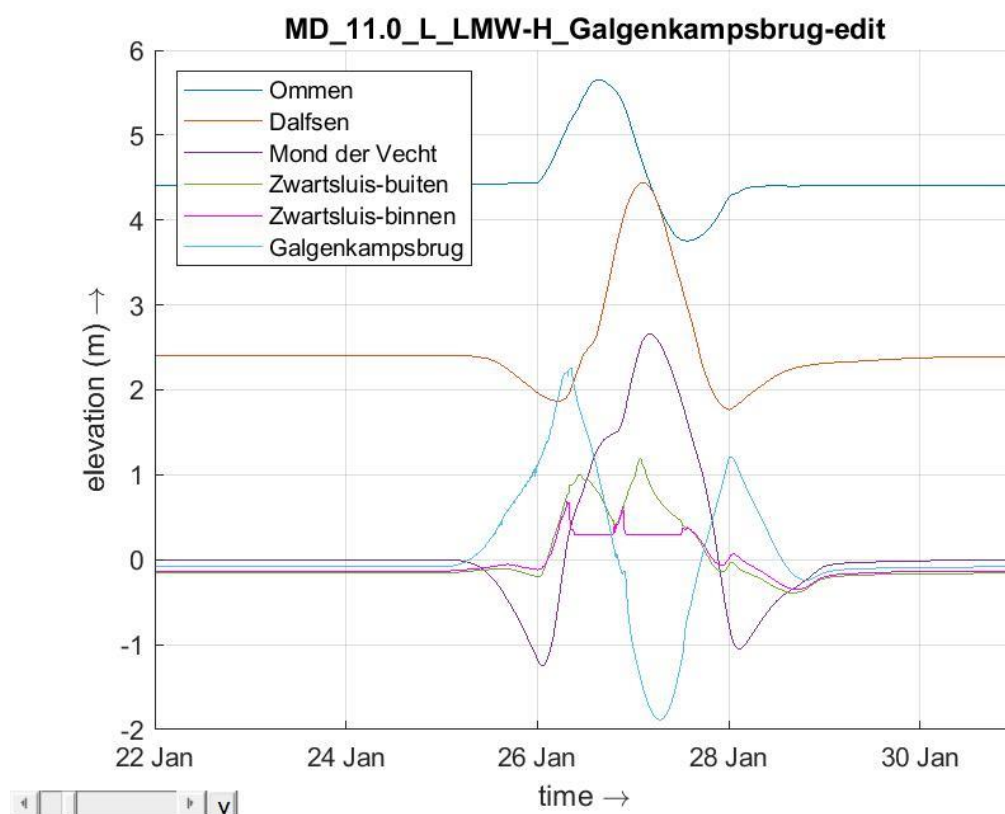
Figuur 5-30 Waterstanden voor Den Oever (YM_LMW-GE_Den-Oever), Houtribsluizen (YM_F340_IJsselmeerdijk), Lemmer (YM_L003_Lemsterbaai) en Kornwerderzand (YM-LMW-GE_Kornwerderzand) welke gebruikt worden voor bepaling meerpeil.



Figuur 5-31 Meerpeil o.b.v. gewogen gemiddelde van de 4 stations in Figuur 5-30.

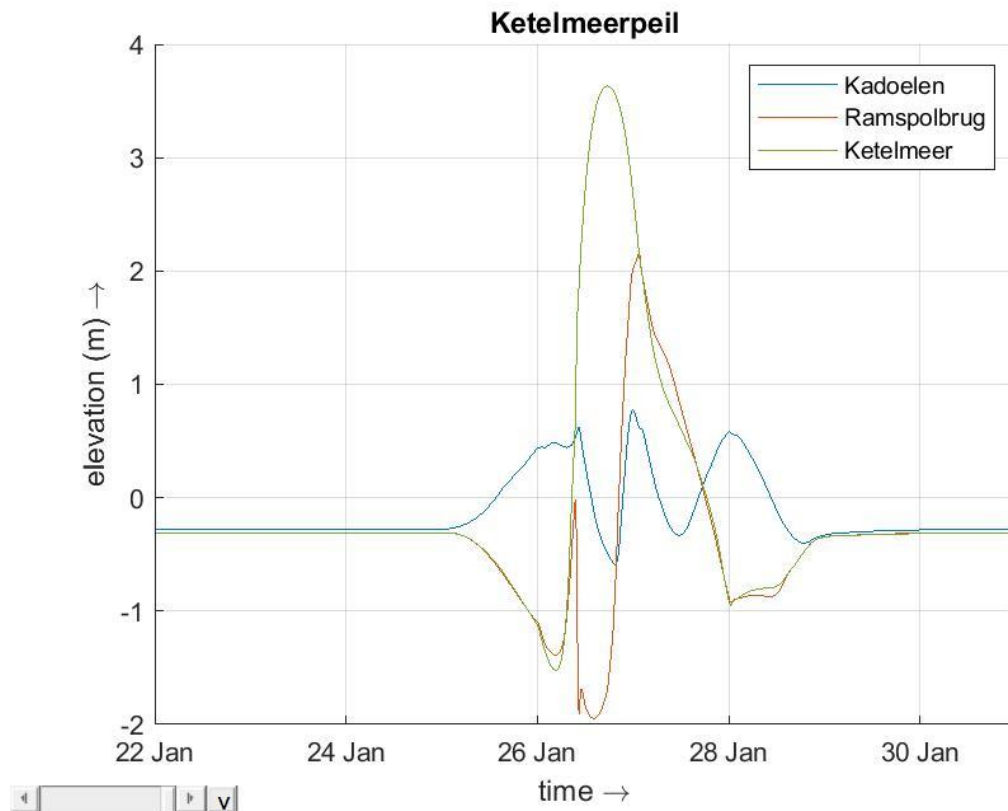
De waterstanden op de Vecht en het Zwarte Water hebben een vergelijkbaar verloop als die op de IJssel (Figuur 5-32).

Indien de Meppelerdiepsluis is gesloten, gaat dit systeem als een zelfstandig systeem fungeren. Galgenkampsbrug ligt noordoost in het Meppelerdiep, de waterstand aldaar doet het tegenovergestelde als bij de locatie Zwartsluis-binnen aan de zuidwest kant van het Meppelerdiep. De waterstanden bij Zwartsluis-buiten en -binnen zijn bijna hetzelfde totdat de Meppelerdiepsluis wordt gesloten als het peil bij Zwartsluis-binnen 0,47m NAP bereikt. Eenmaal gesloten, dan wordt het peil daar gereguleerd door gemaal Zedemuden met als streefpeil 0,3m NAP. De sluis gaat weer open als de waterstanden bij Galgenkampsbrug en Zwartsluis-buiten laag genoeg zijn: minder dan 0,55 m NAP resp. 0,45 m NAP. De Meppelerdiepsluis opent even rond 19:00 op 26 Jan, maar sluit 2 uur later weer aangezien het peil in het Meppelerdiep zakt terwijl het peil in het Zwarte Water nog steeds toeneemt. De Meppelerdiepsluis gaat weer open rond 13:00 op 27 Jan en blijft open.



Figuur 5-32 Waterstanden langs de Vecht, het Meppelerdiep en het Zwarte Water.

De Ramspolkering is gesloten tussen ca. 9:00 op 26 Jan tot 3:00 op 27 Jan als de waterstand op het Ketelmeer (Ramspol beneden) boven 0,5 m NAP komt, totdat het hoogteverschil over de kering positief wordt. De Kadoelerkeersluis sluit niet in deze testsimulatie (daarvoor is een waterstand hoger dan 1,0 m NAP benedenstrooms van de sluis nodig), het waterstandsverloop is anders dan bij de andere gebieden aangezien de stroming nogal stagnant is zie Figuur 5-33.



Figuur 5-33 Waterstand bij Kadoelen, Ramspolbrug (Ramspolkering boven) en Ketelmeer (Ramspolkering beneden).

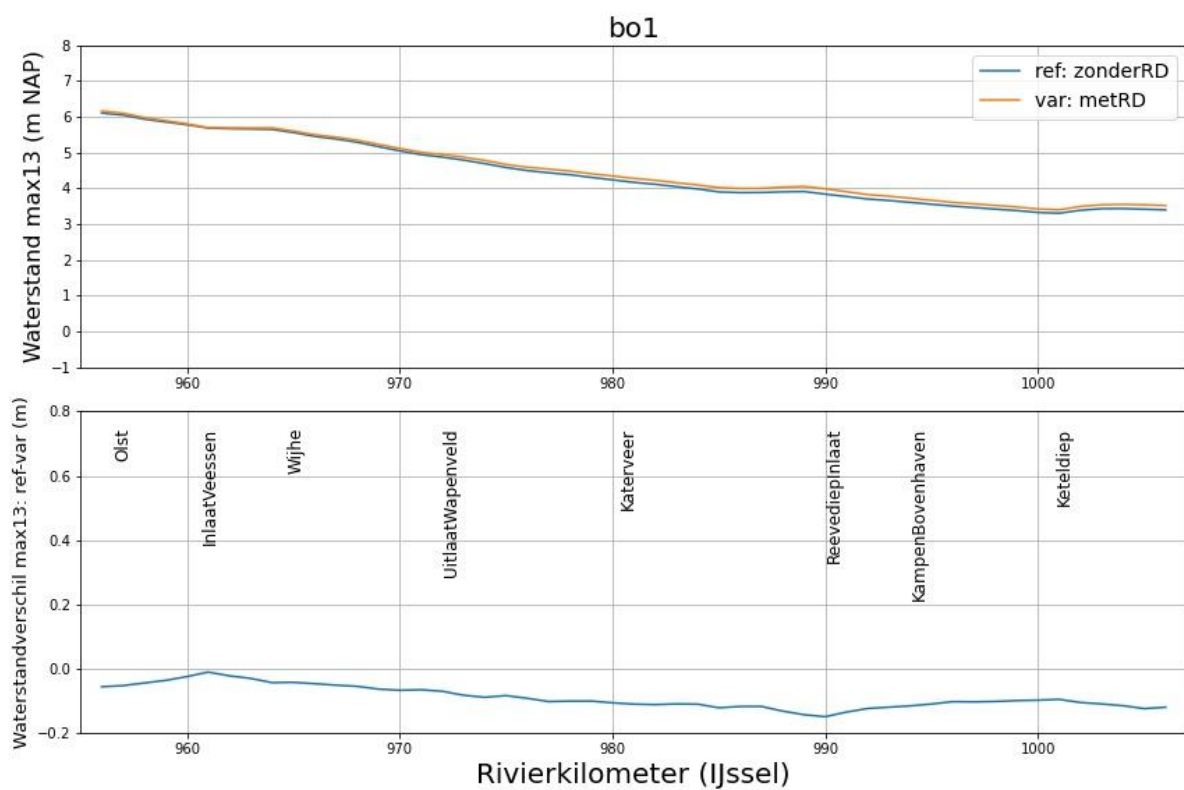
De modelresultaten zijn redelijk zelfs bij deze onrealistische wind omstandigheden. Alhoewel er droogval optreedt in het IJsselmeer, wat effect heeft op de laterale uitstroom bij Den Oever en Kornwerderzand, is er slechts een gering effect op het peil in het meer.

In dit scenario is de Meppelerdiepsluis alleen gesloten tijdens de maximale wind periode, dit in tegenstelling tot de bo1-bo3 scenario's waarin de sluis het grootste deel van de simulatie gesloten is en afvoer via het gemaal Zedemuden gebeurt. Dat is gunstig voor de rekestijd, bo4 draait het snelst van alle 4 berekeningen.

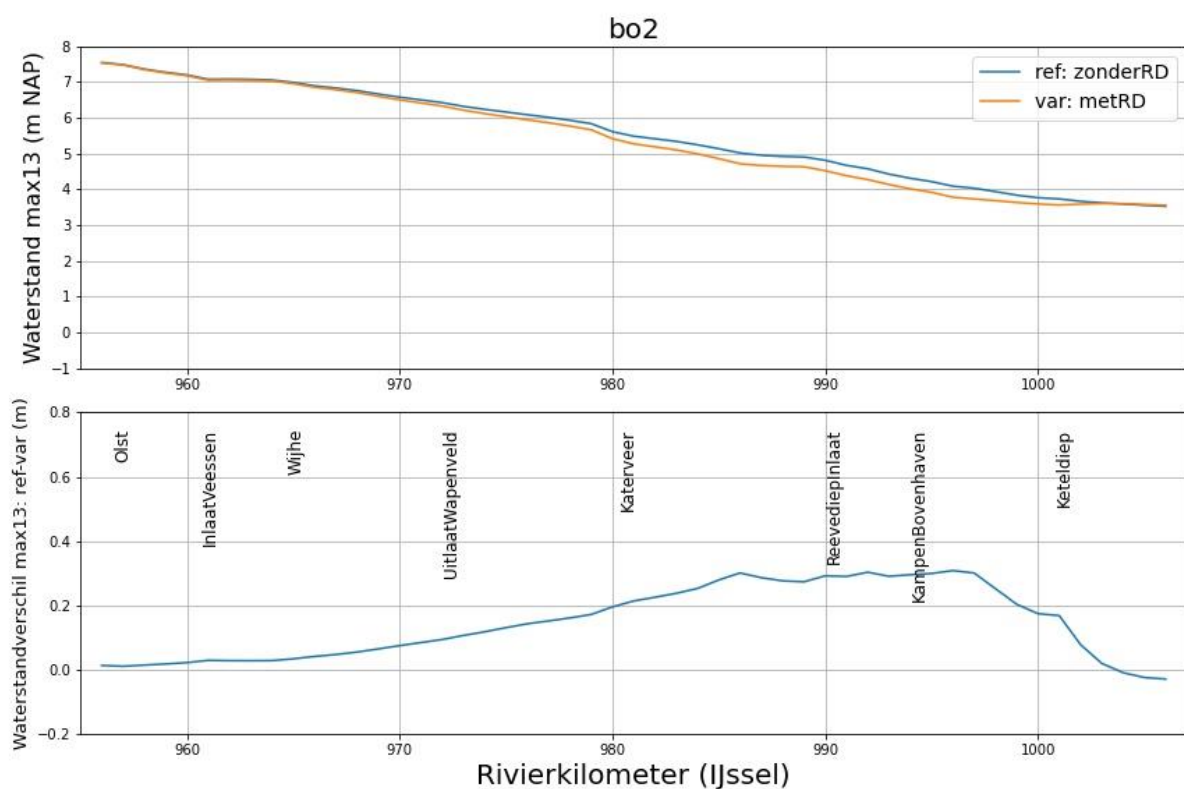
In Bijlage F zijn de rekestijden opgenomen zoals die optraden tijdens de validatie, voor operationeel gebruik wordt sterk aanbevolen de rekestijden na te gaan voor dit model in operationele setting en op de specifieke hardware.

5.3.4 Vergelijking met de referentie (effect Reevediep)

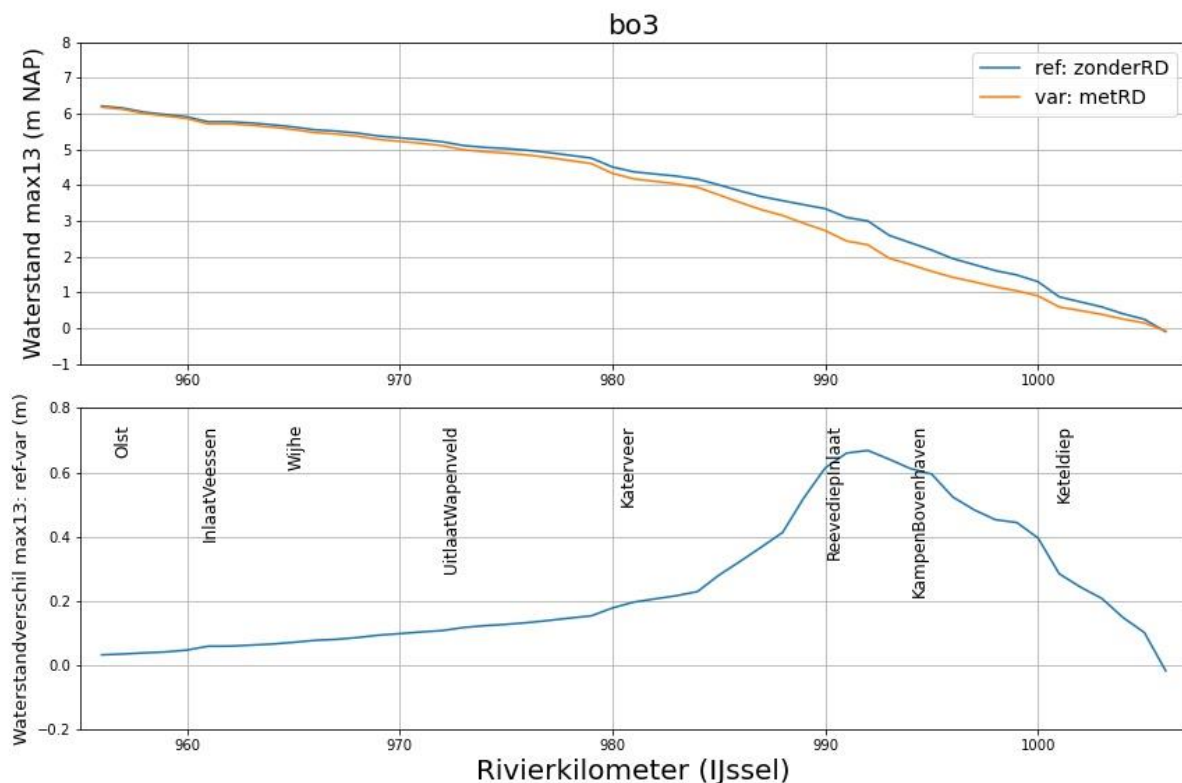
Het effect van het Reevediep is geëvalueerd door het vergelijken van de maximum waterstand (max13) met de referentie zonder Reevediep. Daarbij zijn de scenario's bo1, bo2 en bo3 toegepast. Figuur 5-34 t/m Figuur 5-36 tonen waterstandsverschillen in max13 (de gemiddelde waterstand binnen een half uur rond de top waterstand) en de max13 waterstanden langs de IJssel van Olst tot in Keteldiep/Kattendiep. De maximale waterstand neemt toe tot 15 cm langs de IJssel met Reevediep in de bo1 situatie (lage rivier afvoer, sterke wind), terwijl de Reevediep maatregel de maximale waterstand verlaagt met 30-65 cm rond de inlaat van Reevediep in bo2 en bo3 situatie (hoge rivierafvoer met sterke wind of geen wind). Het gunstigste effect van het Reevediep, dus het verlagende effect, is bij hoge afvoer. Bij relatief lage afvoer en sterke wind uit NNW richting, zorgt de maatregel voor hogere waterstanden als gevolg van de hogere windgedreven debieten vanuit het meer richting IJssel.



Figuur 5-34 Maximum water level (boven) en verschil met referentie (onder) in bo1.



Figuur 5-35 Maximum water level (boven) en verschil met referentie (onder) in bo2.



Figuur 5-36 Maximum water level (boven) en verschil met referentie (onder) in bo3.

5.4 Conclusies

Het Reevediep is opgenomen in de Baseline- en D-HYDRO schematisatie. De werking is geverifieerd door het doorrekenen van 4 scenario's: lage afvoer en een hoog peil met wind (bo1), hoge afvoer en een hoog peil met wind (bo2), en hoge afvoer en een laag peil zonder wind (bo3), lage afvoer en een laag peil met zeer extreme (draaiende) wind (b04). Daarmee is aangetoond dat de nieuwe schematisatie goed werkt.

Tijdens hoge afvoer voor de IJssel met ruim 2600 m³/s, wordt grofweg 20% van het debiet omgeleid via het Reevediep. De sterke open water wind van 38,5 m/s kan de waterstand opstuwten tot ongeveer 1,4m in Olst ongeacht de hoogte van de afvoer. De gradiënt van de waterstandstijging is meer lineair met de afstand tot het meer bij lage afvoer, maar wordt minder relevant bij hogere afvoer.

De Veessen-Wapenveld kleppen werken zoals verwacht zonder numerieke instabiliteiten. Ook het Reevediep functioneert als verwacht in alle simulaties voor beide stromingsrichtingen. De overige kunstwerken op de Vecht, het Meppelerdiep en bij Ramspol, reageren correct. Helaas wordt de rekentijd door activiteit van het gemaal Zedemuden (en een bug in de software) significant beïnvloed. Dat maakt deze schematisatie minder geschikt voor operationeel gebruik tijdens hoogwater en windsituaties. Voor een acceptabele rekentijd wordt aanbevolen om het Meppelerdiep voorlopig uit de schematisatie te verwijderen (1) en de afvoer (uit sluis of pomp) via een laterale bron nabij Zwartsluis te modelleren. Op termijn is het netter om een Baseline-maatregelen te treffen rond de werkelijke locatie van het gemaal (2) zodat de pomp over 3 rekencellen wordt verdeeld. Hiervoor moeten de PID-coëfficiënten t.b.v. de pomp opnieuw worden gekalibreerd.

De extreme wind van 48 m/s zorgt voor droogval op verschillende plekken, afhankelijk van variërende windrichtingen. Alhoewel droogval nabij de spuisluizen Den Oever, Kornwerderzand niet optrad bij de 38,5 m/s NNW wind, zou het mogelijk kunnen gebeuren tijdens simulaties met draaiende wind.

6 Samenvattende conclusies en aanbevelingen

6.1 Samenvattende conclusies

Uit de meer gedetailleerde beschrijving van de resultaten in de voorgaande twee hoofdstukken kan het volgende samengevat worden:

- De resultaten voor twee historische stormperiodes zijn acceptabel. Wel bleek het lastig om te zorgen voor een correcte waterbalans. Met de storm in januari 2018 was er een sluiting van Ramspol en blijkt dat de waterstanden bovenstrooms de kering dan erg gevoelig zijn.
- De resultaten voor extremere situaties specifiek voor verificatie van de werking van Reevediep (scenario bo1 t/m bo3) en voor het gehele gebied (scenario bo4) laten zien dat het model robuust is en dat de rivierverruimende maatregelen in het model functioneren.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Algemeen

Uit de validatie kunnen de volgende adviezen worden gegeven; vooral de eerste twee zijn van belang aangezien de huidige validatie tijdens de januari storm oostelijk van de Ramspolkering zeer matig presteert, als gevolg van het sluiten van deze kering:

- De kwaliteit van de werking van de Ramspolkering en consequenties voor de waterstanden bovenstrooms daarvan zoals Kadoelen en Zwartsluis zijn belangrijk voor de beheerders. Simuleer de storm van 18 januari 2018 ook met de werkelijke openings- en sluittijden van de Ramspolkering.
- Simuleer ook de storm van 3 januari 2018, waarbij eveneens een sluiting was. Alle gegevens zijn beschikbaar. Controleer daarbij specifiek de reactie van de waterstanden op het sluiten van de balgen.
- Houd de sturing van de 3 balgen onderling gescheiden, zodat voor operationeel gebruik/BOI ook met een (deels) falende kering kan worden gerekend.
- Doe een verificatie van het Rijntakkenmodel voor 2018 met een hoogwatergolf.
- Zorg dat in RTC de actuele standen van kunstwerken worden doorgegeven m.b.v. het import/export-bestand, dit is specifiek nodig voor het operationele gebruik, welke elke 6 uur een doorstart (doorstart) maakt op warme start.

Uit de verificatie van Reevediep, maar ook al bij de validatie van het OVD-model is gebleken dat de toegepaste schematisatie van Meppelerdiepsluis en gemaal Zedemuden onacceptabele gevolgen heeft voor de rekentijdstep. Er wordt geadviseerd om het Meppelerdiep voorlopig uit de schematisatie te verwijderen en het debiet als lateraal toe te voegen. Op termijn is het netter om het gemaal op de werkelijk plek te situeren. Zolang de functionaliteit van D-HYDRO nog niet toereikend is, kan dat alleen met een Baseline maatregel worden bereikt.

6.2.2 Specifiek

6.2.2.1 Geometrische gegevens

Aanbevolen wordt om voor de gebruikte Baseline gegevens lopende (waaronder de vernieuwing van de Afsluitdijk) en geplande ontwikkelingen (bijvoorbeeld het sluizencomplex bij Kornwerderzand) in het IJsselmeer na te gaan, inclusief de ligging van sluizen en gemalen. Hierbij is ook aandacht nodig voor kleine havens (waaronder de diepte bij Makkum en havens tussen Medemblik en Enkhuizen) en deelgebieden die niet bij RWS in beheer zijn (o.a. drinkwaterbekkens van PWN bij Andijk). Tevens wordt aanbevolen na te gaan of irregulariteiten in Baseline bij de vaargeul ten zuiden van Den Oever overeenkomen met de werkelijke situatie.

6.2.2.2 Rekenrooster

Er is nu nog geen roosterconvergentiestudie uitgevoerd. Dat wordt wel sterk aanbevolen. Dit kan gecombineerd worden met de aanbeveling om meer begrip te krijgen van relevante ruimte- en tijdschalen van processen die voor de verschillende doelen in het model meegenomen moeten worden en levert ook nuttige resultaten voor toepassing in operationele hoogwatervoorspelling binnen RWSOS Meren (o.a. t.b.v. ensemble simulaties).

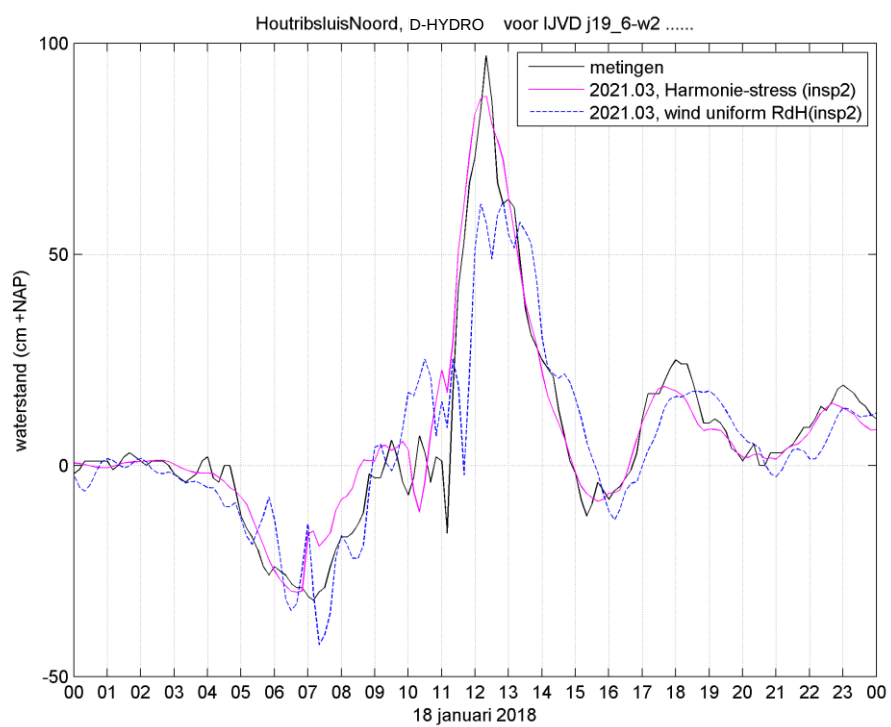
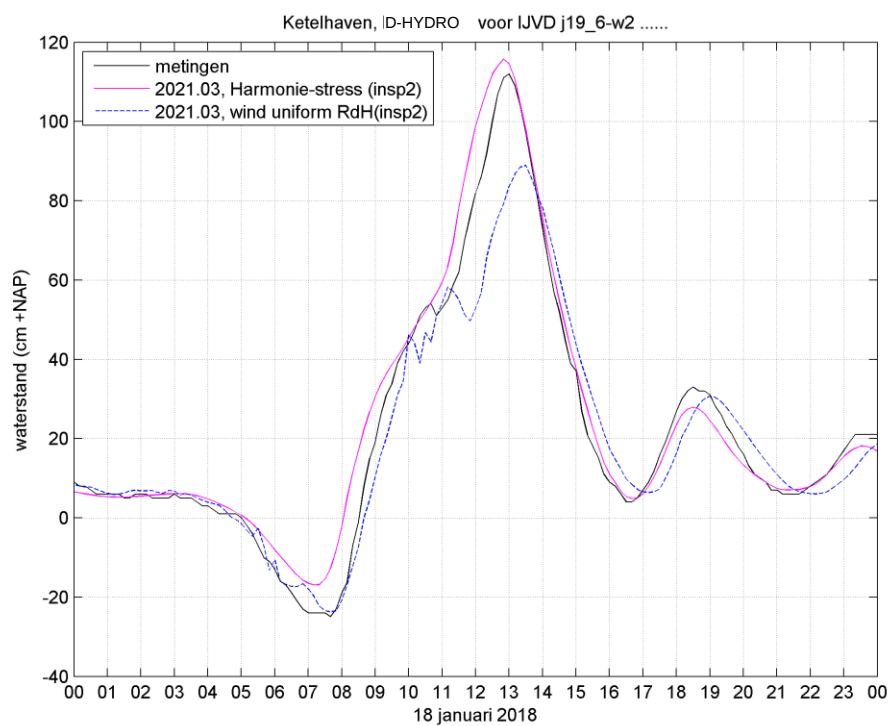
6.2.2.3 Rekentijden

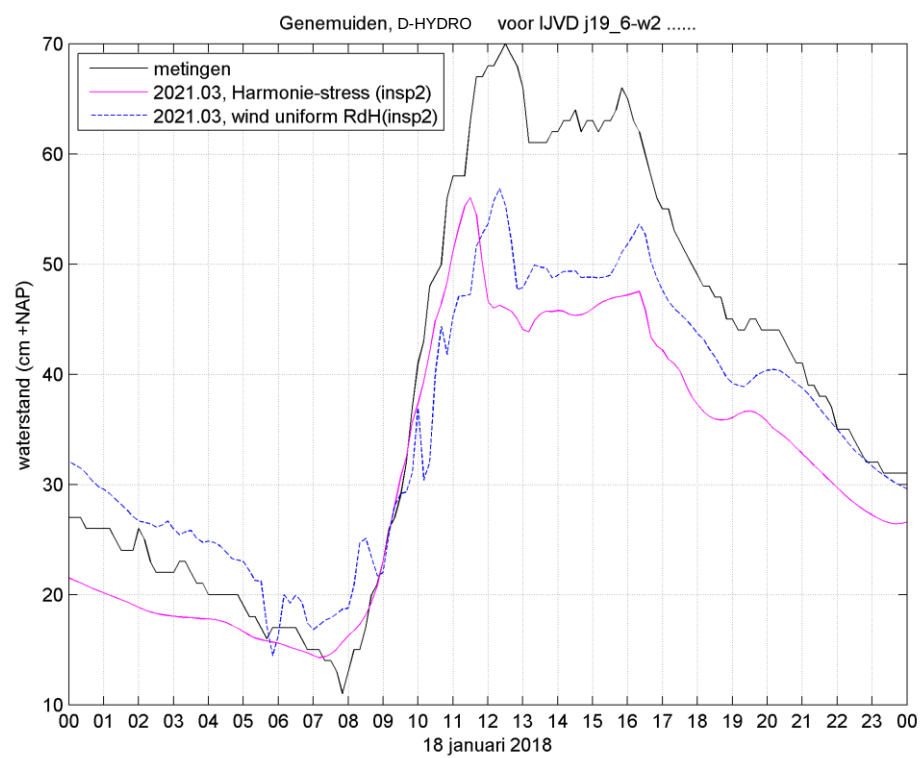
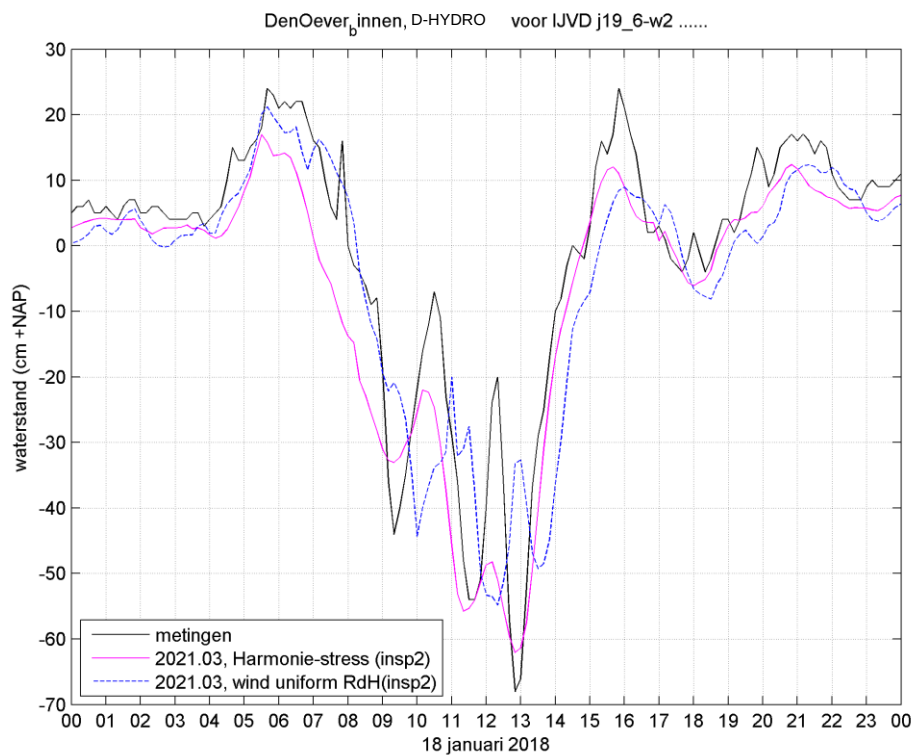
Voor operationeel gebruik wordt sterk aanbevolen de reketijden na te gaan voor dit model in operationele setting en op de specifieke hardware.

7 Referenties/Literatuur

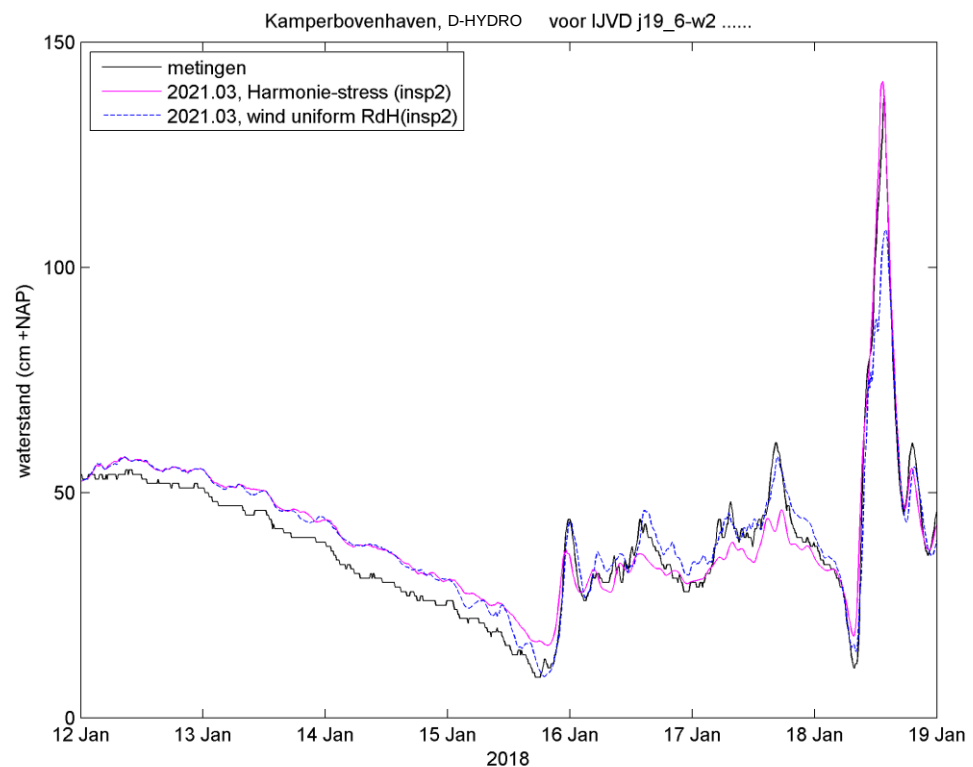
- [1] Menno Genseberger, Asako Fujisaki en Carlijn Eijsberg -Bak, D-HYDRO deelmodel IJsselmeer - modelbouw, eerste modelresultaten waterstanden in 2DH en zoutverspreiding in 3D, Deltares rapport 11205258-008-ZWS-0005, 2020.
- [2] Iris Niesten, Menno Genseberger, Asako Fujisaki en Aukje Spruyt, aansluiting zesde-generatie modelschematisaties IJVD en Rijntakken, Deltares memo 11203714-005-ZWS-0011, 2019.
- [3] Aukje Spruyt en Asako Fujisaki, Ontwikkeling zesde-generatie model Overijsselse Vechtdelta - Modelbouw, kalibratie en validatie, Deltares rapport 11205258-007-ZWS-0007, 2021.
- [4] Carlijn Eijsberg – Bak en Menno Genseberger, validatie D-HYDRO modelschematisaties Markermeer en Veluwerandmeren voor recentere perioden met HARMONIE, Deltares memo 11206813-012-ZWS-0006, 2021.
- [5] Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO, Generieke technische en functionele specificaties. Voorlopig. Deltares dd. 20 december 2019.
- [6] Mirjam van der Mheen, 5de generatie IJVD WAQUA model - Bouw, kalibratie en verificatie, Deltares rapport 1209449-007, 2014.
- [7] Carlijn Eijsberg - Bak, Actualisatie IJsselmeer en IJssel Vechtdelta model 2016, Deltares rapport 1230071-005-ZWS-0012, 2016.
- [8] Anke Becker en Asako Fujisaki, Nieuwe modelschematisatie IJsselmeer-Vecht-IJsseldelta voor WBI2017 met Reevediep fase 2. Deltares rapport 11200569-008-ZWS-0004-v1, 2017.
- [9] Chris Geerse en Bastiaan Kuijper, Probabilistisch model frequentielijnen IJsselmeergebied - Hoofdrapport van model DEZY, HKV Lijn in Water rapport PR3013.10, 2015.
- [10] Deltares, Hydrodynamisch model voor A-omgeving Balgkering Ramspol – Modelleerrapport bij TA-Model, referentie: 11203532-002-HYE-0004, 19 oktober 2020, concept, auteurs: M.P.C. de Jong, D. Kerkhoven, A. Fujisaki en C.I. Eijsberg-Bak.
- [11] Huib Tanis, Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) 2.4.0. Gebruikershandleiding RGWM, 2022.

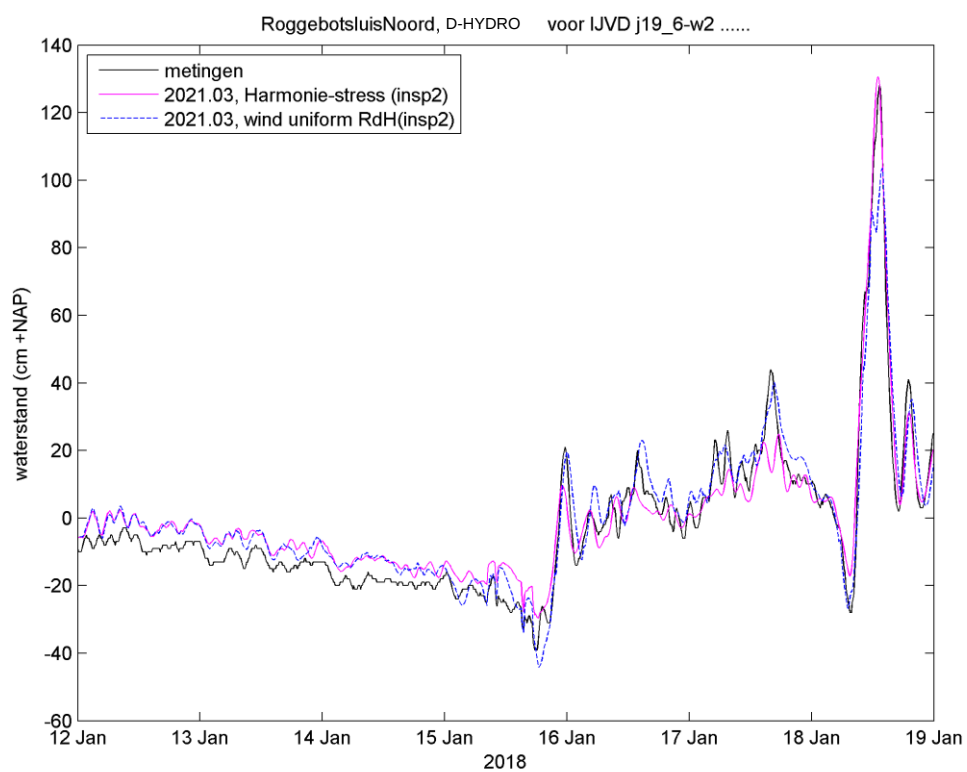
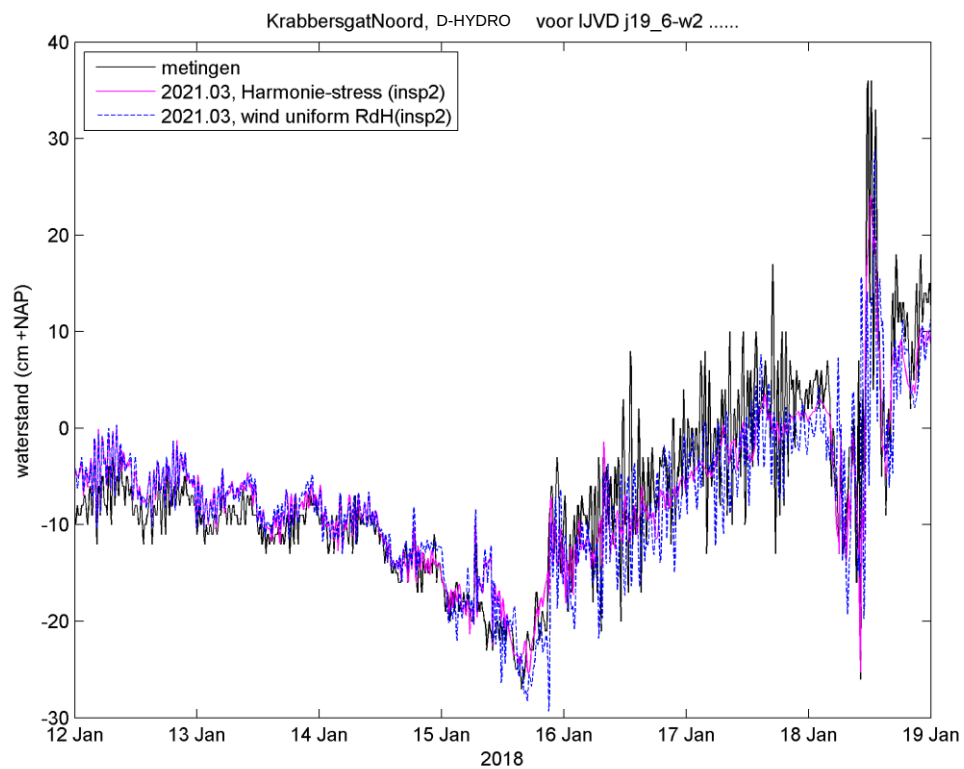
A Selectie figuren validatie januari 2018, detail

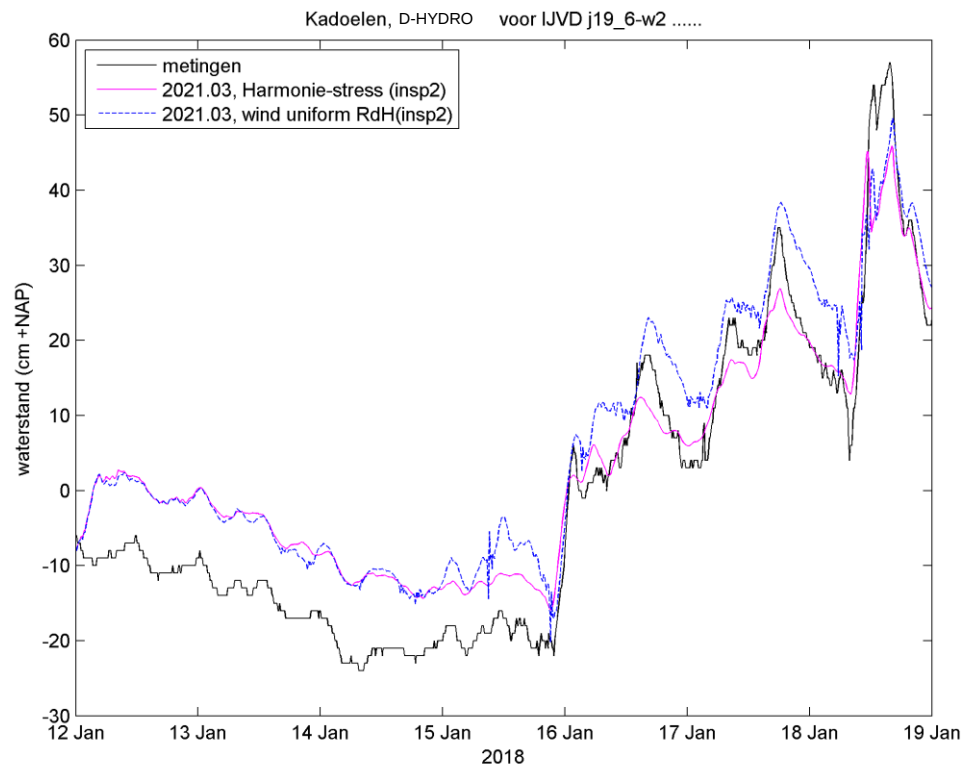




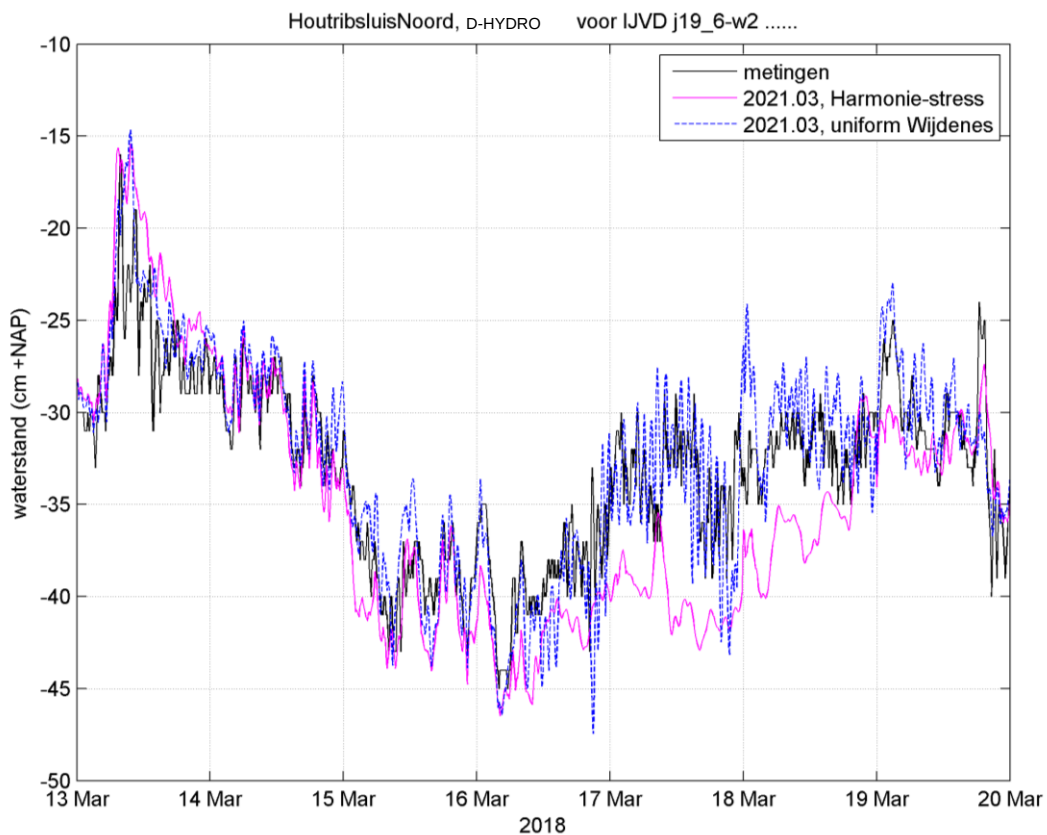
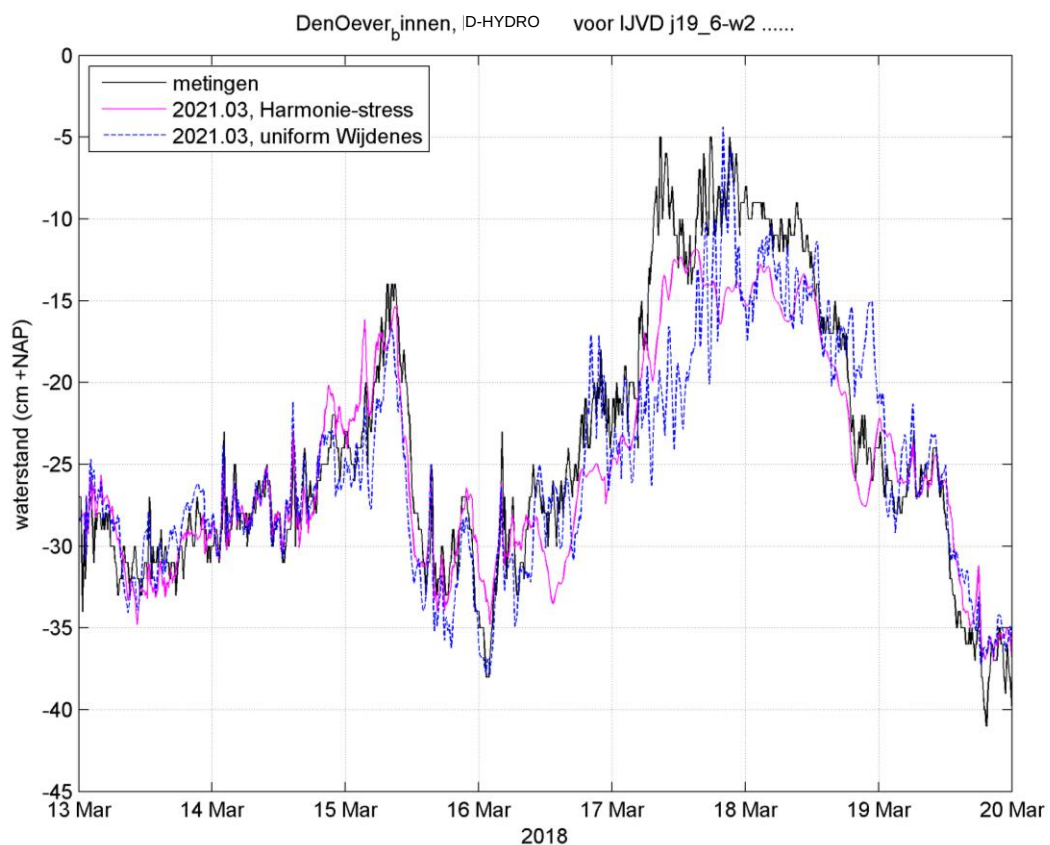
B Selectie figuren validatie januari 2018, volledige periode

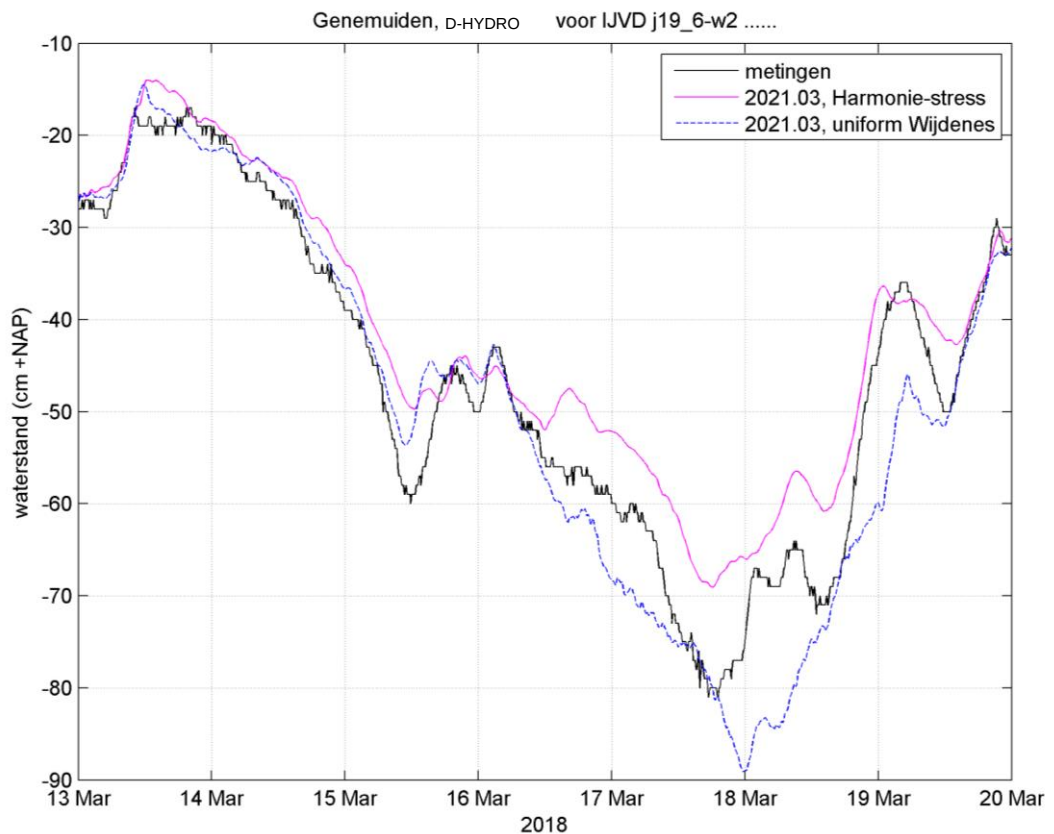
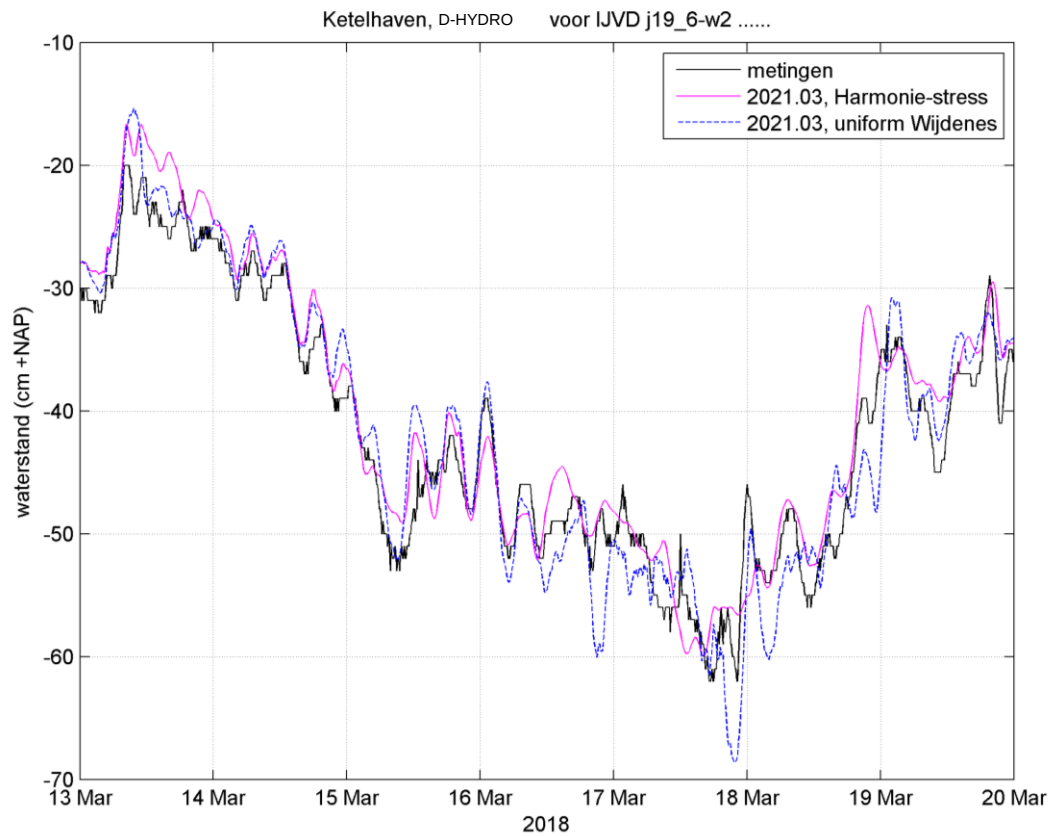






C Selectie figuren validatie maart 2018





D Tabellen validatie januari 2018

Voor deze tabellen is alleen de data gebruikt tussen 18 januari 2018 00:00 en 19 januari 2018 00:00.

Tabel D-1 bias voor storm januari 2018 in [cm].

station	ruimtelijk variërende wind van HARMONIE	ruimtelijk uniforme wind van Rotterdamse Hoek
Den Oever	-5.6	-3.8
Kornwerderzand	-5.3	-1.9
Lemmer	0	-1.5
Rotterdamse Hoek	-0.2	-2.2
Kamperhoek	-0.1	-3.7
Houtrib Noord	1.2	-1
Krabbersgat Noord	-2.5	-3.1
gemiddelde over alle 7 stations	-1.8	-2.5
RMS gemiddelde alle 7 stations	3.1	2.7

Tabel D-2 Standaardafwijking voor storm januari 2018 in [cm].

station	ruimtelijk variërende wind van HARMONIE	ruimtelijk uniforme wind van Rotterdamse Hoek
Den Oever	6.5	10.4
Kornwerderzand	6.2	11.1
Lemmer	8.0	15.4
Rotterdamse Hoek	3.1	7.5
Kamperhoek	5.4	6.6
Houtrib Noord	6.3	11.8
Krabbersgat Noord	5.0	9.0
gemiddelde over alle 7 stations	5.8	10.3
RMS gemiddelde alle 7 stations	6.0	10.6

Tabel D-3 RMSE voor storm januari 2018 in [cm].

station	ruimtelijk variërende wind van HARMONIE	ruimtelijk uniforme wind van Rotterdamse Hoek
Den Oever	8.5	11.1
Kornwerderzand	8.2	11.2
Lemmer	8.0	15.4
Rotterdamse Hoek	3.1	7.8
Kamperhoek	5.4	7.5
Houtrib Noord	6.4	11.8
Krabbersgat Noord	5.6	9.5
gemiddelde over alle 7 stations	6.5	10.6
RMS gemiddelde alle 7 stations	6.7	10.9

E Tabellen validatie maart 2018

Voor deze tabellen is alleen de data gebruikt tussen 16 maart 2018 00:00 en 20 maart 2018 00:00.

Tabel E-1 bias voor storm maart 2018 in [cm].

station	ruimtelijk variërende wind van HARMONIE	ruimtelijk uniforme wind van Wijdenes
Den Oever	-1.9	-1.5
Kornwerderzand	2.5	0.6
Lemmer	3.2	-2.5
Kamperhoek	-1.2	-1.6
Houtrib Noord	-3.5	0.1
Krabbersgat Noord	-2.7	-1.0
gemiddelde over alle 6 stations	-0.6	-1.0
RMS gemiddelde alle 6 stations	2.6	1.5

Tabel E-2 Standaardafwijking voor storm maart 2018 in [cm].

station	ruimtelijk variërende wind van HARMONIE	ruimtelijk uniforme wind van Wijdenes
Den Oever	3.2	4.4
Kornwerderzand	2.4	3.1
Lemmer	3.0	5.1
Kamperhoek	2.3	2.9
Houtrib Noord	3.1	3.1
Krabbersgat Noord	2.6	3.2
gemiddelde over alle 6 stations	2.8	3.6
RMS gemiddelde alle 6 stations	2.8	3.7

Tabel E-3 RMSE voor storm maart 2018 in [cm].

station	ruimtelijk variërende wind van HARMONIE	ruimtelijk uniforme wind van Wijdenes
Den Oever	3.7	4.6
Kornwerderzand	3.4	3.2
Lemmer	4.4	5.7
Kamperhoek	2.6	3.4
Houtrib Noord	4.7	3.1
Krabbersgat Noord	3.8	3.3
gemiddelde over alle 6 stations	3.8	3.9
RMS gemiddelde alle 6 stations	3.8	4.0

F Rekentijden

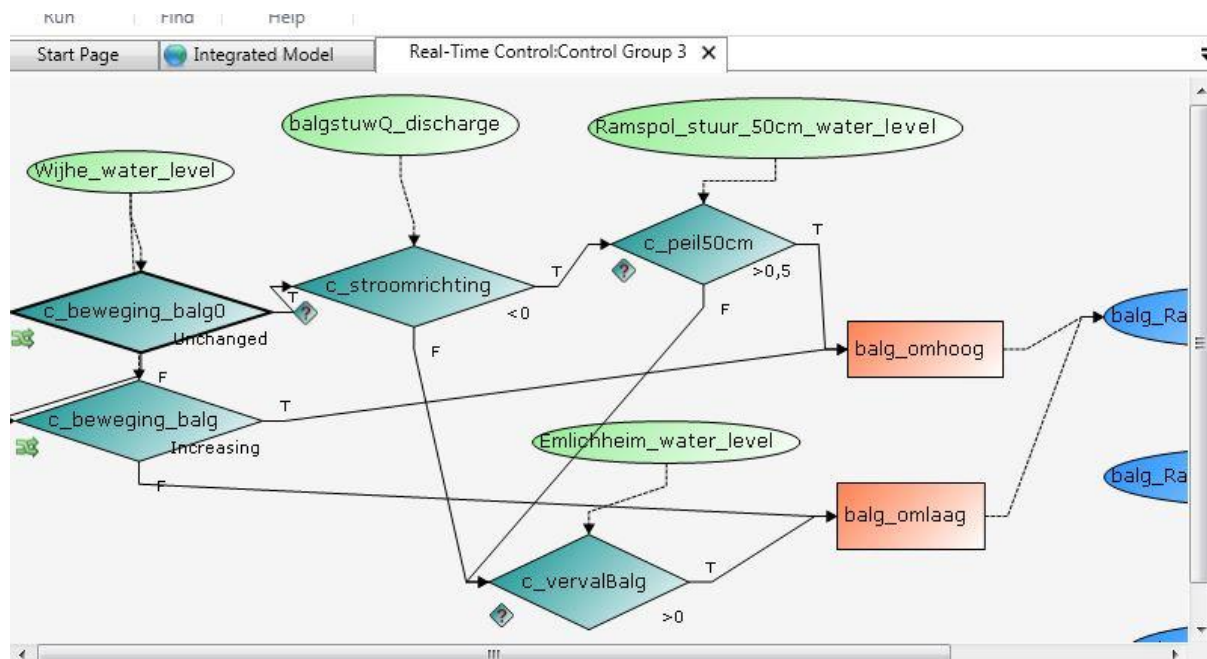
simulatie	storm januari 2018 met HARMONIE	storm januari 2018 met uniforme wind	storm maart 2018 met HARMONIE	storm maart 2018 met uniforme wind
wall-clock tijd (uur)	10.3	10.7	12.0	12.2
lengte simulatieperiode (dag)	7	7	7	7
D-HYDRO versie	2021.03	2021.03	2021.03	2021.03
type nodes H6 linux-cluster	e3-c7	e3-c7	e3-c7	e3-c7
aantal nodes x aantal rekenprocessen per node	2 x 8	2 x 8	2 x 8	2 x 8

simulatie	bo1	bo2	bo3	bo4
wall-clock tijd (uur)	57.5	48.6	41.5	15.1
lengte simulatieperiode (dag)	10	10	10	10
D-HYDRO versie	2022.02	2022.02	2022.02	2022.02
type nodes H6 linux-cluster	e5-c7	e3-c7	e3-c7	e3-c7
aantal nodes x aantal rekenprocessen per node	2 x 4	4 x 4	4 x 4	2 x 4

G Sturing Ramspolkering uit 2018

Deze kering bestaat uit 3 onderdelen: balgen in Ramsdiep, Ramsgeul-Noord en Ramsgeul-Zuid.

In het WAQUA [1] model worden alle 3 gestuurd middels de drempel. Om te sluiten (balg omhoog) moet het peil aan de kant van Ketelmeerzijde hoger zijn dan NAP+50cm en moet de stroomrichting oostelijk zijn. Het sluiten duurt 1 uur, het weer openen duurt 90 minuten. Hiervoor zijn lookup-tables gedefinieerd met relatieve reeksen. Daarnaast is van belang dat de in gang gezette beweging (omhoog of omlaag) wordt afgemaakt. Hierop wordt als eerste gecheckt. Indien dit niet gebeurt, dan is er kans op slingerende drempel.



Figuur G-1 Schematisatie sturing balgstuw.

Hiervoor moet dus voor input Wijhe_waterlevel input balg_Ramsdiep_sill_level worden gelezen. Voor de lookup-tabel staat de value-optie op relatief (zodat de reeks in de tabel niet steeds opnieuw vanaf de starttijd begint).

In D-Flow FM/RTC wordt direct de balg in Ramsdiep (Controlgroup3) gestuurd, de overige 2 balgen via de dimr-file (source Ramsdiep wordt ook voor targets Ramsgeul-noord en Ramsgeul-zuid gebruikt). Hierdoor bewegen de drempels onderling identiek. Indien falen van een van de balgen ook gemodelleerd moet worden, dan zijn er aparte ControlGroups nodig.

Referenties

[1] 1209449-007-ZWS-0008-v7-r-5de generatie IJVD WAQUA model definitief, 5de generatie IJVD WAQUA model, Bouw, kalibratie en verificatie. M. van der Mheen, november 2014.

H MDU bestand

```
#####
# IJsselmeer-Vechtdelta model #
# D-HYDRO model: dflowfm2d-ym_ijvd_rd-j19_6-v2a #
# #
# Eigendom: Rijkswaterstaat-ON, Functioneel Beheer: RWS-WVL, Applicatie Beheer: Deltares #
#####
# Modeltype: D-Flow FM 2D + D-RTC #
# (bijv.: D-Flow FM 2D; D-Flow FM 2D + D-RTC; D-Flow FM 3D; D-Flow FM 3D + D-WAQ) #
# Bestandstype: Basis MDU-bestand zesde generatiemodellen RWS #
# Editable/Uneditable: Modeleigenschappen welke WEL/NIET mogen worden aangepast bij #
# toepassen van model #
# Invoer voor: testberekening 2001-01-21 - 2001-01-31 #
# #
# Ontwikkelaars: Asako Fujisaki, Carlijn Eijsberg-Bak en Menno Genseberger #
# #
# Datum: 08-03-2022 #
# #
# Opmerkingen: #
# 1. DIMR-versie #
# 2. Toe te passen in combinatie met D-RTC #
# 3. Zie nadere info in de Factsheet op de Helpdeskwater #
# 4. .... #
# #
# Onregelmatigheden of problemen met deze modelschematisatie kunnen gemeld worden via het meldings- #
# formulier bij het Informatiepunt Leefomgeving (voorheen Helpdesk Water) onder Modelschematisaties: #
# https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/ #
# #
#####
[General]
=====
# Uneditable
#-----
Program = D-Flow FM
FileVersion = 1.09
PathsRelativeToParent = 1
AutoStart = 0

#####
[geometry]
=====
# Editable
#-----
NetFile = ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_net.nc
GridEnclosureFile = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_enc.pol
DryPointsFile = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_dry.pol
ThinDamFile = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_thd.pli
FixedWeirFile = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_fwx.pliz
PillarFile = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_bridges.pliz
IniFieldFile = ../../initial_conditions/test/bol/initial_conditions.ini
StructureFile = ../../initial_conditions/test/bol/FlowFM_structures_bol.ini
UseCaching = 0
#-----
# Uneditable
#-----
WaterLevIni = -999.
BedlevUni = 5.
AngLat = 52.
AngLon = 5.
BedlevType = 3
Conveyance2D = -1
Sillheightmin = 0.
OpenBoundaryTolerance = 3

#-----
[trachytopes]
=====
# Editable
#-----
TrtL = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_trachytopes.arl
#-----
# Uneditable
#-----
TrtRou = Y
TrtDef = ../../general/roughcombination-all-2021-v4.ttd
DtTrt = 60.

#-----
[calibration]
=====
# Editable
#-----
AreaFile = ../../geometry/ym_ijvd_rd-j19_6-v2a_calibration.cll
#-----
# Uneditable
#-----
```

```

UseCalibration                = 1
DefinitionFile                 = ../../../../general/calibration-ym_ijvd_ov-2021-v1.cld

#####
[physics]
#####
# Uneditable
#-----
UnifFrictType                 = 1
UnifFrictCoef                 = 0.023
Vicouv                        = 0.1
Dicouv                        = 0.1
Smagorinsky                   = 0.20
Elder                         = 0.
Irov                          = 0
Rhomean                       = 1000
Ag                             = 9.813
VillemontheCD1                = 1.
VillemontheCD2                = 10.
Salinity                      = 0
Temperature                    = 0
SecondaryFlow                  = 0

#####
[wind]
#####
# Uneditable
#-----
ICdtyp                        = 2
Cdbreakpoints                 = 0.0014 0.00275
Windspeedbreakpoints          = 7.8 30.85
Rhoair                         = 1.2265

#####
[waves]
#####
# No waves

#####
[numerics]
#####
# Uneditable
#-----
CFLMax                        = 0.7
AdvecType                     = 33
TimeStepType                  = 2
Icgsolver                     = 4
FixedWeirScheme               = 9
Tlfsmo                        = 0
Teta0                         = 0.55
Qhrelax                       = 0.01
Epshu                         = 0.0001

#####
[time]
#####
# Editable
#-----
RefDate                       = 20010101
TStart                         = 28800
TStop                          = 43200
#-----
# Uneditable
#-----
Tzone                          = 1
DtUser                         = 60
DtMax                          = 30
DtInit                         = 1
Tunit                          = M

#####
[restart]
#####
# Editable
#-----
RestartFile                    =
RestartDateTime                =

#####
[external forcing]
#####
# Editable
#-----
ExtForceFile                   = ../../../../boundary_conditions/test/bol/meteo/FlowFM.ext
ExtForceFileNew                = ../../../../boundary_conditions/test/bol/flow/FlowFM_bnd.ext

#####
[output]
#####
# Editable
#-----

```

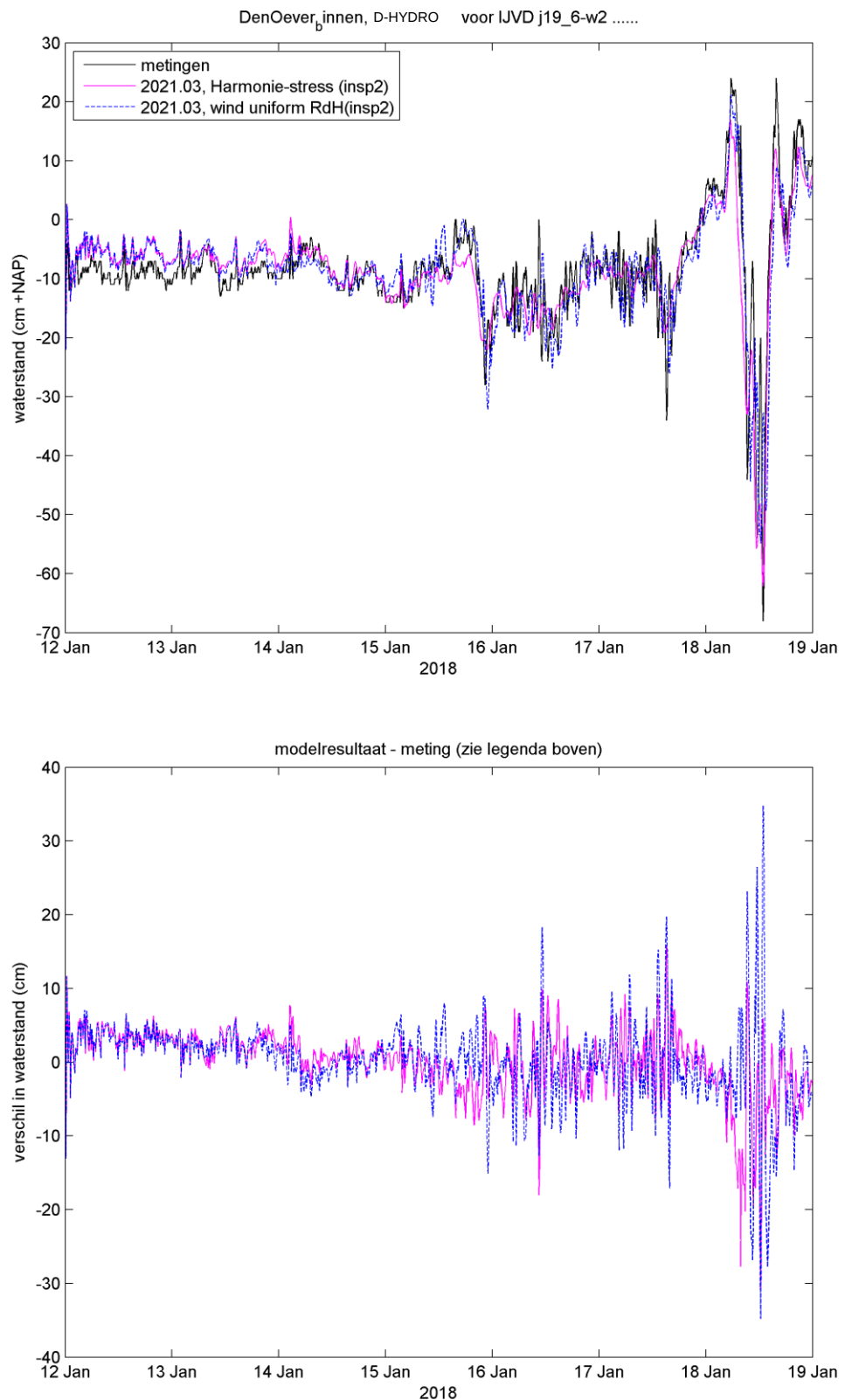
```

OutputDir                = results
ObsFile                  = ../../../../geometry/output_locations/ym_ijvd_rd-j19_6-
v2a_0_all_obs_corr.xyn
CrsFile                  = ../../../../geometry/cross_sections/ym_ijvd_rd-j19_6-
v2a_all_cross_sections.pli
FouFile                  = ../../../../general/fourier_max_standardsommen.fou
FouUpdateStep            = 1
HisFile                  =
HisInterval              = 600.
MapFile                  =
MapInterval              = 3600.
XLSInterval              = 0.
RstInterval              = 0
ClassMapFile             =
ClassMapInterval         =
WaterlevelClasses        =
WaterDepthClasses        =
StatsInterval            = 300.
TimingsInterval          =
#-----
# Write time series to his-file (1: yes, 0: no)
#-----
Wrihis_balance           = 1
Wrihis_sourcesink        = 1
Wrihis_structure_gen     = 1
Wrihis_structure_dam     = 0
Wrihis_structure_pump    = 0
Wrihis_structure_gate    = 1
Wrihis_structure_weir    = 0
Wrihis_structure_orifice = 0
Wrihis_structure_bridge  = 1
Wrihis_structure_culvert = 0
Wrihis_structure_damBreak = 0
Wrihis_structure_uniWeir = 1
Wrihis_structure_compound = 0
Wrihis_turbulence        = 1
Wrihis_wind              = 0
Wrihis_rain              = 0
Wrihis_temperature       = 0
Wrihis_waves             = 0
Wrihis_heat_fluxes       = 0
Wrihis_salinity          = 0
Wrihis_density           = 0
Wrihis_waterlevel_sl     = 1
Wrihis_bedlevel          = 0
Wrihis_waterdepth        = 1
Wrihis_velocity_vector   = 1
Wrihis_upward_velocity_component = 0
Wrihis_sediment          = 0
Wrihis_constituents      = 0
Wrihis_zcor              = 0
#-----
# Write spatial output to map-file (1: yes, 0: no)
#-----
Wrimap_waterlevel_s0     = 0
Wrimap_waterlevel_sl     = 1
Wrimap_volumel           = 0
Wrimap_waterdepth_hu     = 0
Wrimap_ancillary_variables = 0
Wrimap_flowarea_au       = 0
Wrimap_velocity_component_u0 = 0
Wrimap_velocity_component_u1 = 1
Wrimap_velocity_vector   = 1
Wrimap_velocity_magnitude = 1
Wrimap_velocity_vectorq  = 0
Wrimap_upward_velocity_component = 0
Wrimap_density_rho       = 0
Wrimap_horizontal_viscosity_viu = 1
Wrimap_horizontal_diffusivity_diu = 1
Wrimap_flow_flux_q1      = 1
Wrimap_flow_flux_q1_main = 0
Wrimap_numlimdt          = 1
Wrimap_taucurrent        = 1
Wrimap_chezy             = 1
Wrimap_turbulence        = 0
Wrimap_trachytopes       = 1
Wrimap_calibration       = 1
Wrimap_DTcell            = 1
#-----
# Write grid-snapped features to shape file (1: yes, 0: no)
#-----
Wrishp_crs               = 1
Wrishp_obs               = 1
Wrishp_weir              = 1
Wrishp_thd               = 1
Wrishp_gate              = 1
Wrishp_fxw               = 1
Wrishp_src               = 1
Wrishp_pump              = 1
Wrishp_dryarea           = 1
Wrishp_genstruc          = 1
#-----
Writepart_domain         = 0
WriteDFMinterpretedvalues = 0
MapOutputTimeVector      =

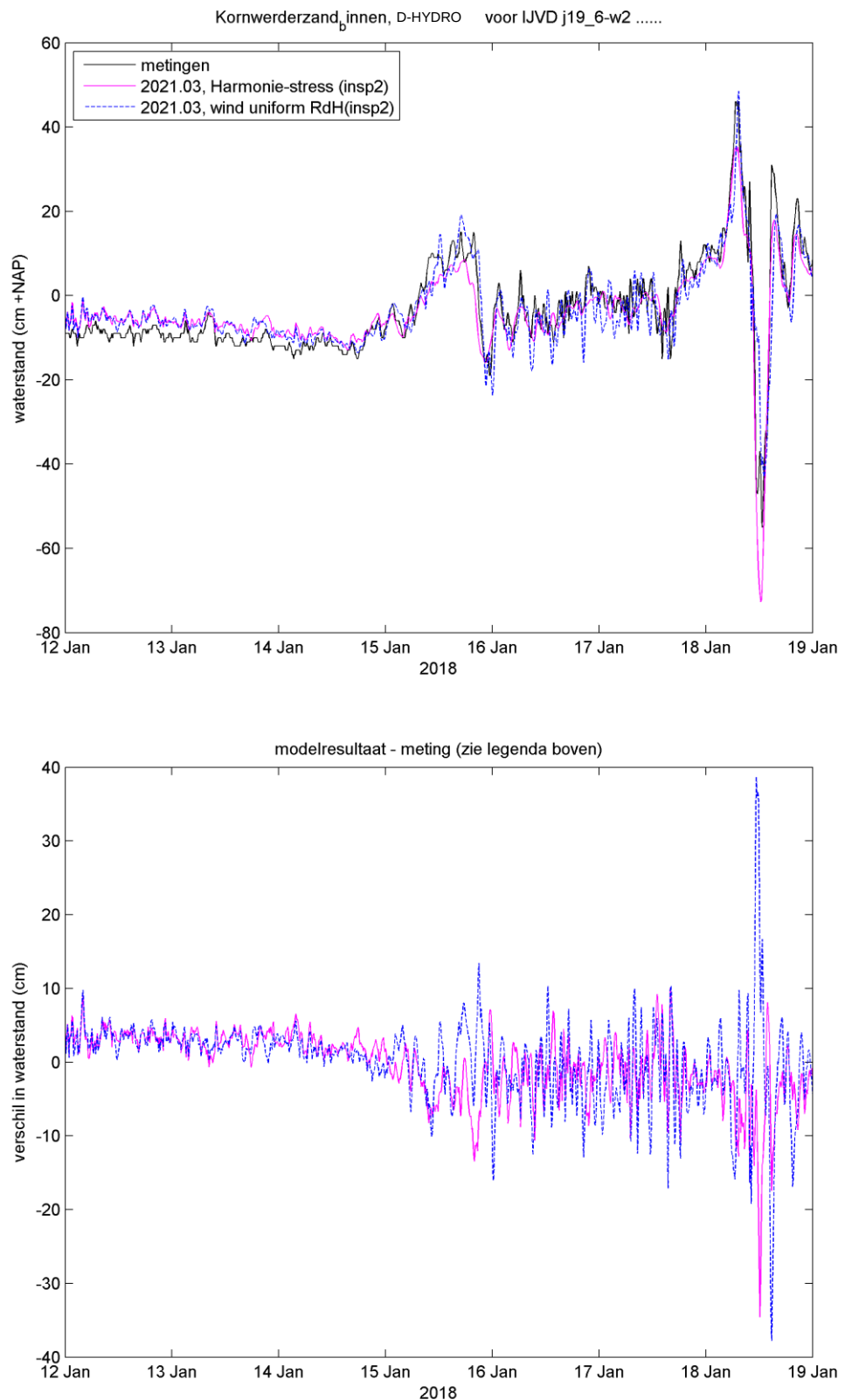
```

```
FullGridOutput          = 0
EulerVelocities         = 0
Wrirst_bnd              = 1
#-----
# Uneditable
#-----
MapFormat                = 4
NcFormat                 = 3
NcWriteLatLon            = 0
#=====
#####
```

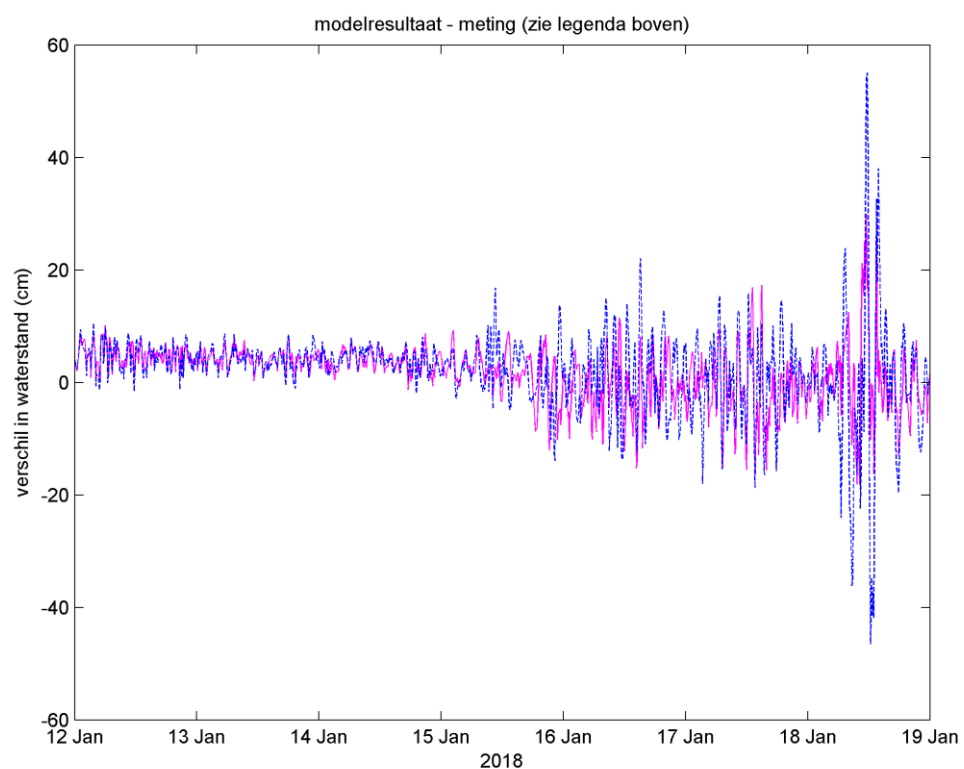
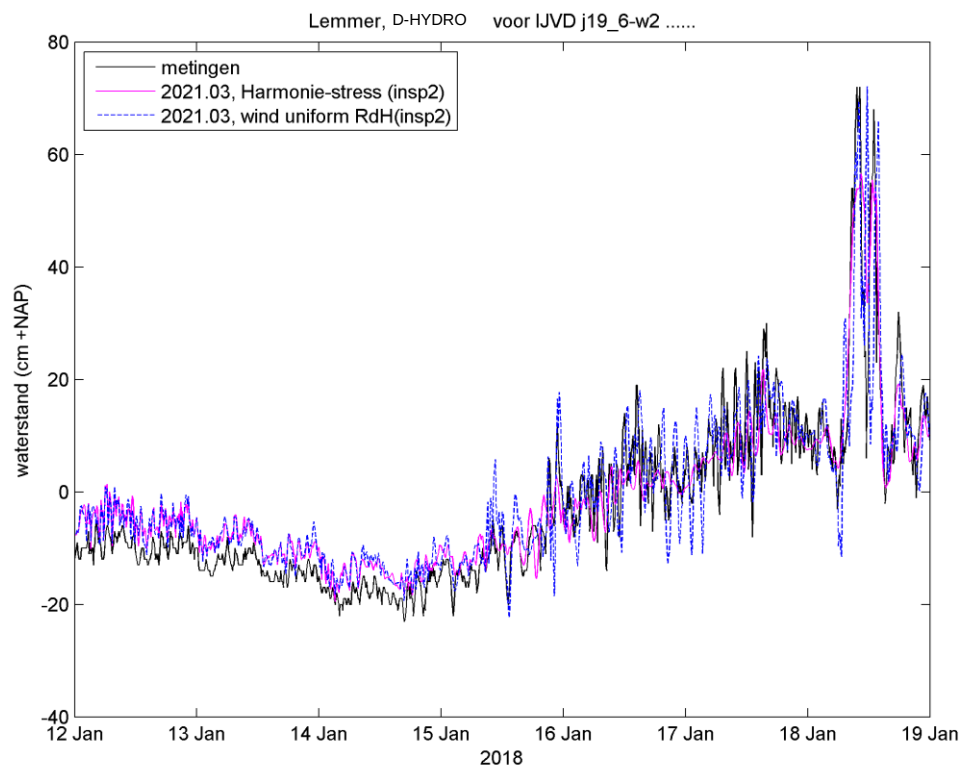
I Figuren alle observatiestations validatie januari 2018



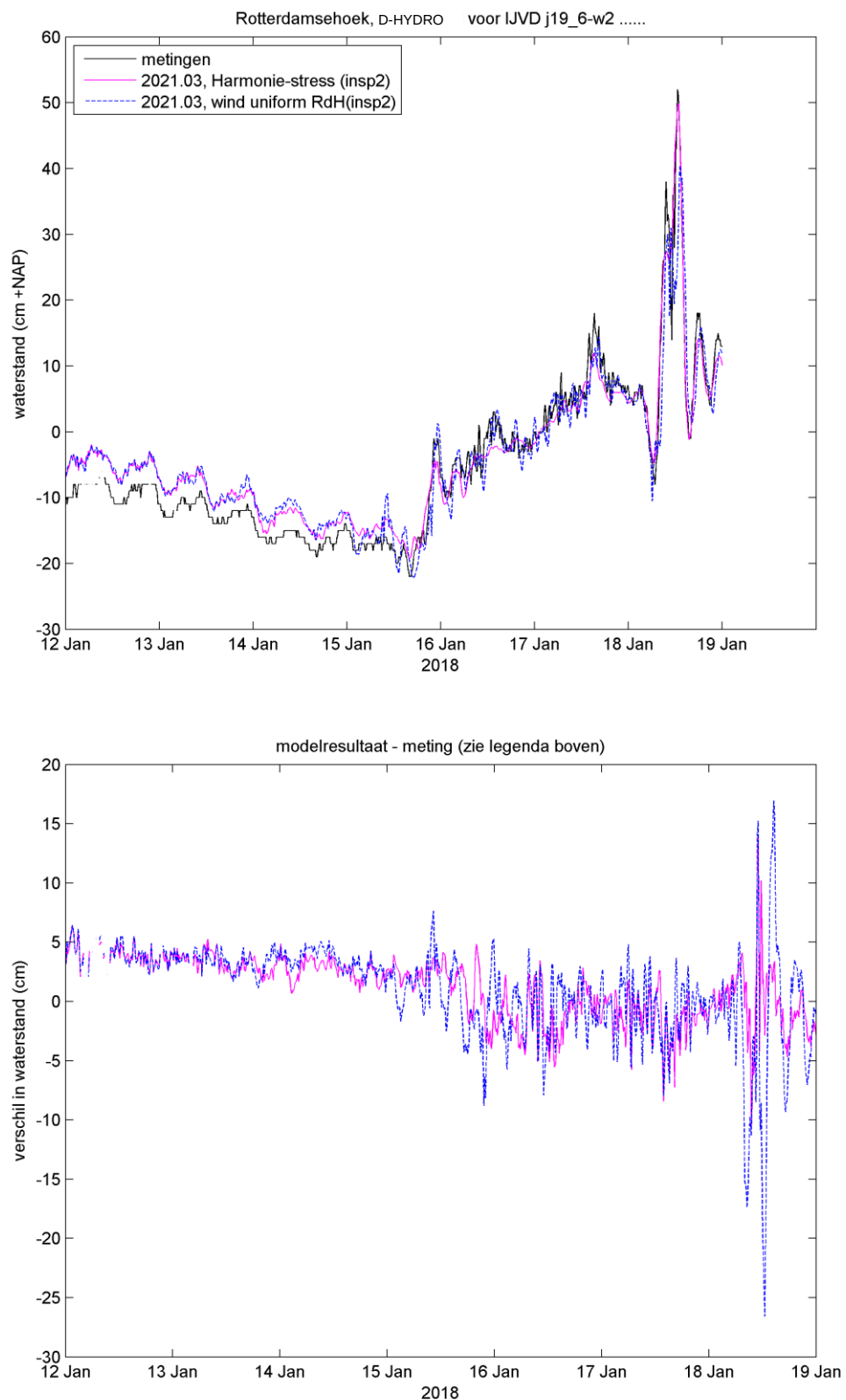
Figuur I-1 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Den Oever binnen. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



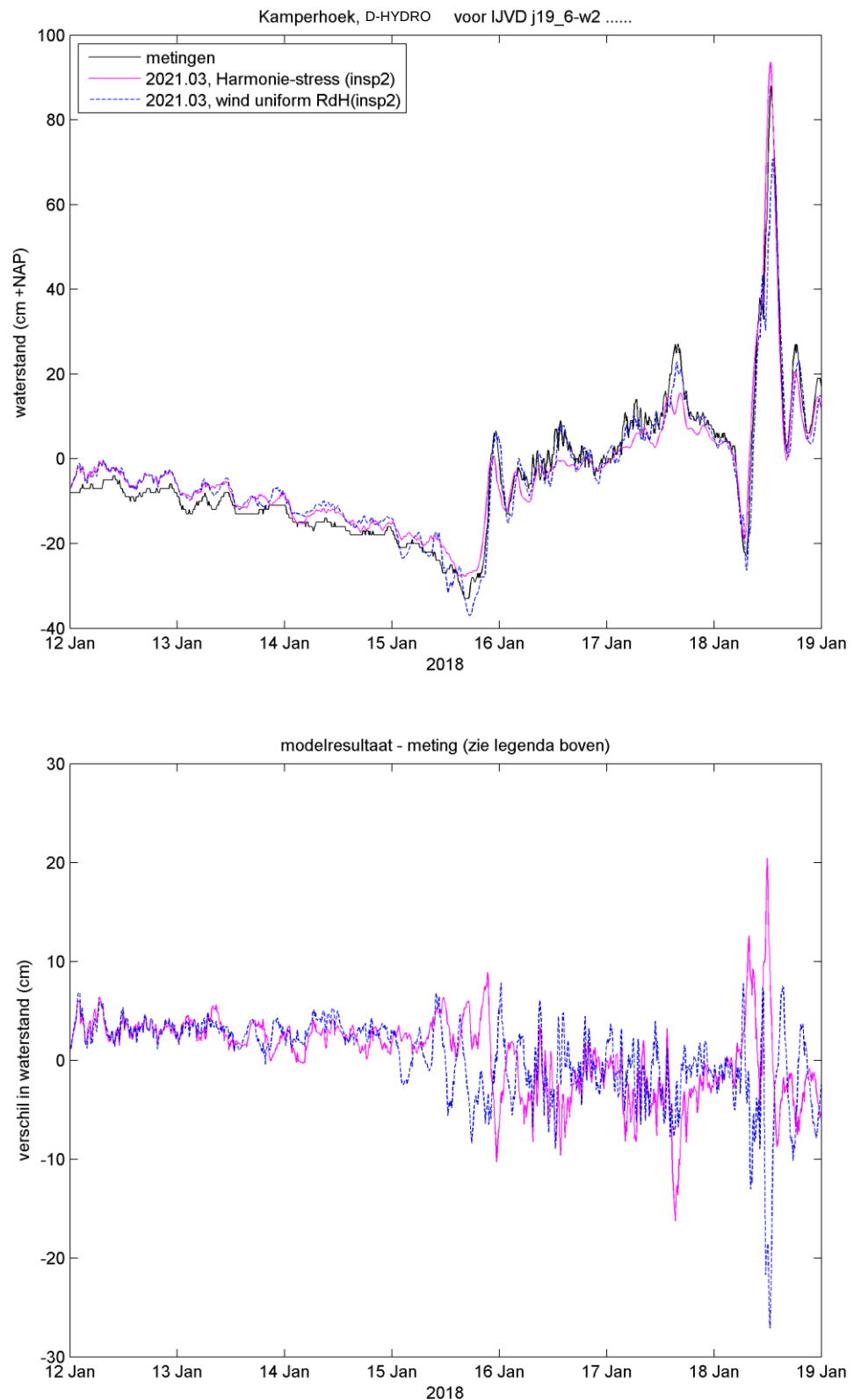
Figuur I-2 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Kornwerderzand binnen. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



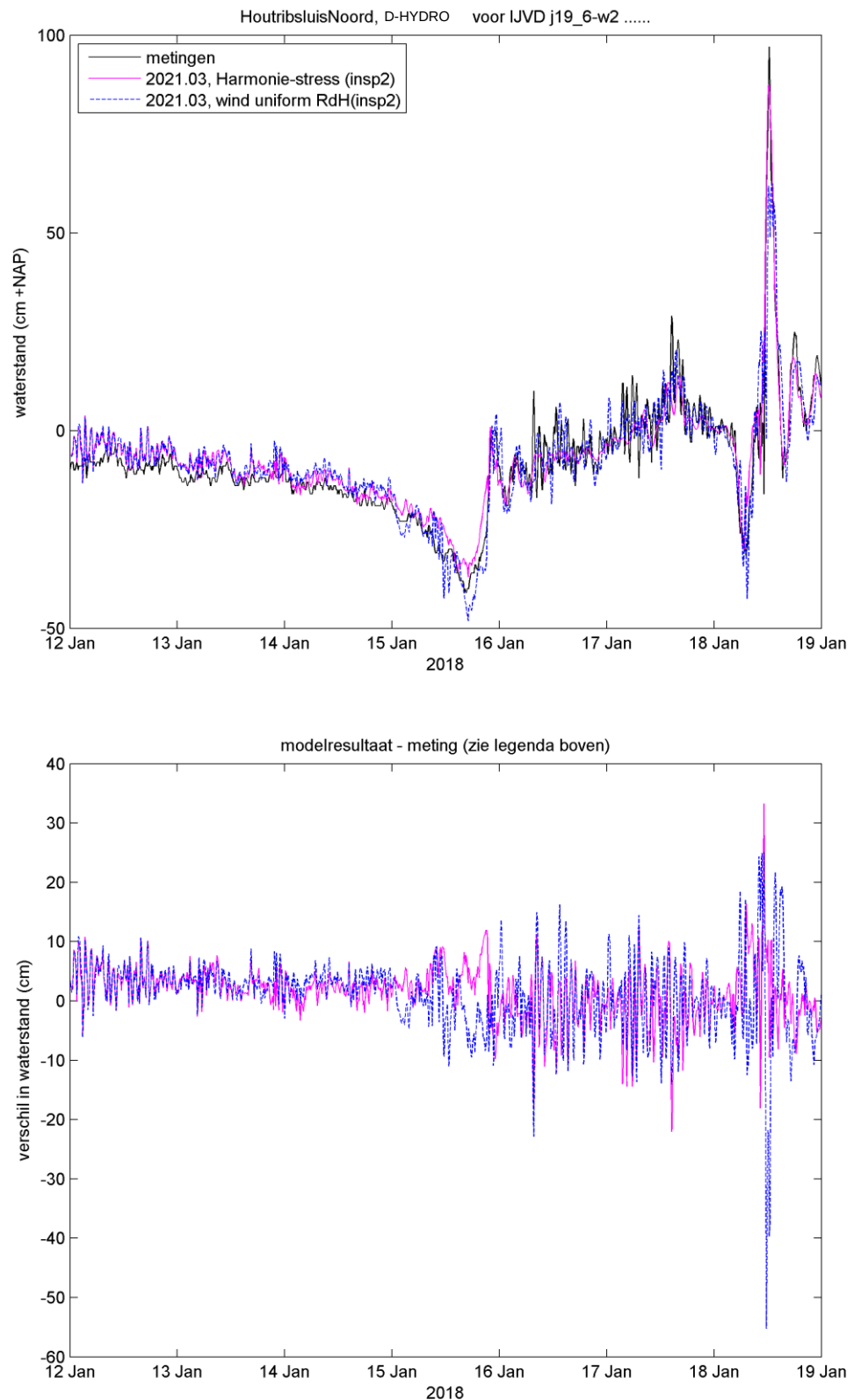
Figuur I-3 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Lemmer. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



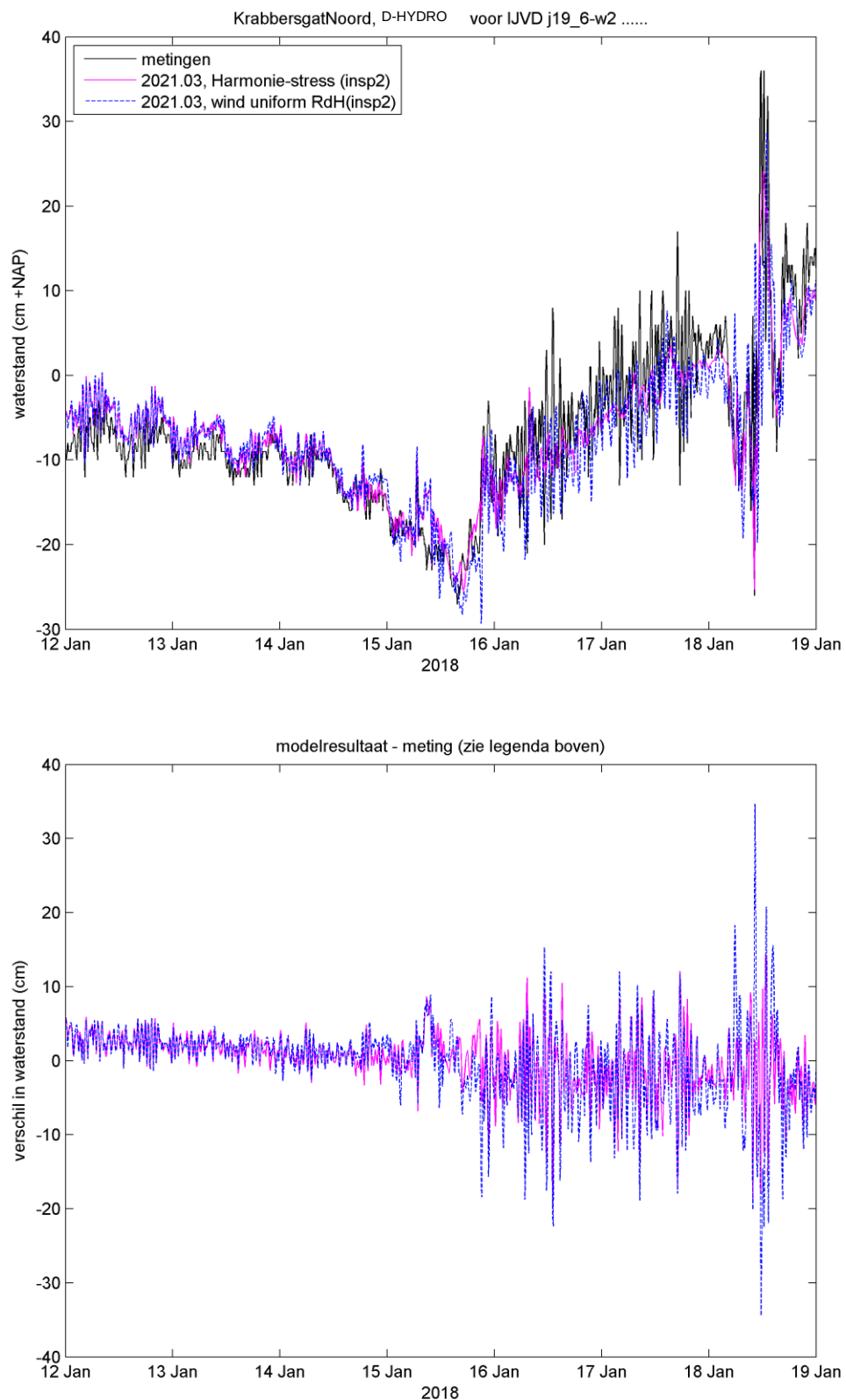
Figuur I-4 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Rotterdamsehoek. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



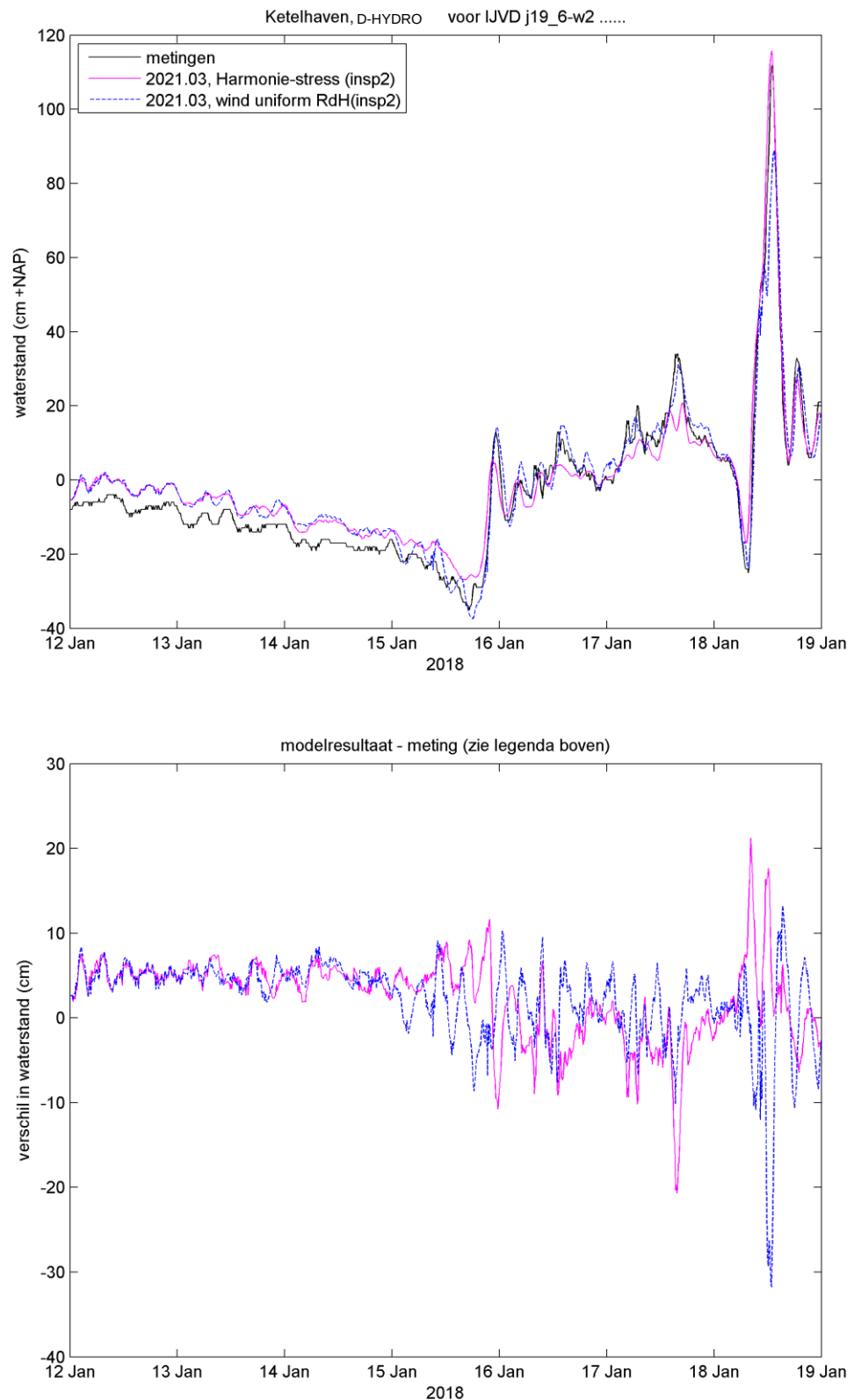
Figuur I-5 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Kamperhoek. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



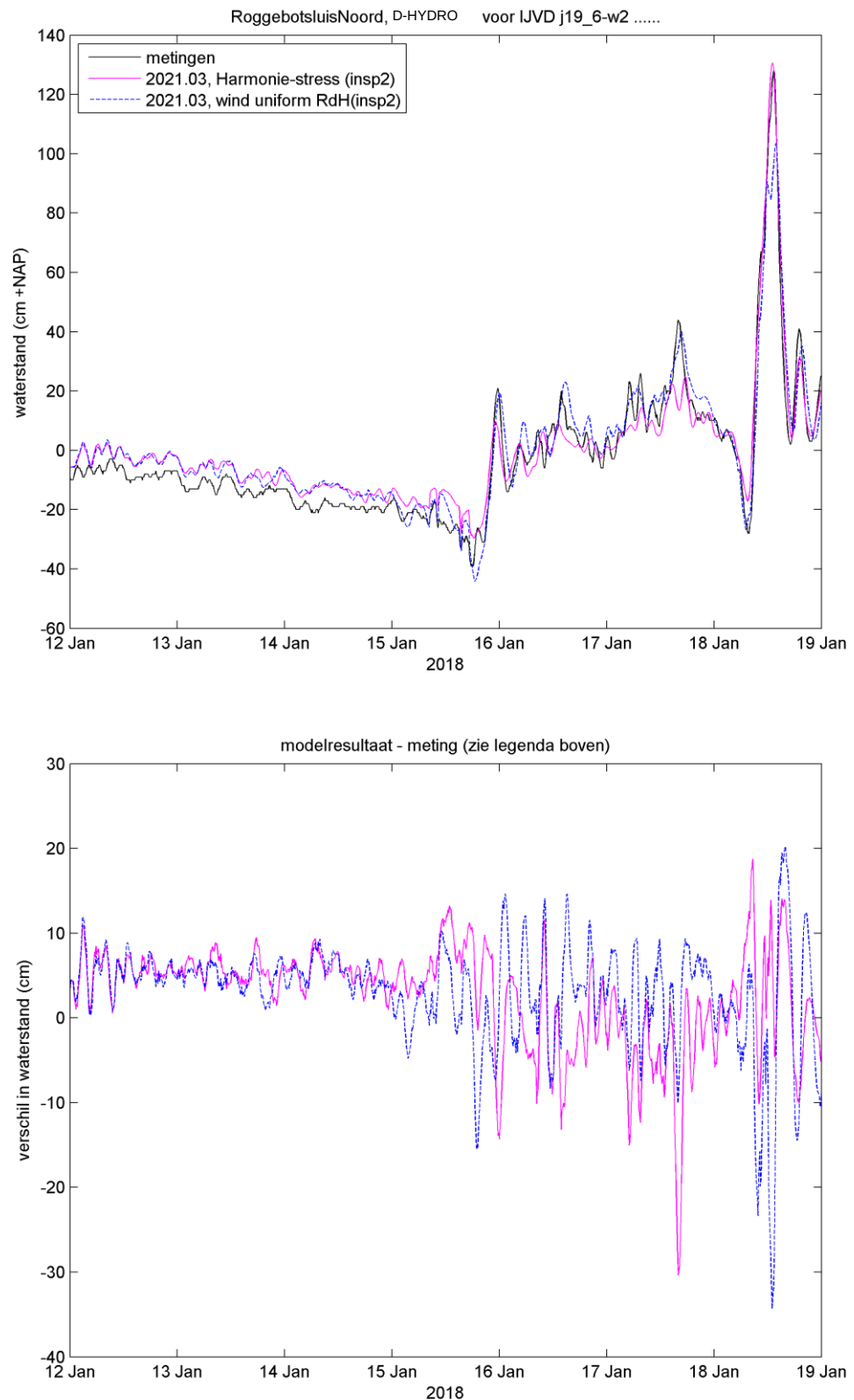
Figuur I-6 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Houtribspuisluizen noord. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



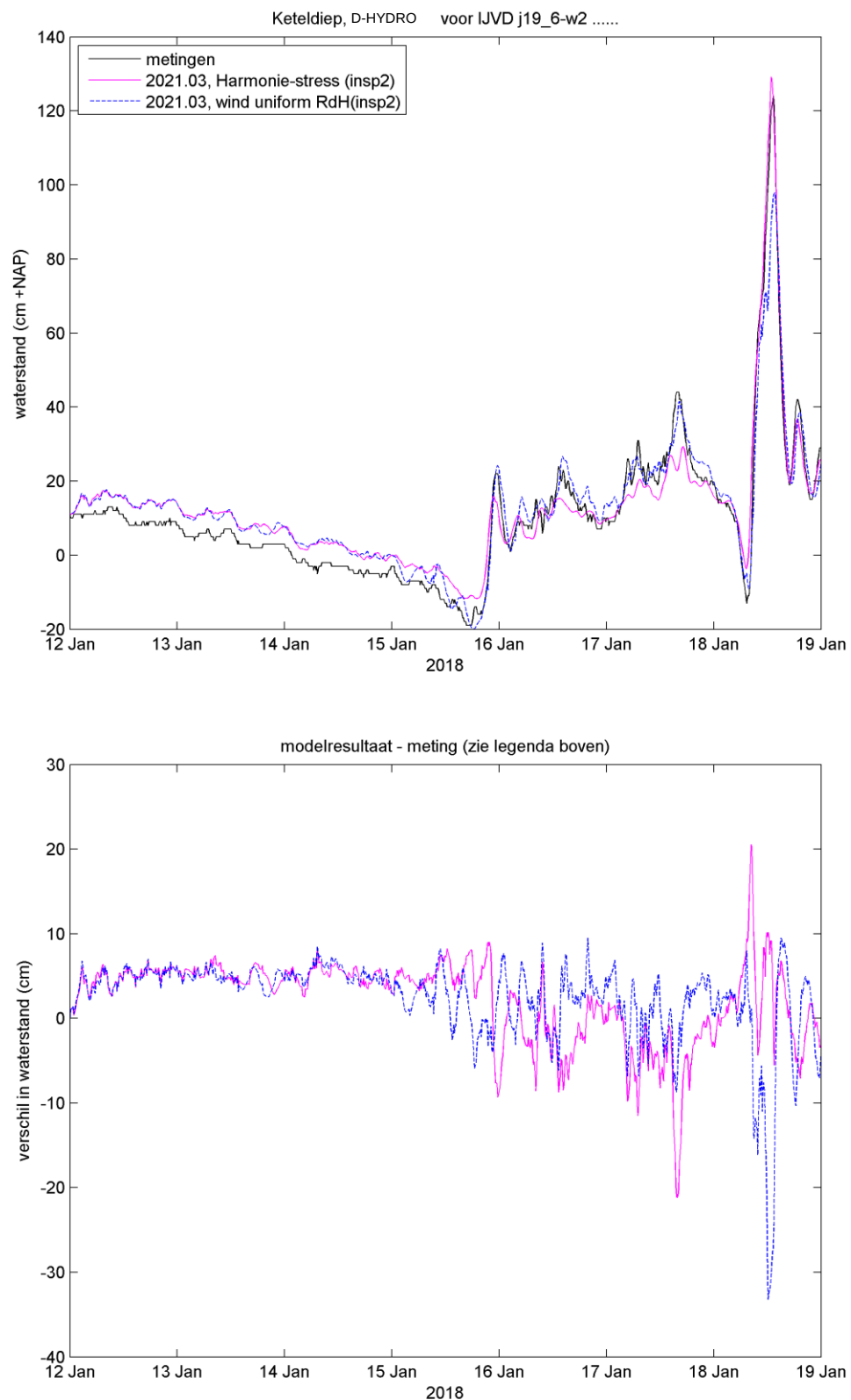
Figuur I-7 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Krabbersgatspuisluisen noord. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



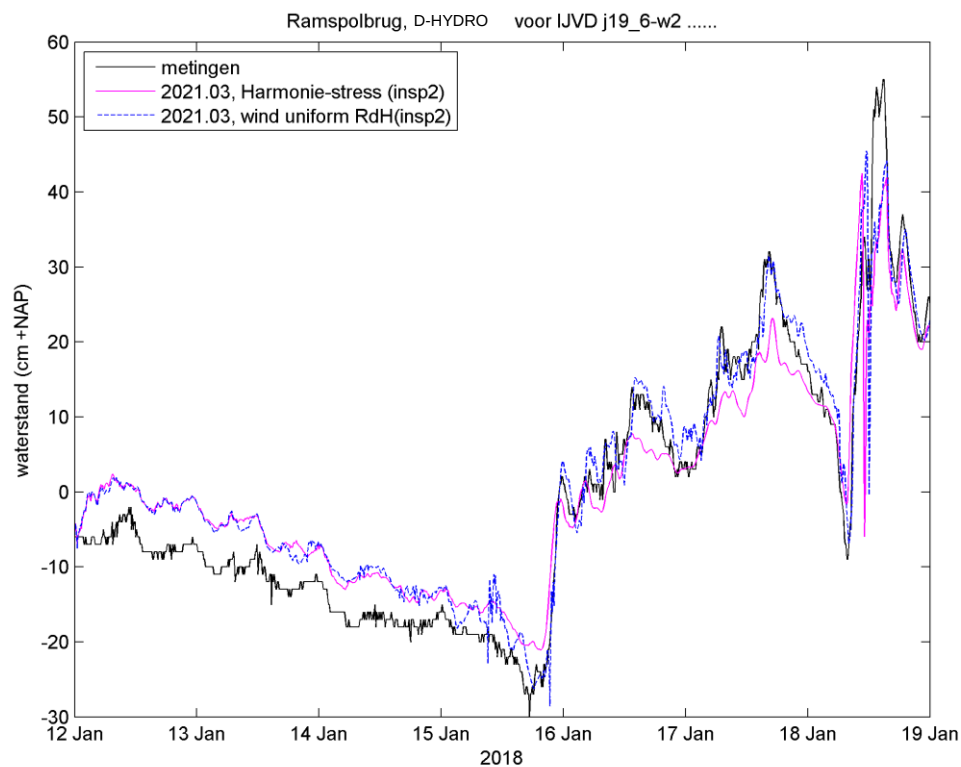
Figuur I-8 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Ketelhaven. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



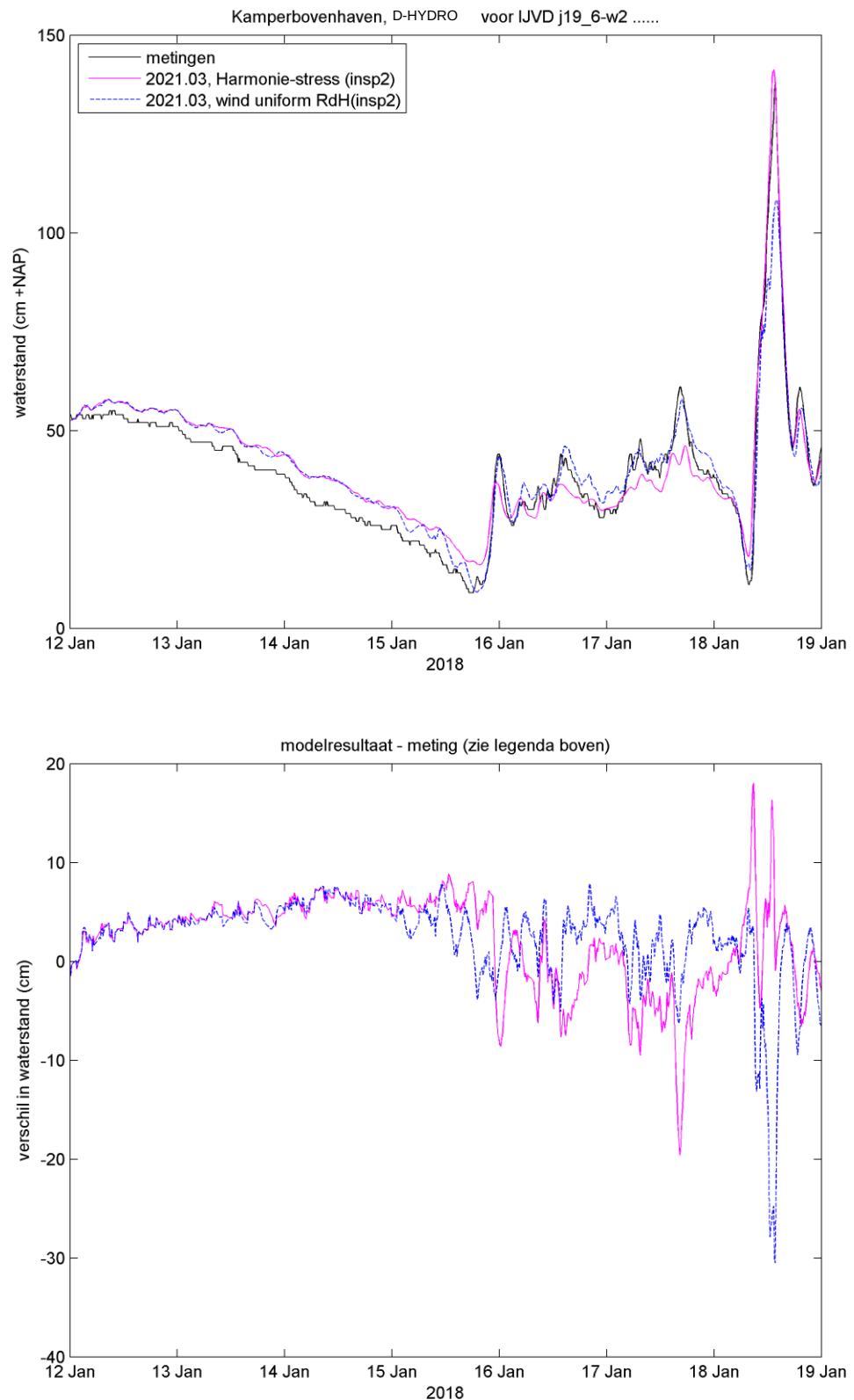
Figuur I-9 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Roggebotsluis noord. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



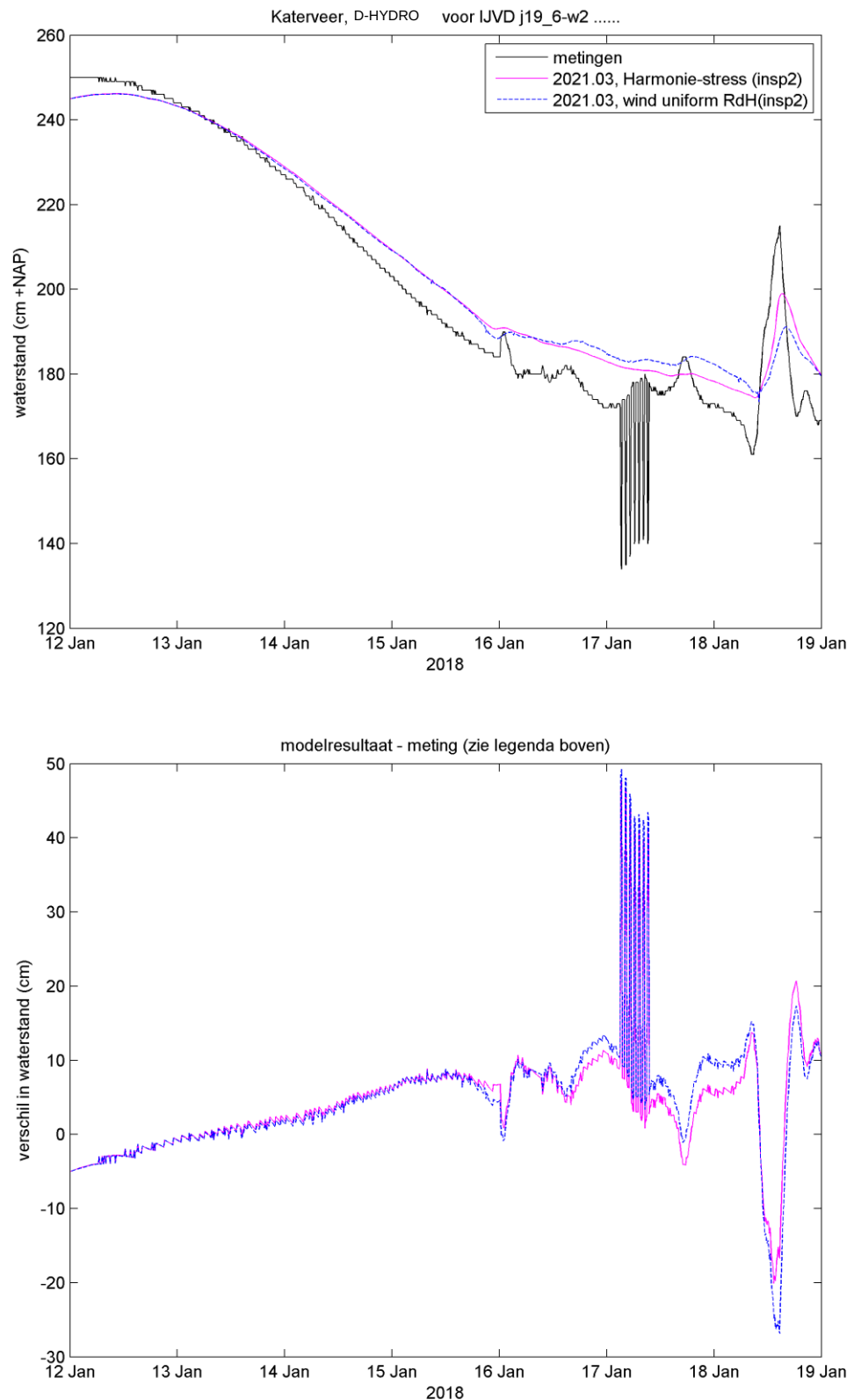
Figuur I-10 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Keteldiep. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



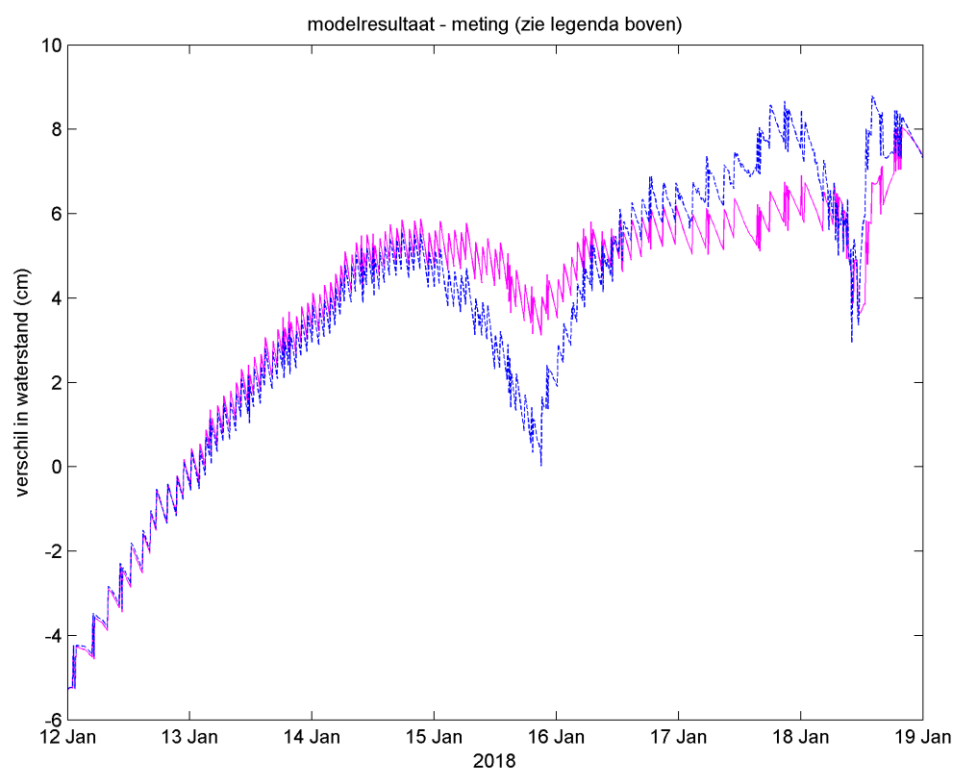
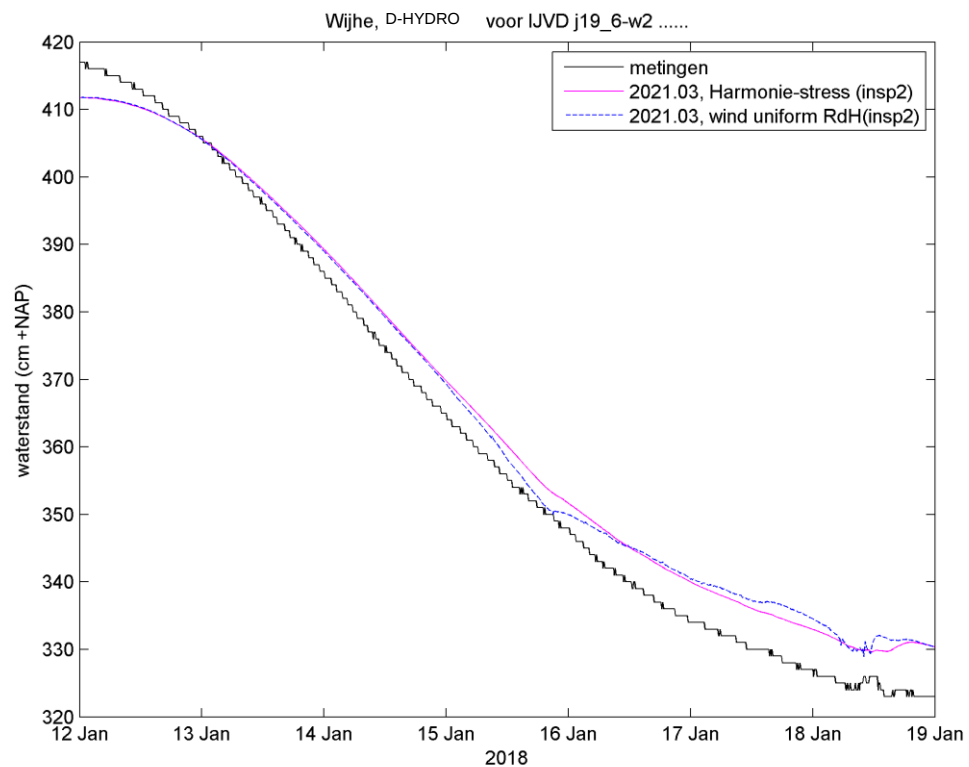
Figuur I-11 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Ramspolbrug. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



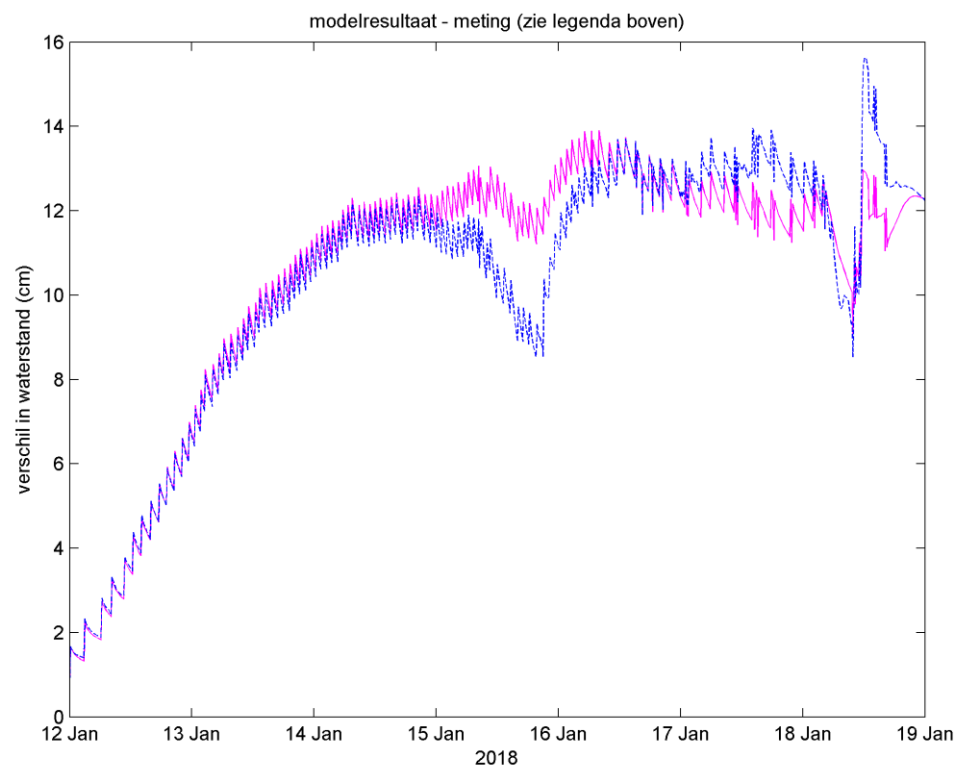
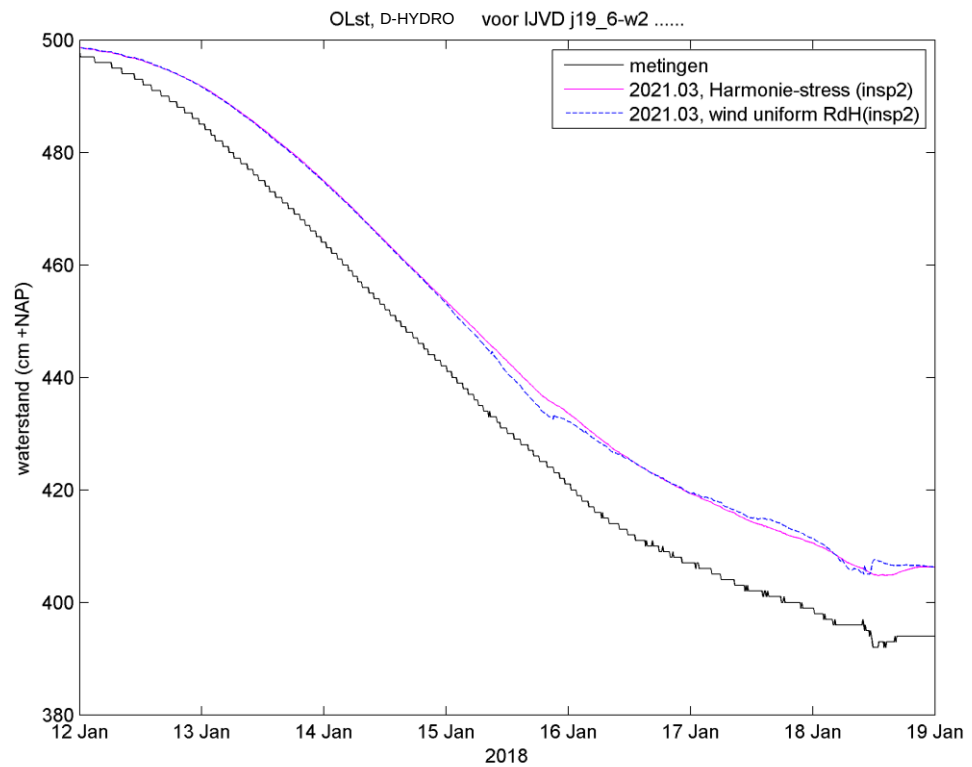
Figuur I-12 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Kamperbovenhaven. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



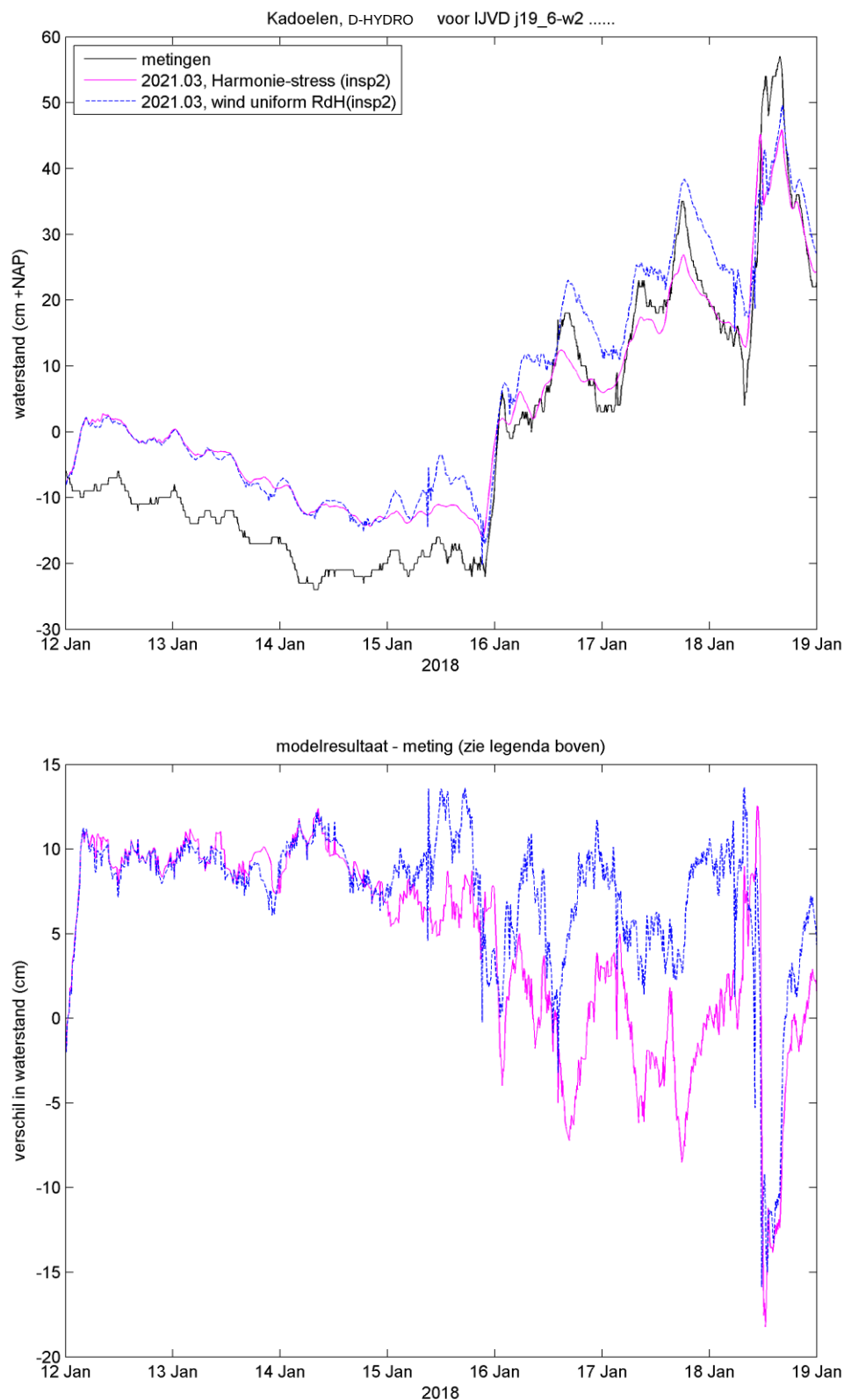
Figuur I-13 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Katerveer. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



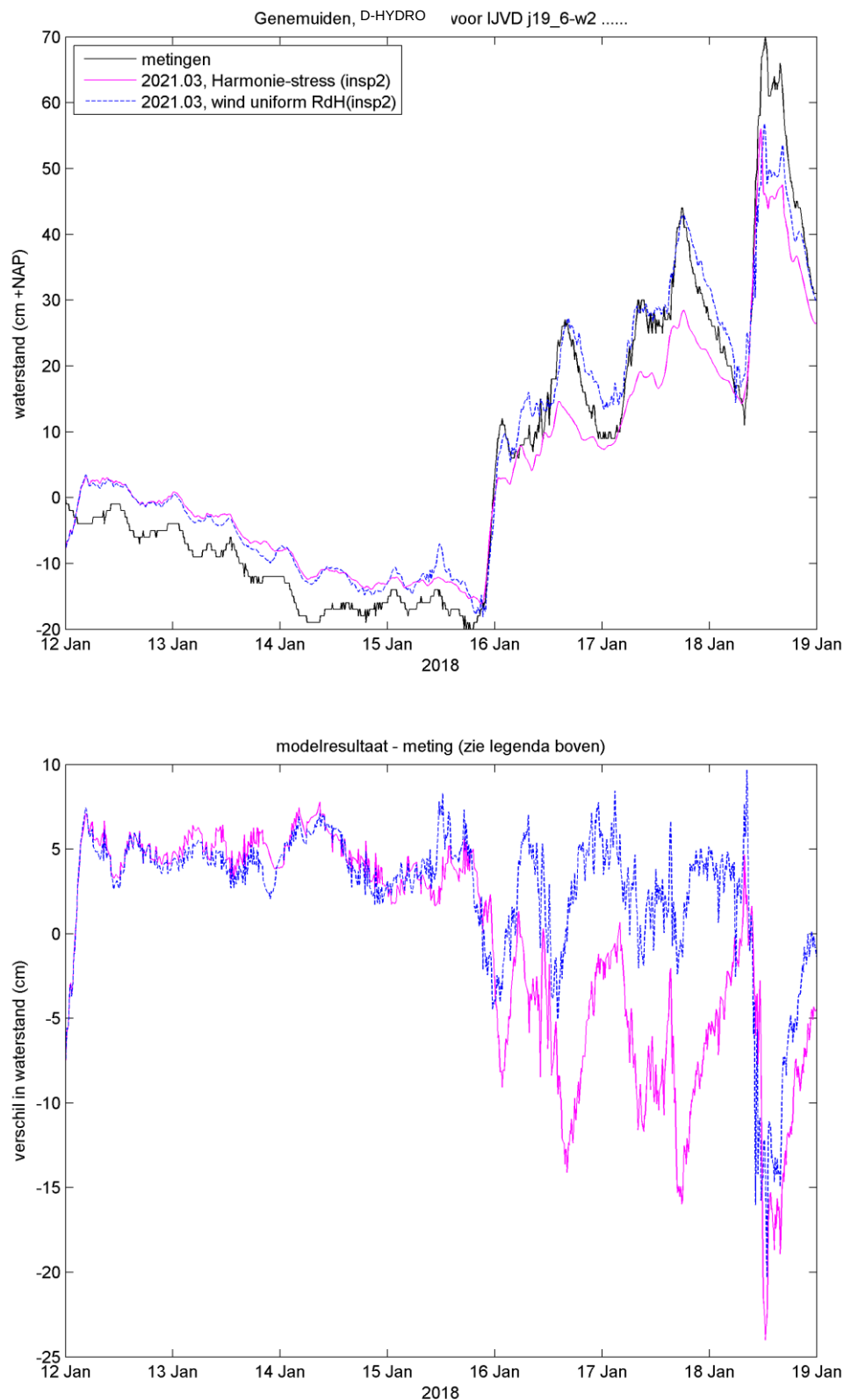
Figuur I-14 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Wijhe. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



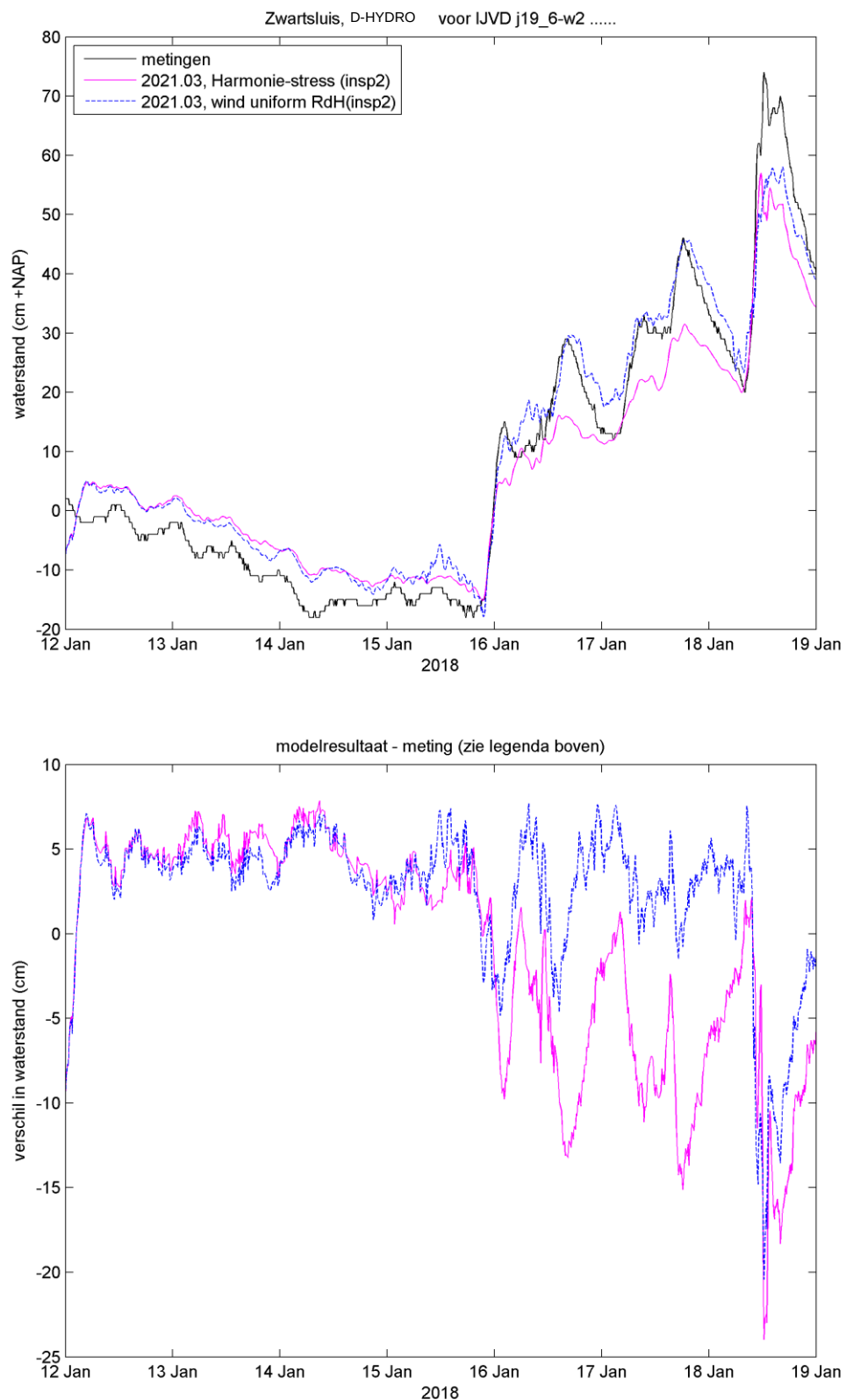
Figuur I-15 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Olst. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



Figuur I-16 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Kadoelen. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].

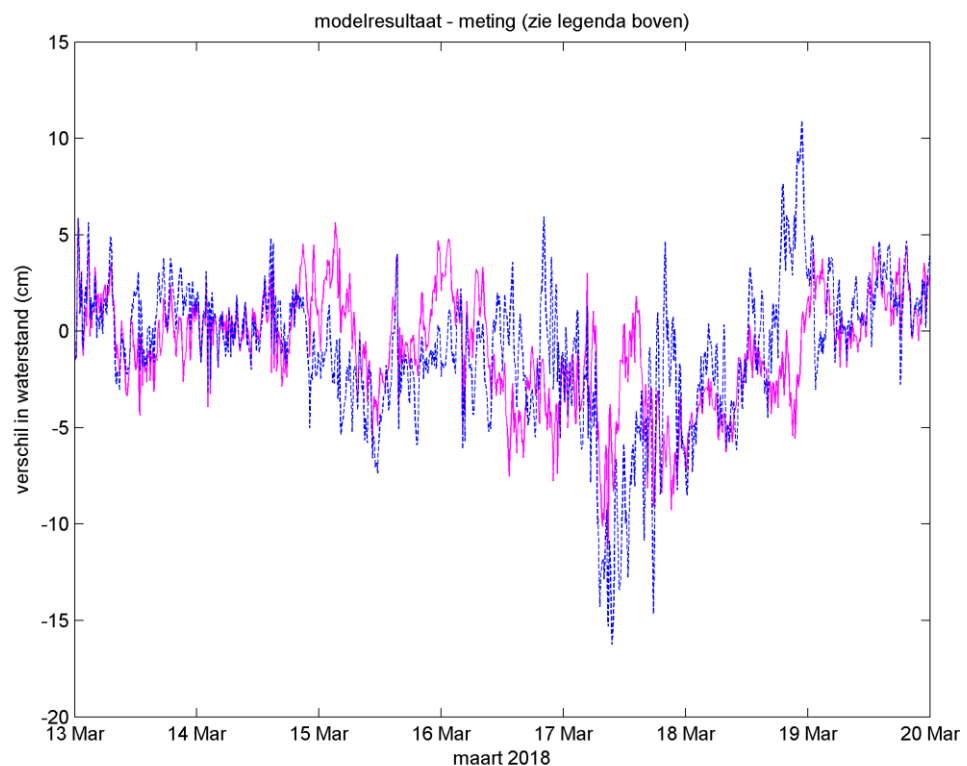
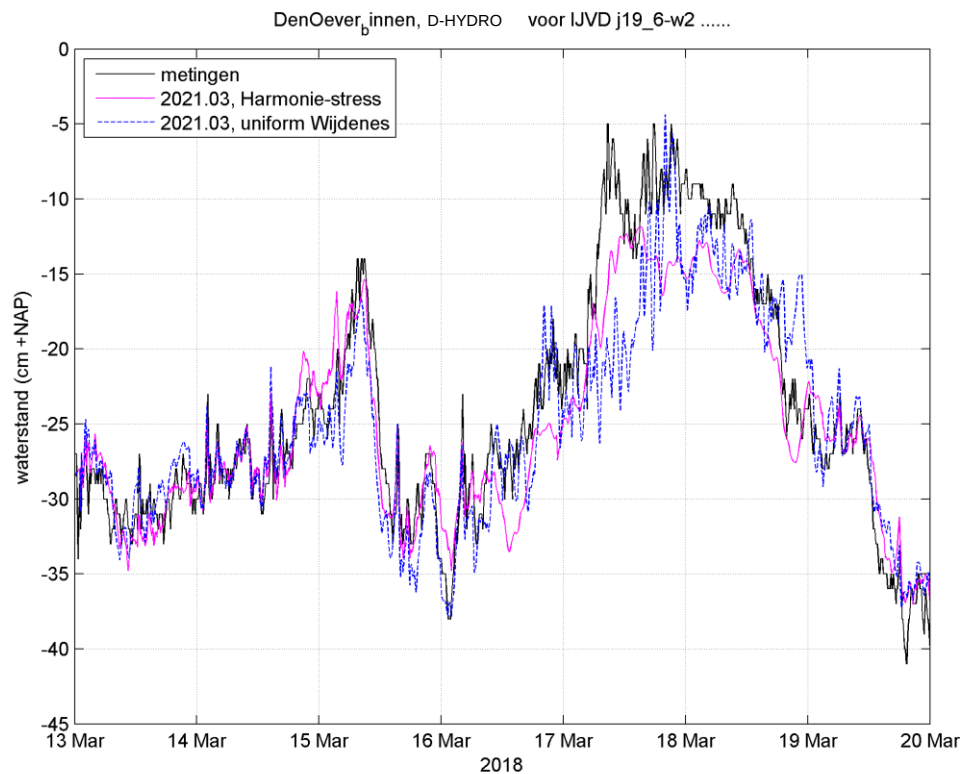


Figuur I-17 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Genemuiden. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].

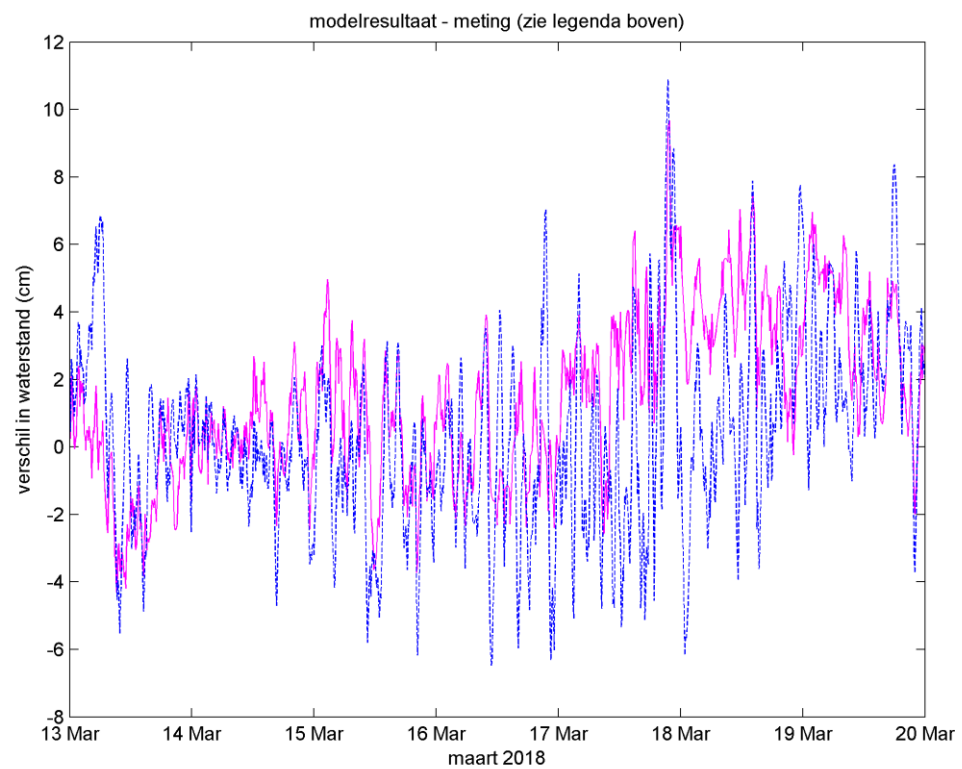
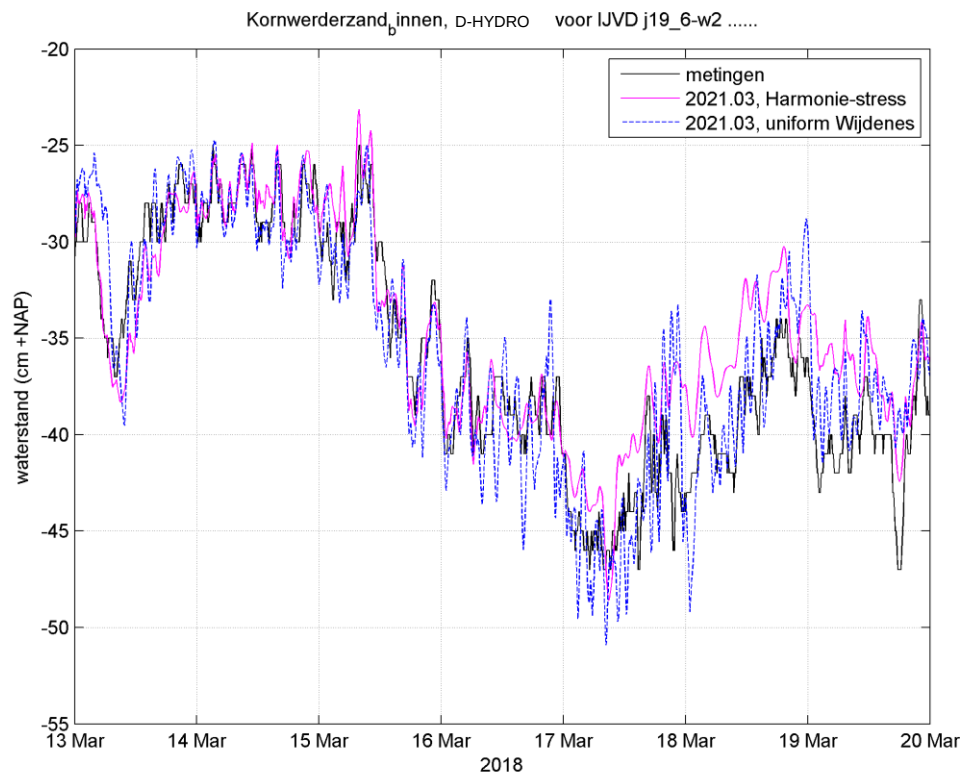


Figuur I-18 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in januari 2018 bij observatiestation Zwartsluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].

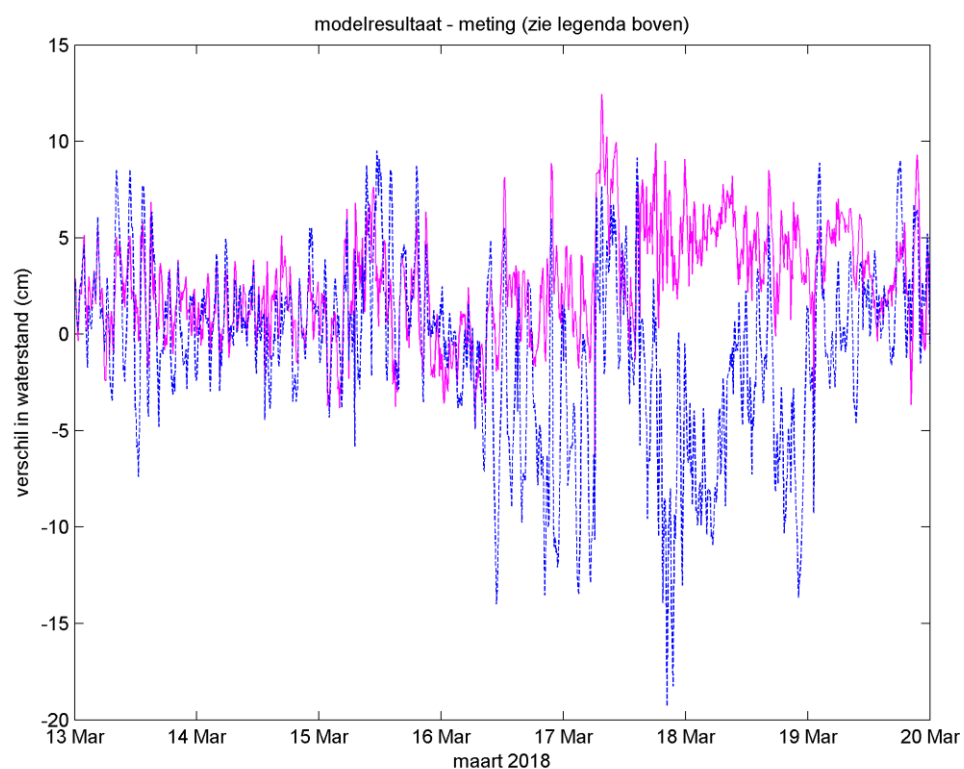
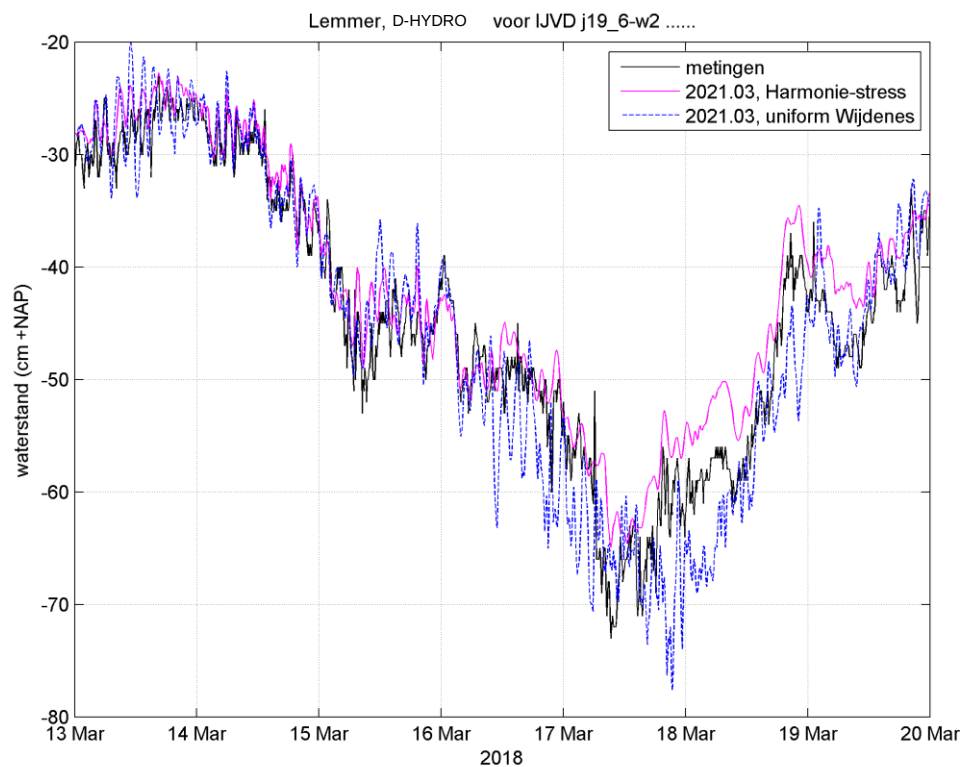
J Figuren alle observatiestations validatie maart 2018



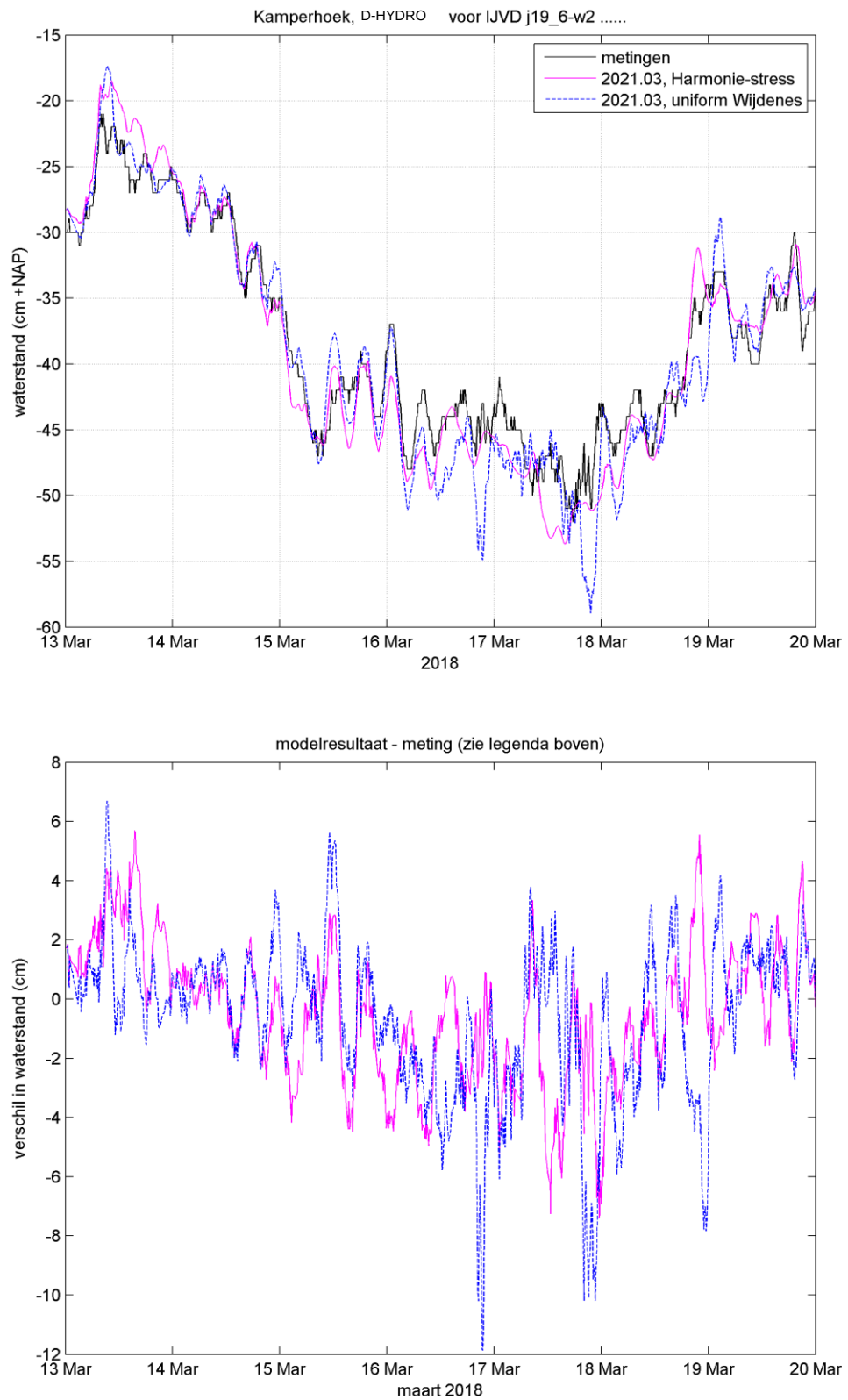
Figuur J-1 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Den Oever binnen. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



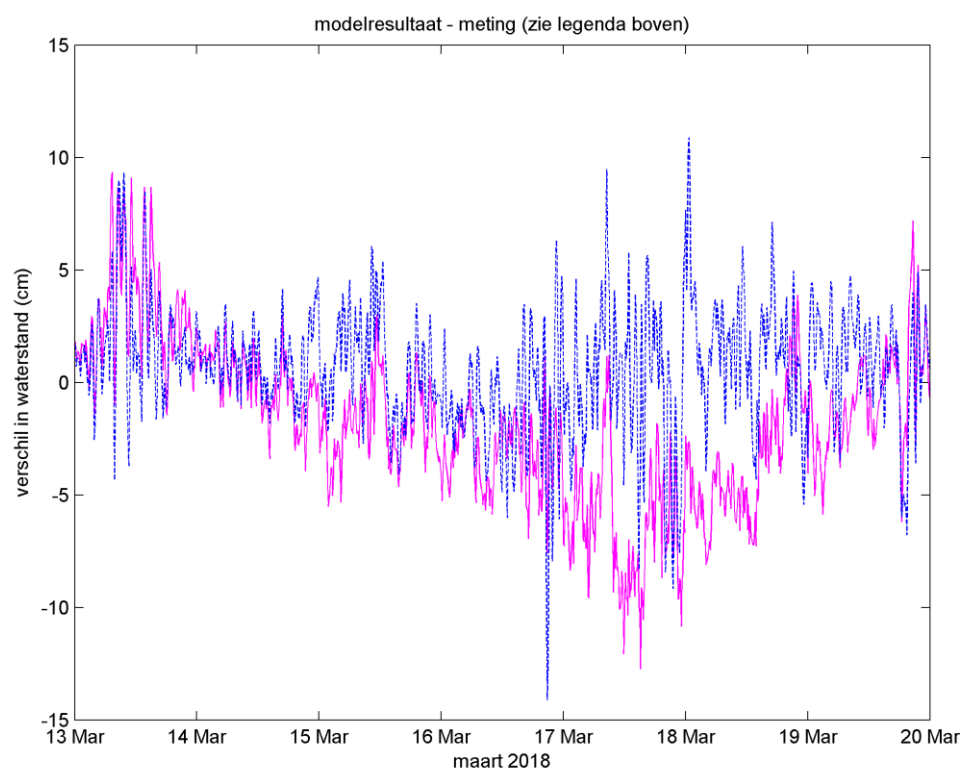
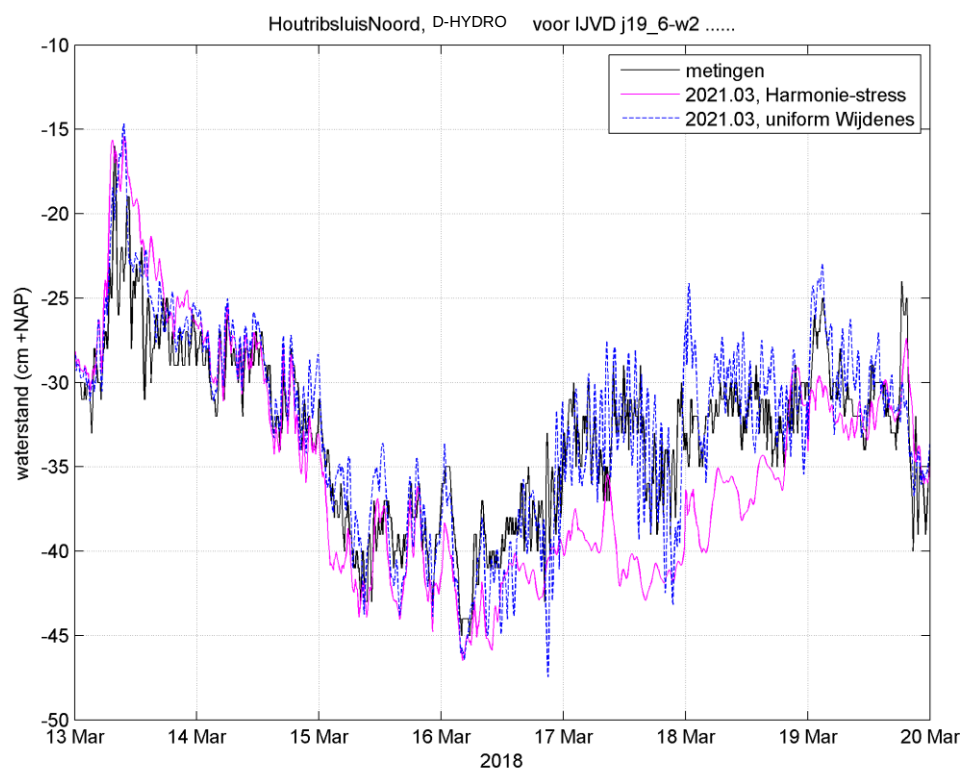
Figuur J-2 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Kornwerderzand binnen. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



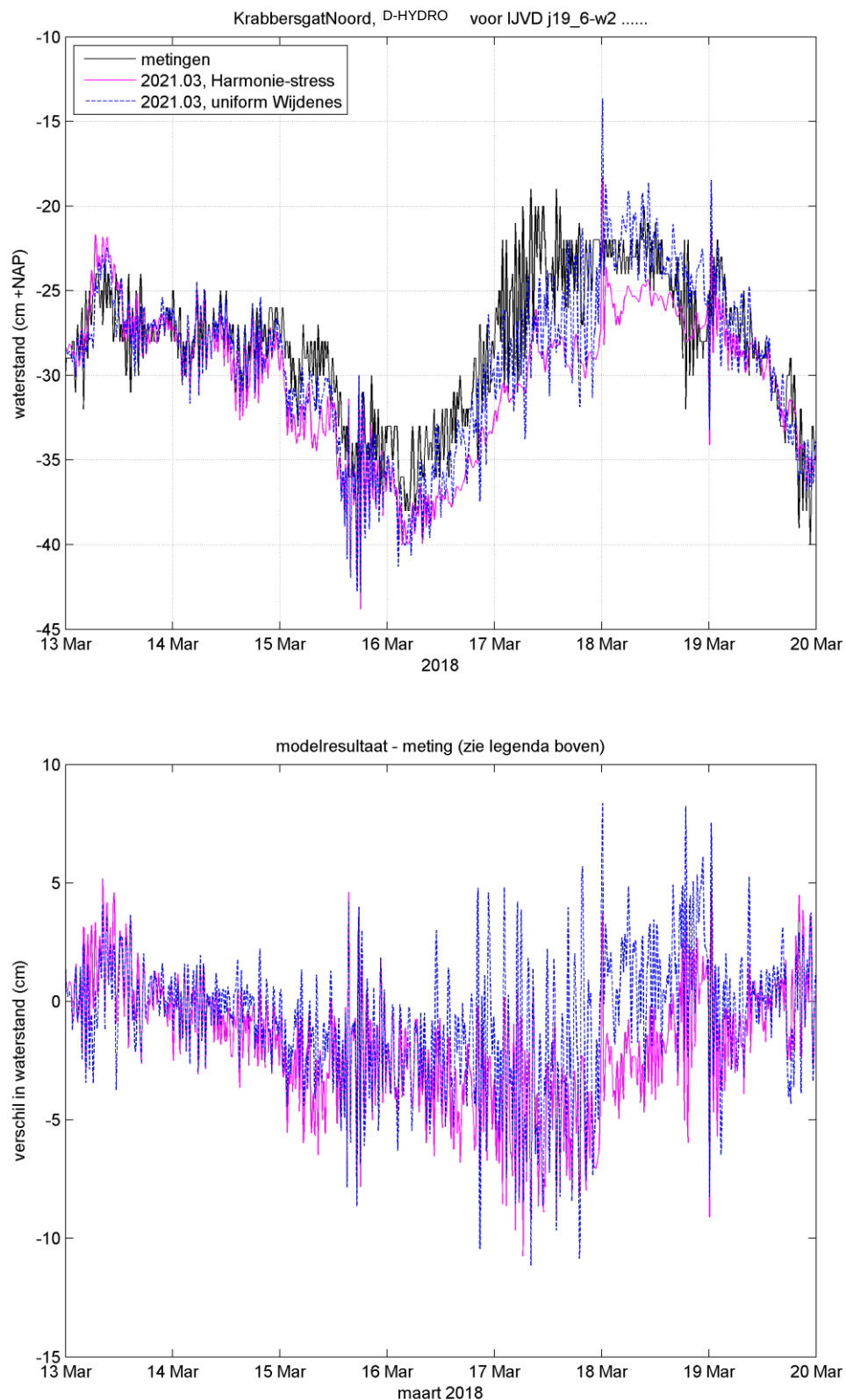
Figuur J-3 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Lemmer. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



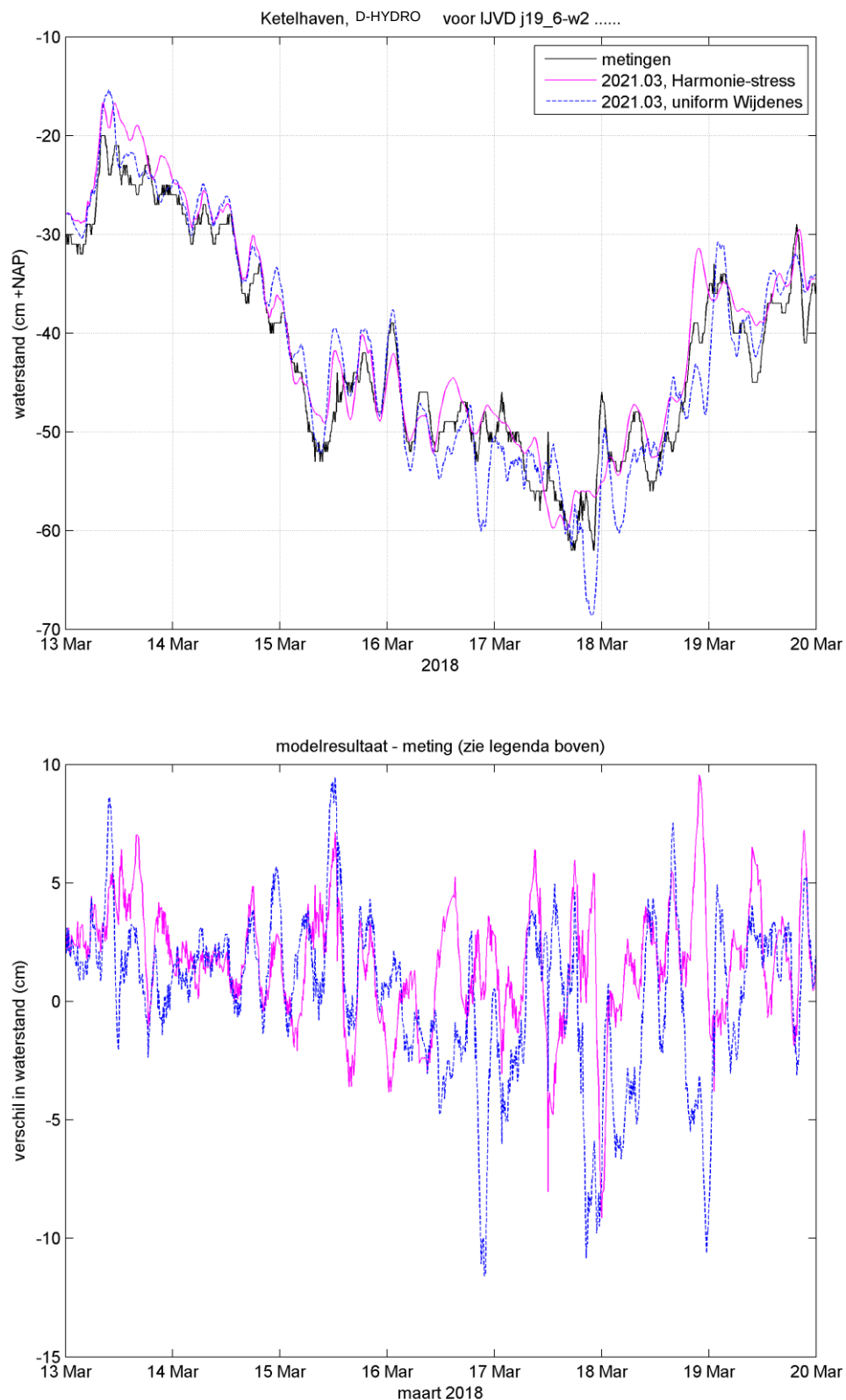
Figuur J-4 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Kamperhoek. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



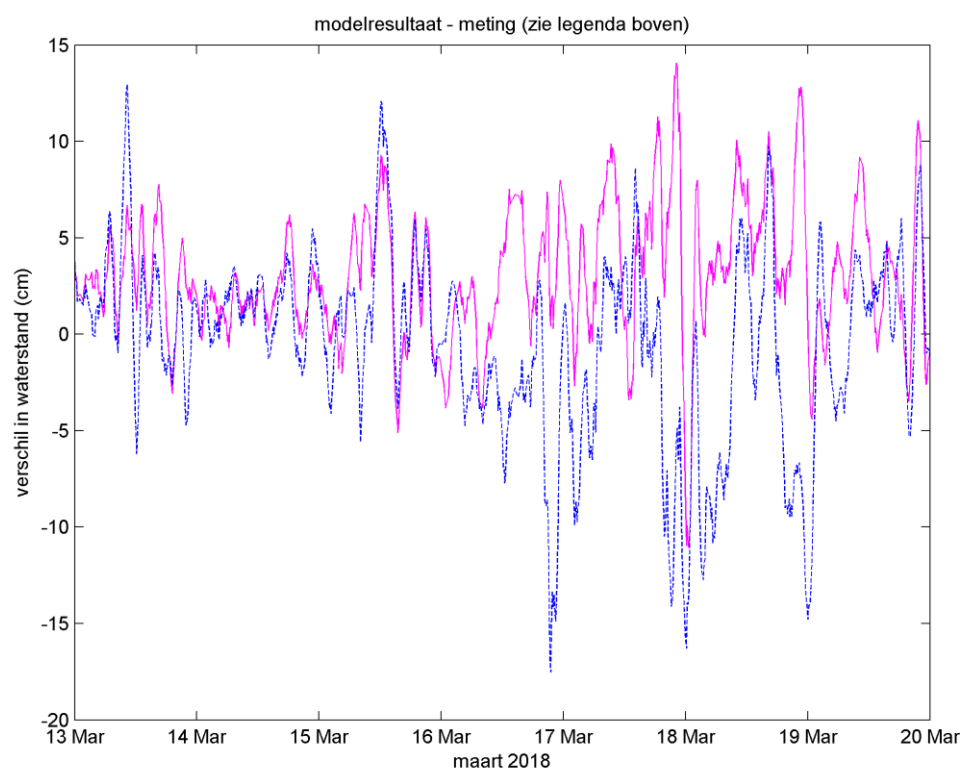
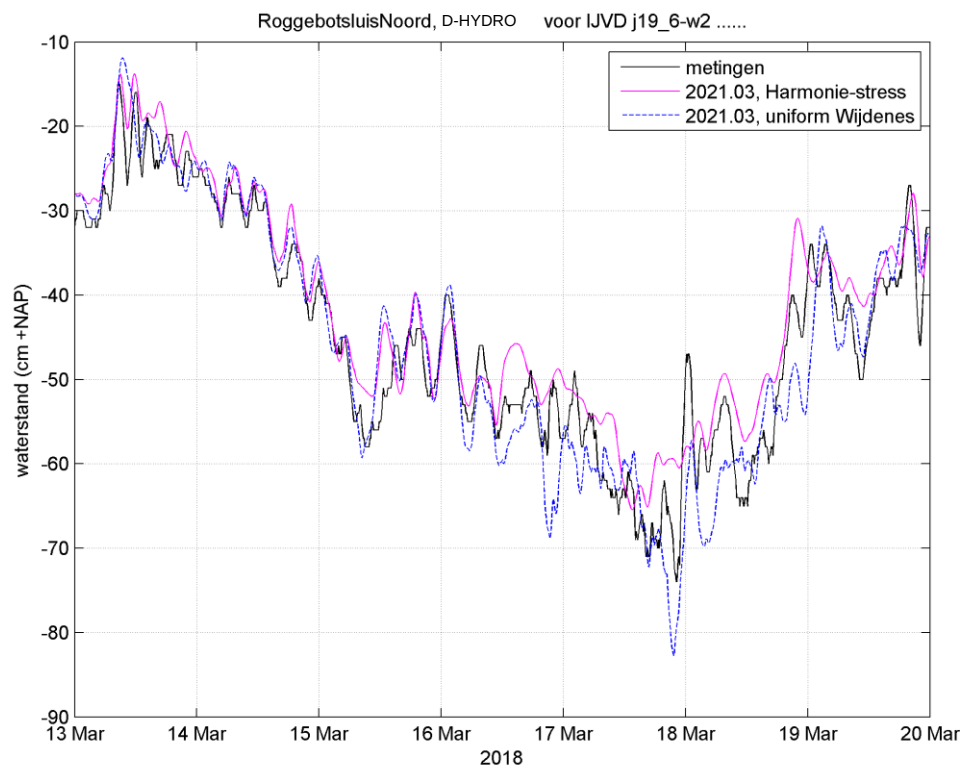
Figuur J-5 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Houtribspuisluizen noord. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



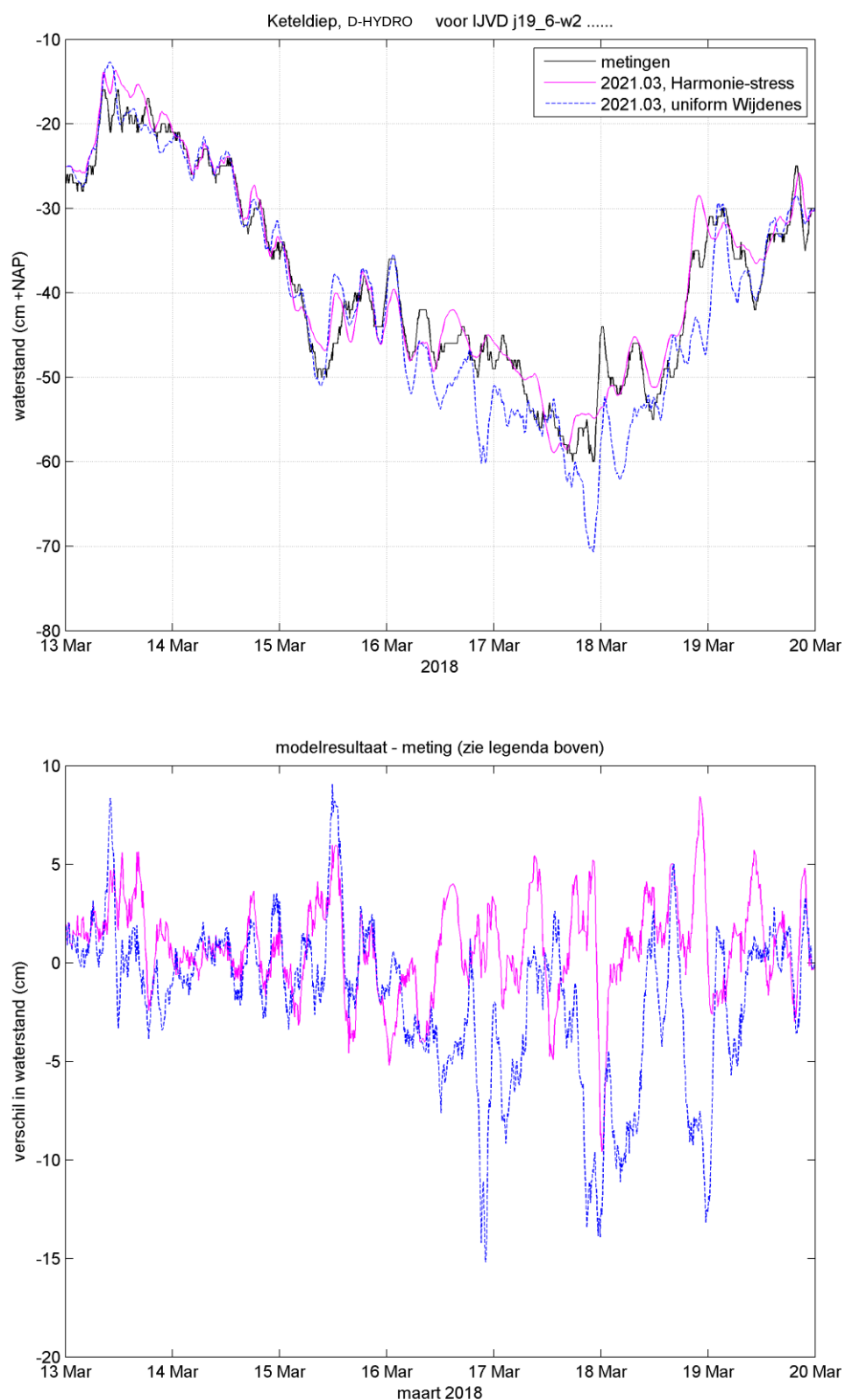
Figuur J-6 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Krabbersgatspuihuizen noord. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



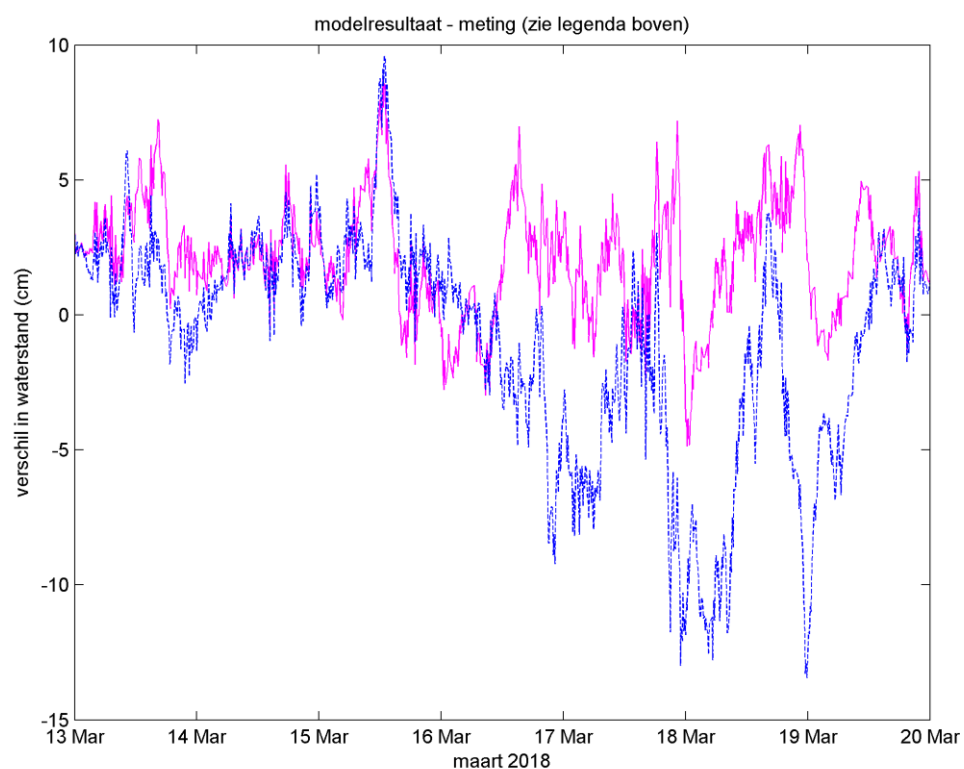
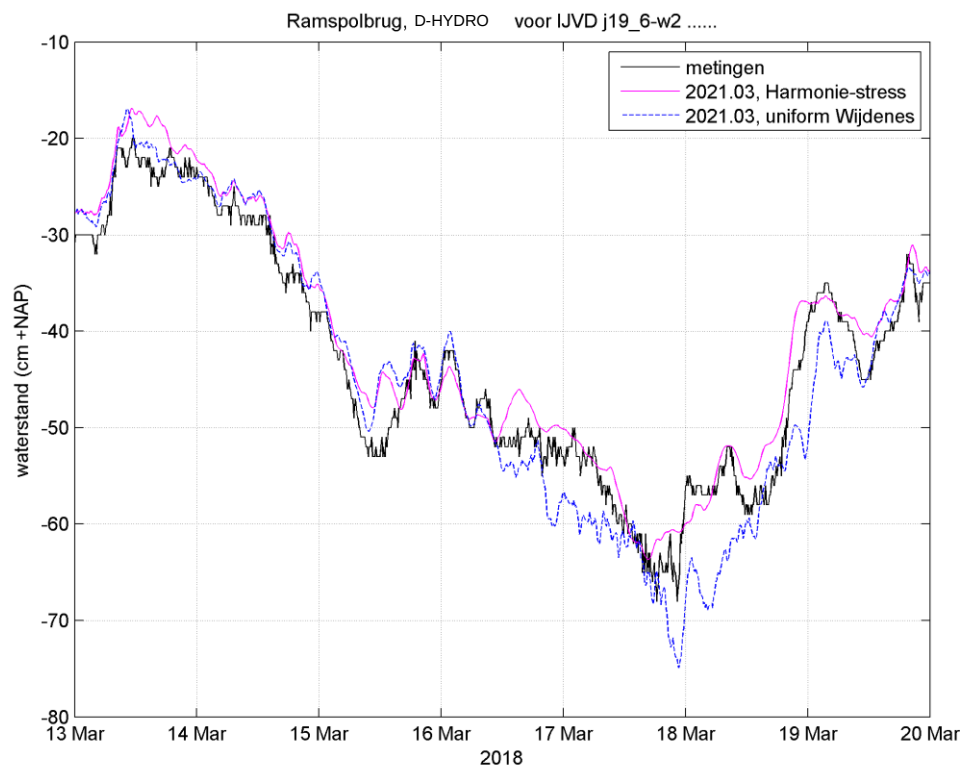
Figuur J-7 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Ketelhaven. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



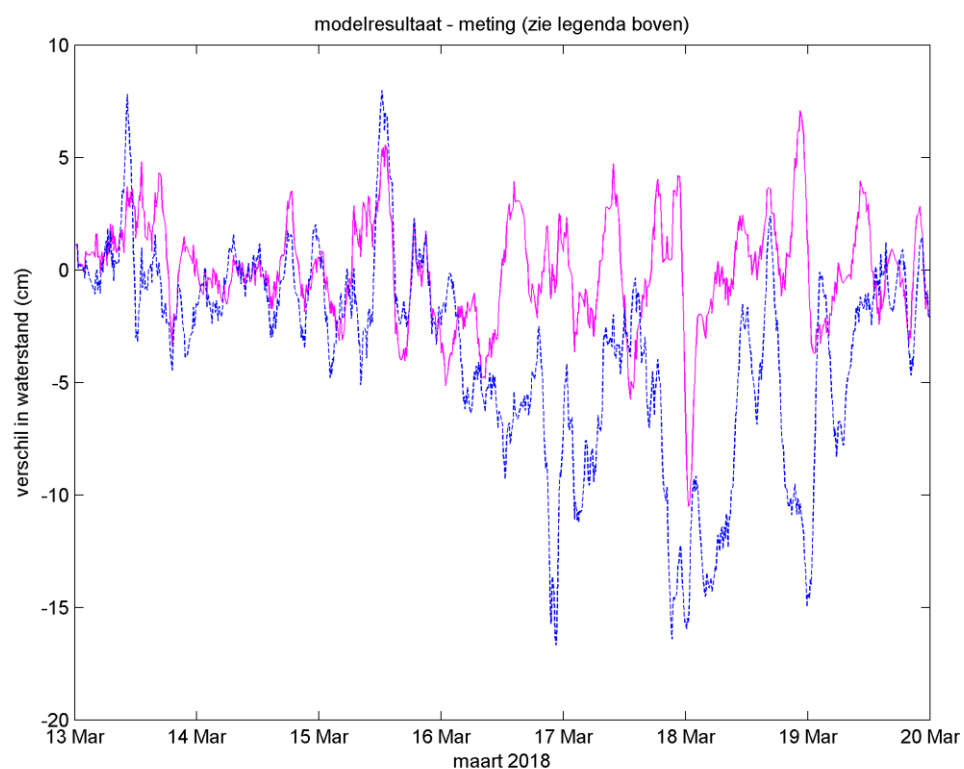
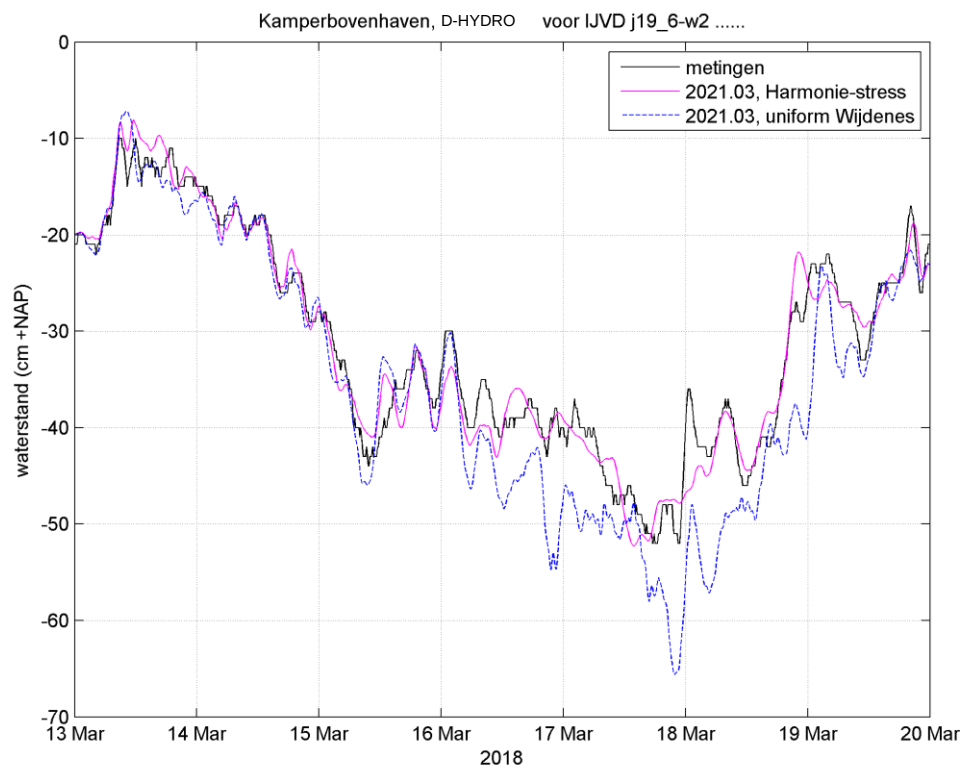
Figuur J-8 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Roggebotsluis noord. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



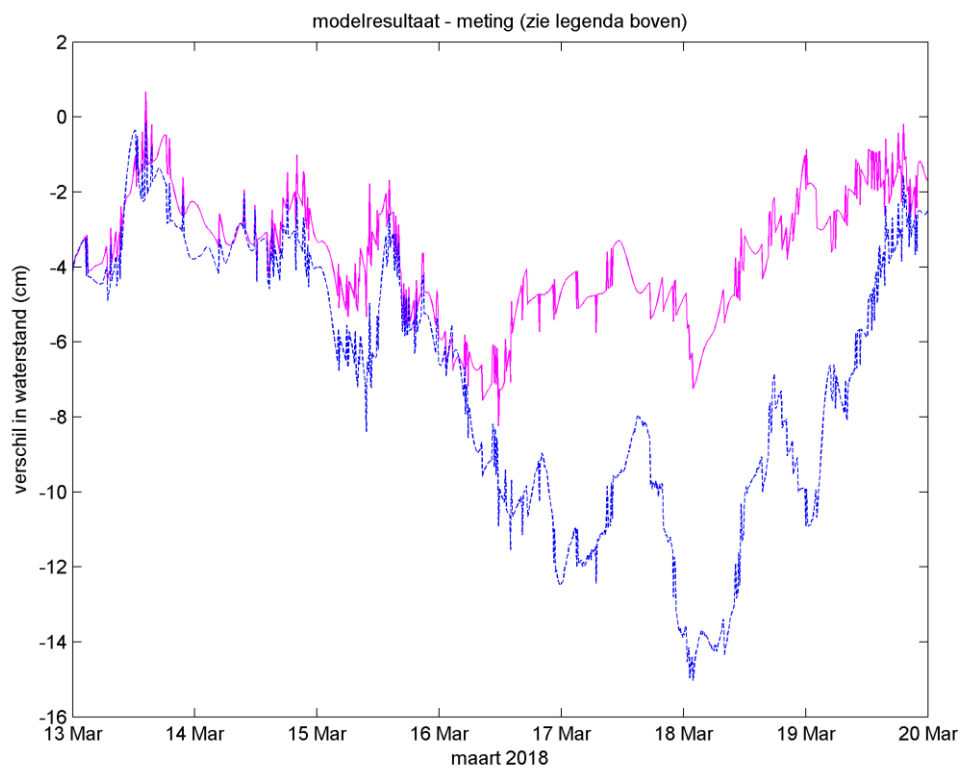
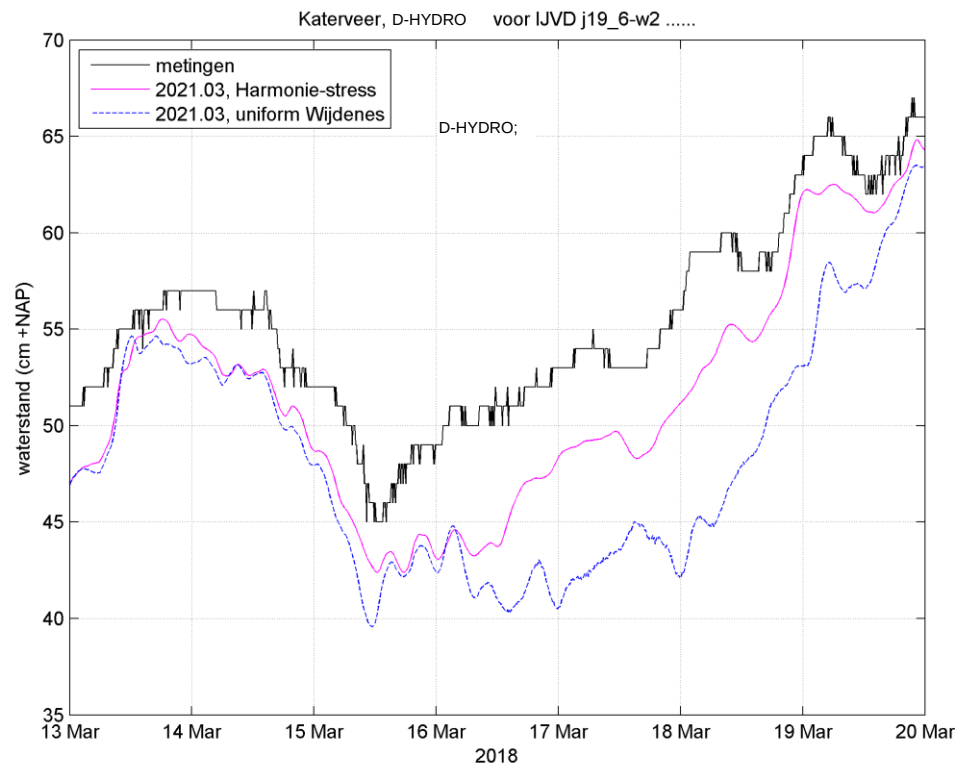
Figuur J-9 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Keteldiep. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



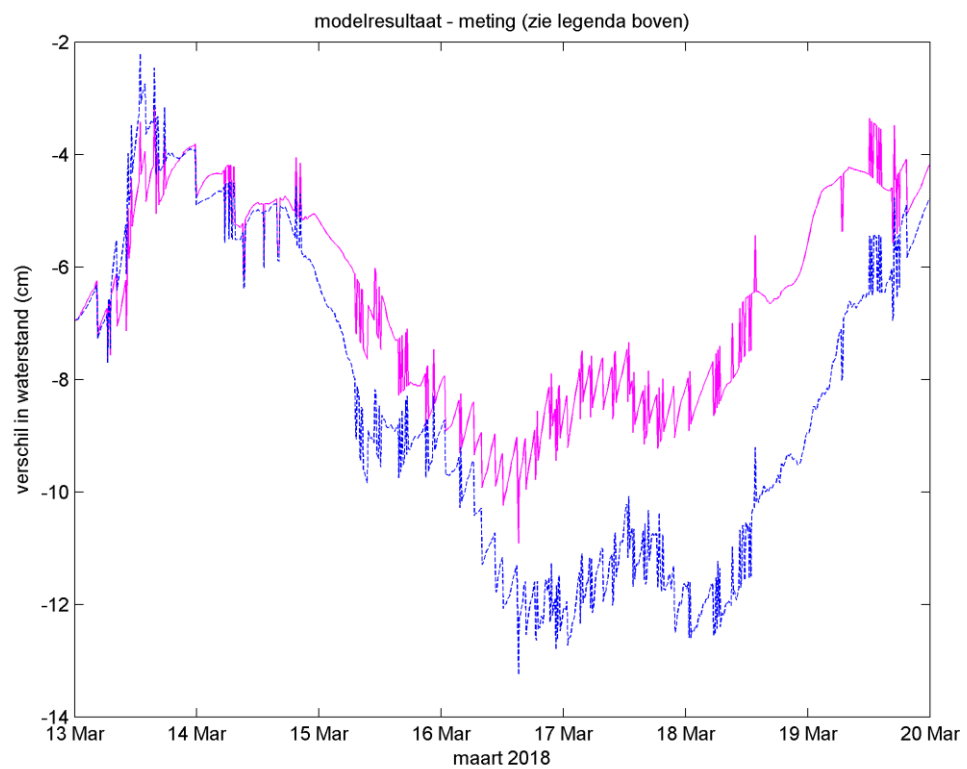
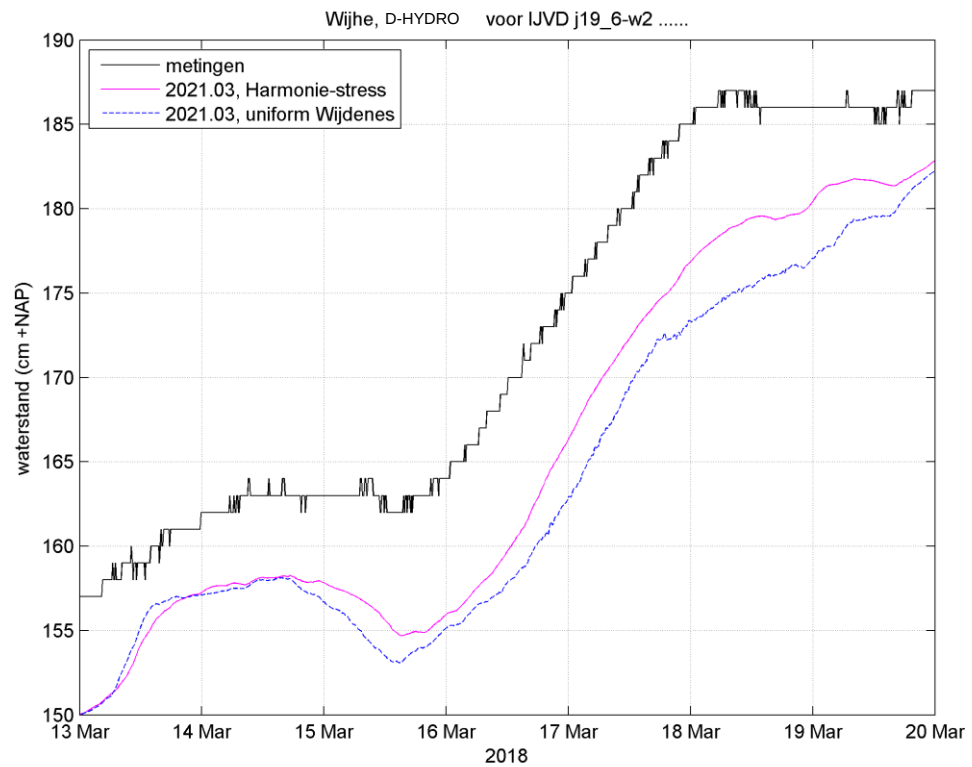
Figuur J-10 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Ramspolbrug. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



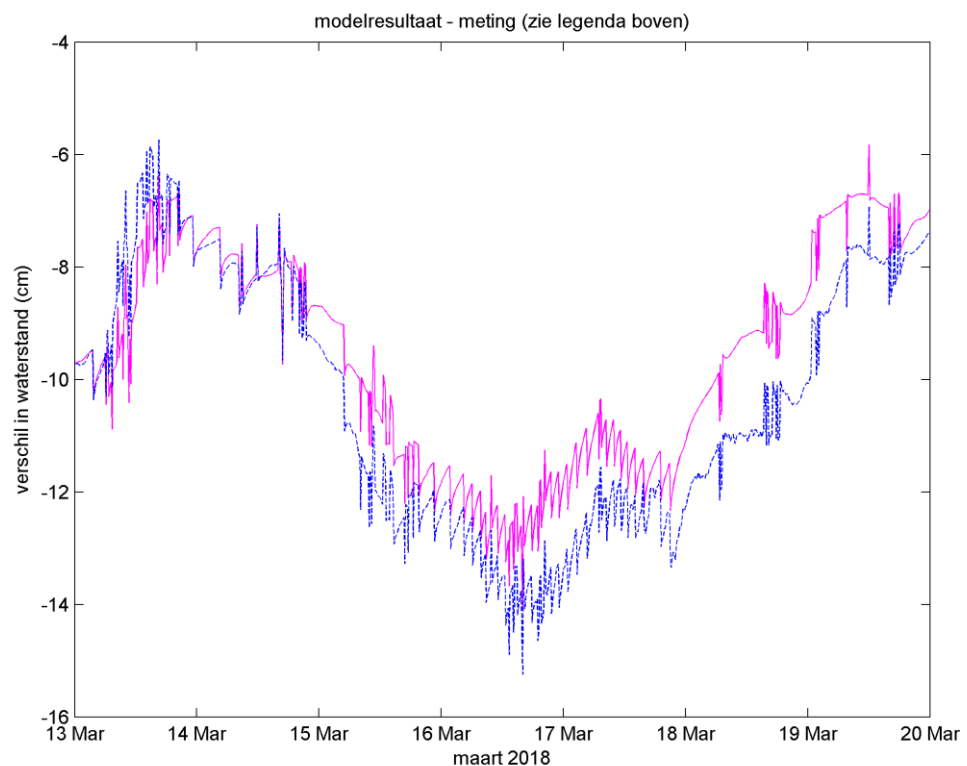
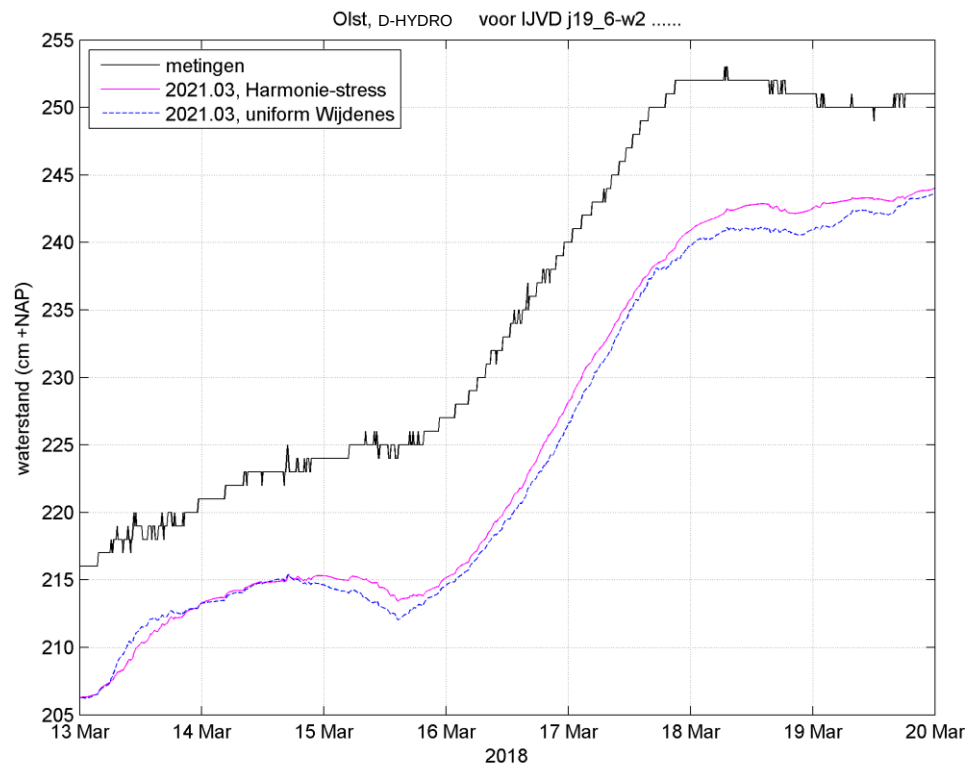
Figuur J-11 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Kamperbovenhaven. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



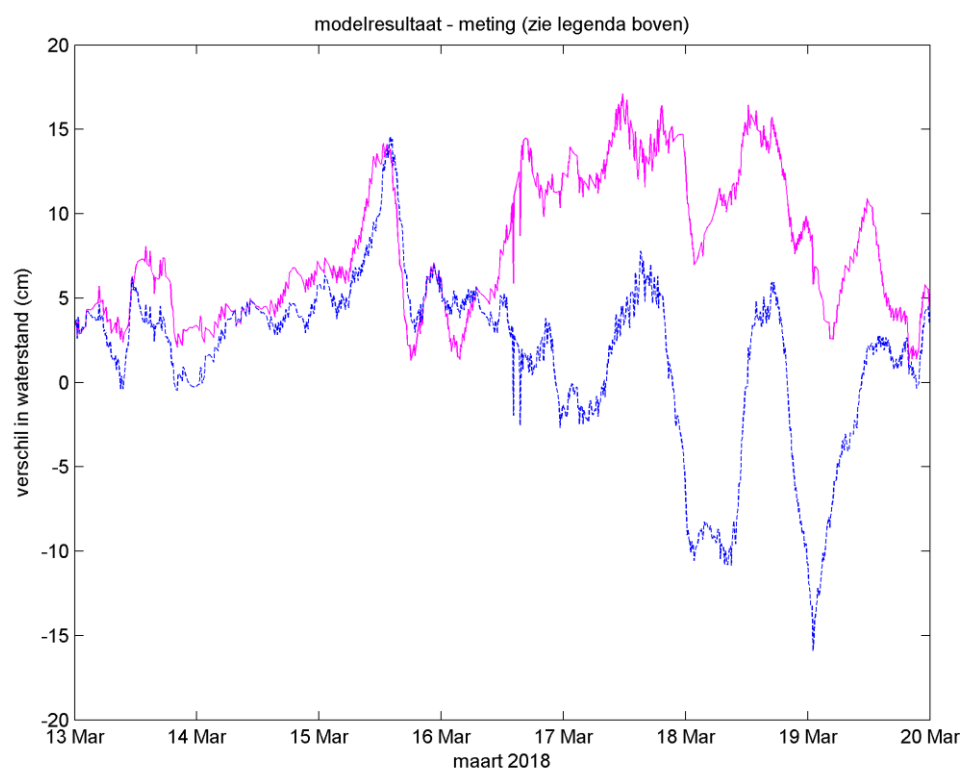
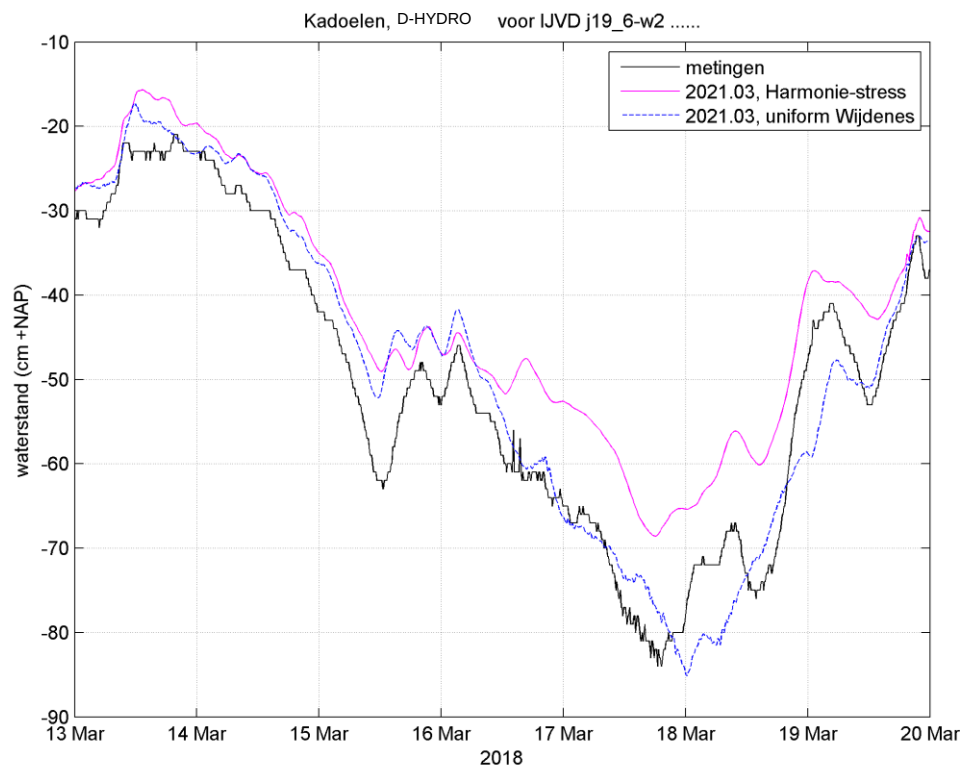
Figuur J-12 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Katerveer. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



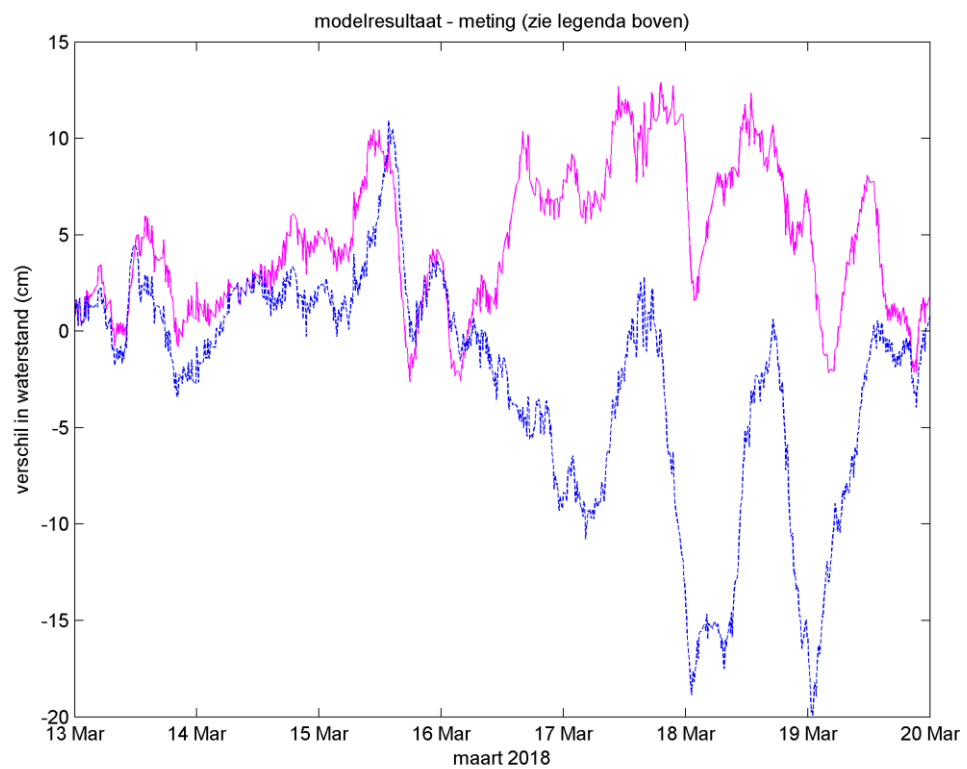
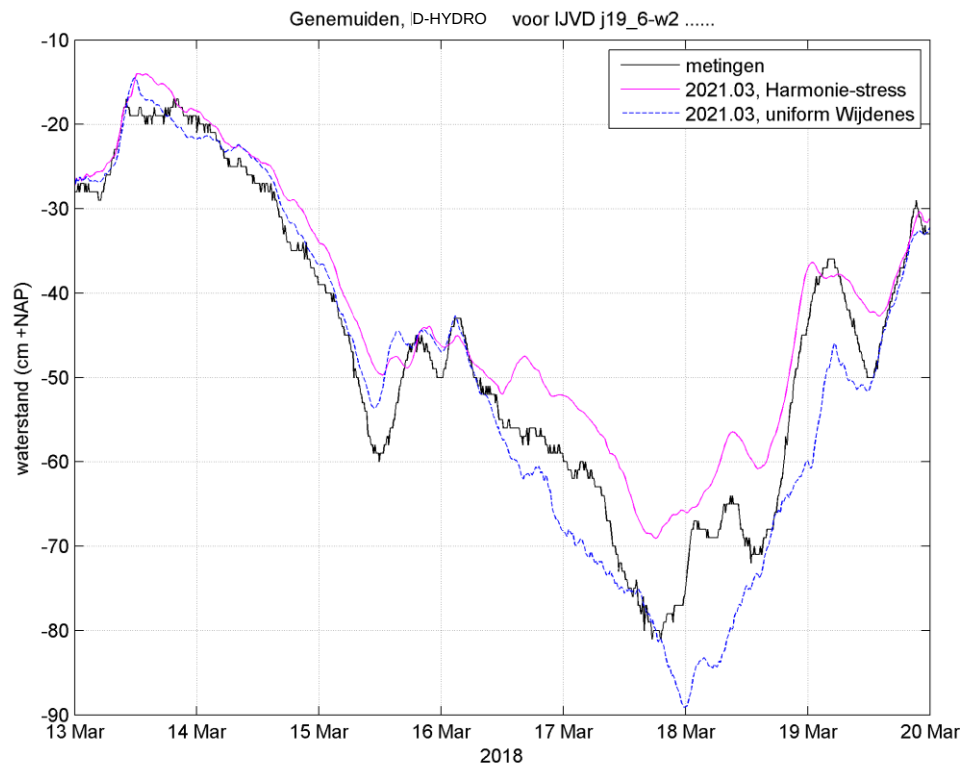
Figuur J-13 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Wijhe. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



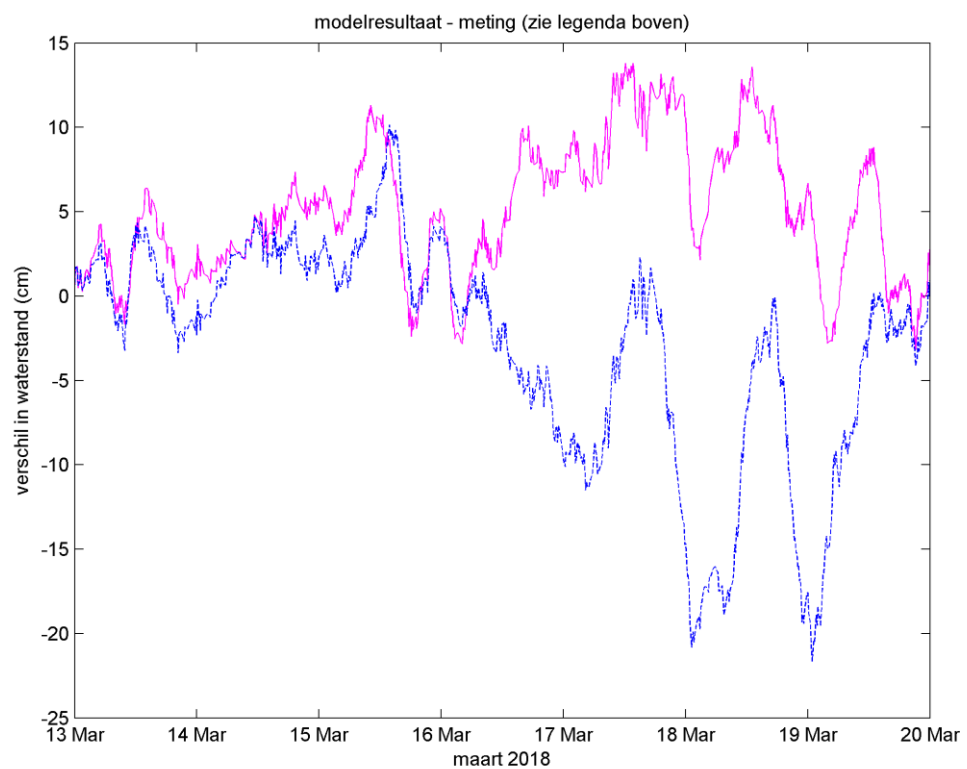
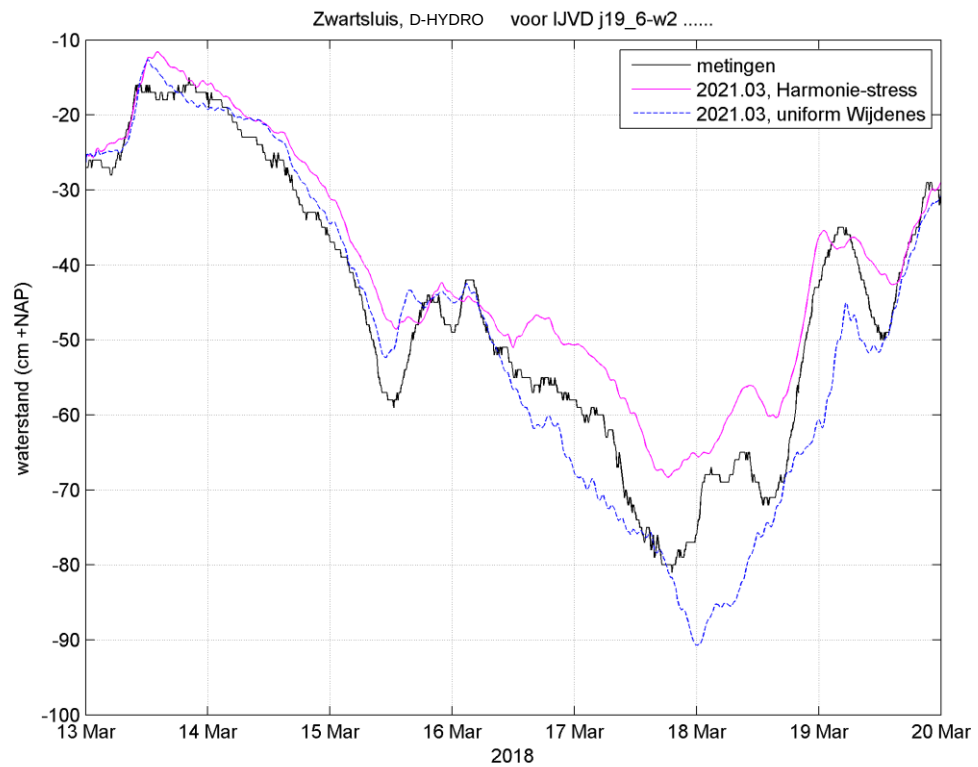
Figuur J-14 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Olst. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



Figuur J-15 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Kadoelen. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



Figuur J-16 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Genemuiden. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



Figuur J-17 Vergelijking van gemeten en met D-Flow FM met verschillende windforceringen berekende waterstand voor de stormperiode in maart 2018 bij observatiestation Zwartsluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].

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

Deltares

www.deltares.nl