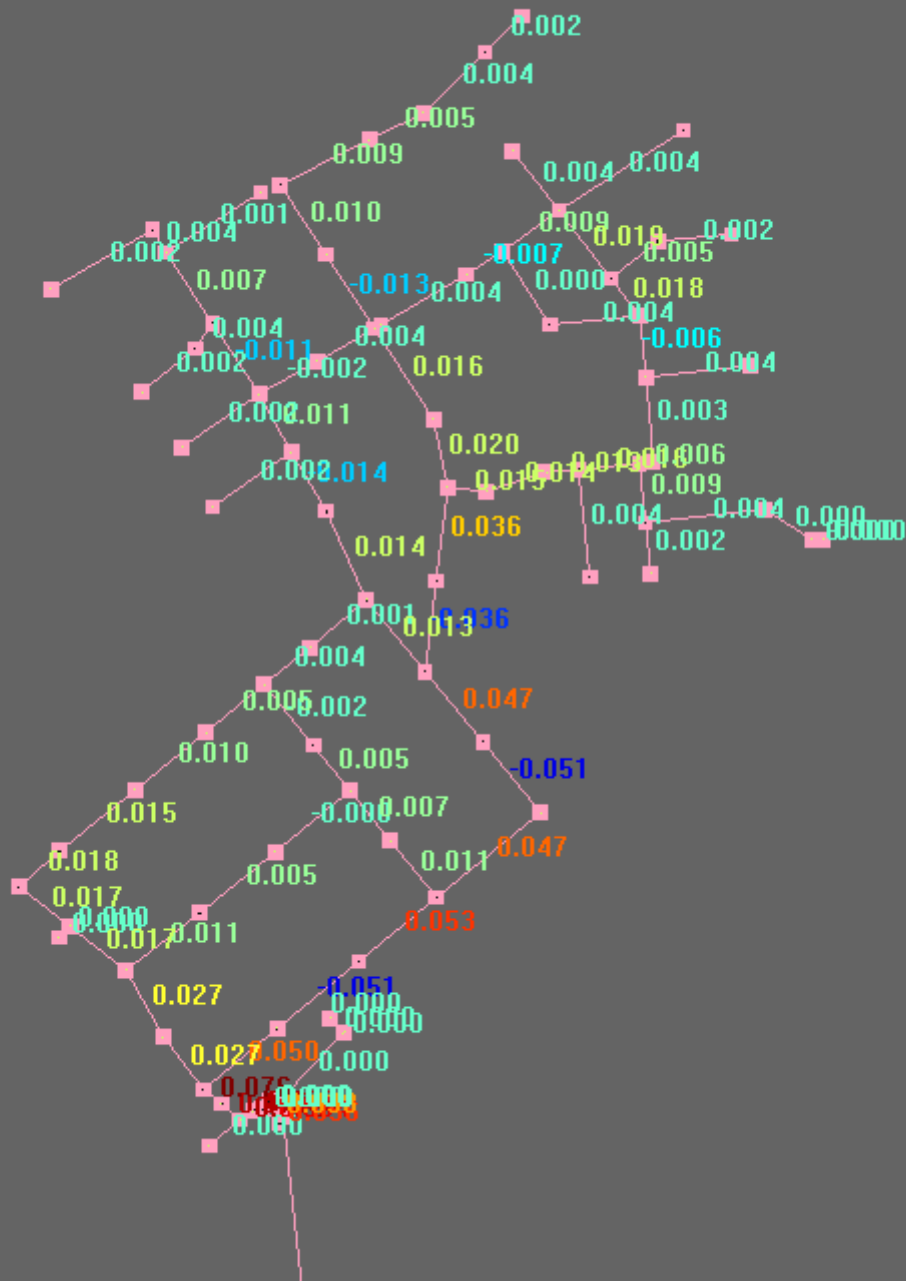


D-Hydro, de toekomst van Sobek?

Afstudeerrapportage over de ontwikkeling van
D-Hydro Urban wateroverlast modelsoftware.



D-Hydro, de toekomst van Sobek?

Afstudeerrapportage over de ontwikkeling van
D-Hydro Urban wateroverlast modelsoftware.

Datum publicatie:	14 juni 2017
Versie publicatie:	1.0
Titel :	D-Hydro, de toekomst van Sobek?
Ondertitel:	Afstudeerrapportage over de ontwikkeling van D-Hydro Urban wateroverlast modelsoftware
Opdrachtgever:	Antea Group
Adres:	Zutphenseweg 31D, 7418 AH, Deventer
Bedrijfsbegeleider(s):	Niels IJsseldijk, Benno Steentjes
Opleidingsinstantie:	Hogeschool Rotterdam, Academieplein
Opleiding:	Watermanagement BSc
Adres:	G.J. de Jonghweg 4-6, 3015 GG, Rotterdam
Stagebegeleider:	Anabel Méndez Lorenzo
Auteur:	Brian Kaptein



Voorwoord

In het kader van mijn bachelor voor de opleiding Watermanagement van de Hogeschool Rotterdam, heb ik in de periode van februari tot juli 2018 afstudeeronderzoek uitgevoerd op het gebied van het voorspellen van wateroverlast in stedelijk gebied. Dit onderzoek is uitgevoerd voor en in samenwerking met Antea Group en Deltares en TKI.

Met de basiskennis modelleren stapte ik in deze opdracht. Afgelopen week gaf ik een presentatie op de Deltares Software Dagen over de ontwikkeling van de nieuwe feature D-Hydro Urban. Nogal een vooruitgang als je het mij vraagt. De kennis rondom wateroverlast modellen, die ik in de afgelopen paar maanden heb opgedaan is flink verbreed. Buiten de opgedane kennis van de opleiding ben ik mij gaan verdiepen in de verschillende modelleer methodes binnen het werkveld en ben ik veelvuldig aan de slag geweest met het ontwikkelen en testen van modellen in Sobek en DFlow FM. Daarbij kwam ook de validatie van de uitkomsten, waar de opgedane watermanagement techniek goed van pas kwam. Door veelvuldig testen en verbeteren van de software is het mogelijk geweest dit onderzoek te laten worden wat het nu is.

Allereerst wil ik Niels IJsseldijk van Antea Group bedanken voor de mogelijkheid die hij mij gegeven heeft om aan dit onderzoek te mogen starten. Verder ben ik hem en Benno Steentjes ook dankbaar voor de begeleiding die ik van hun heb gekregen binnen Antea Group. Ook wil ik Niels bedanken voor de aangeleverde kennis rondom de casus Waardenburg. Daarnaast wil ik Didrik Meijer van Deltares bedanken voor de vele uren aan werksessies en voor de kennis rondom de nieuwe D-Hydro Urban software. Ik heb hier enorm veel van geleerd en zal de kennis en werkwijze gedurende het onderzoek zeker meenemen naar projecten in de toekomst. Ook ben ik Anabel Mendez als begeleider vanuit de Hogeschool Rotterdam dankbaar voor haar procesmatige ondersteuning binnen de afstudeerperiode. Verder wil ik een ieder bedanken die op een of andere manier heeft bijgedragen aan het uiteindelijke eindresultaat van dit onderzoek.

Tot slot wil ik alle overige betrokkenen van Antea Group bedanken voor de samenwerking en de leuke momenten. Ik kijk terug op een periode, waarin ik met veel plezier veel nieuwe vaardigheden heb ontwikkeld. Ik wens u voor dit afstudeerrapport veel leesplezier toe.

Brian Kaptein

Deventer, 14 juni 2018

Samenvatting

Het voorkomen van wateroverlast vanuit neerslag wordt binnen Nederland een steeds prominentere opgave. De steeds vaker voorkomende piekbuien, als gevolg van klimaatverandering zorgt dit vooral in stedelijk gebied, dat straten blank komen te staan of huiseigenaren water in de kelders ervaren. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt in hinder, ernstige hinder en overlast. Binnen Antea Group wordt momenteel al veelvuldig gebruik gemaakt van modelsoftware om water op straat situaties na te bootsen. Aan de hand van de uitkomsten in de modellen wordt gekeken naar passende maatregelen, waarmee de betreffende waterhoeveelheden op straat op te lossen zijn, verminderen of naar plekken worden gestuurd waar dit geen overlast veroorzaakt. Daarbij geven modellen met maatregelen ook weer wat en hoe groot het effect van een betreffende maatregel is.

Dit onderzoek is voortgekomen uit een eerder in Sobek uitgevoerde integrale analyse voor de casus Haaften. De uitkomst gaf een heel nieuw, maar ook realistischer beeld op de betreffende situatie. Door een realistischer beeld van de werkelijke praktijksituatie, is de vraag naar het uitvoeren van integrale analyses aan het toenemen. Echter was de rekentijd van deze integrale analyse in Sobek 14 dagen. Deze lange rekentijd, plus dat Sobek richting zijn eindgrens van softwarekunnen loopt, zijn de redenen dat Antea Group in samenwerking met Deltares de ontwikkeling van nieuwe modelsoftware is aangegaan. Hiermee moet eenzelfde integrale analyse uitgevoerd kunnen worden, maar dan in een korter tijdsbestek.

Het afstudeerrapport hangt dus nauw samen met de ontwikkeling van deze software. Voordat de koppeling tussen de huidige 1 en 2 dimensionale modellen gemaakt kan worden, moet eerst enkel het 1 dimensionaal functioneren van de nieuwe software worden getest. Het doel van het onderzoek is hiermee het testen en valideren van 1 dimensionale rioolmodellen in de nieuwe software (D-Hydro Urban). Het onderzoek dient hiermee als input voor de verdere ontwikkeling van de integrale modelsoftware. Gedurende het onderzoek, is gebruik gemaakt van doorontwikkeling door middel van testwerk, validatie en verbetering van de software.

Gedurende het onderzoek is de nieuwe D-Hydro Urban software veelvuldig getest. Hierbij is in eerste instantie naar het functioneren van verschillende testobjecten, bestaande uit leidingen, gemalen, overstorten en doorlaten gekeken. Vervolgens is gekeken naar de functionering van verschillende teststelsels, bestaande uit de diamant, het didactisch stelsel en de casus Waardenburg. Het doel van deze tests is het valideren van de werking van de nieuwe software. Voor het functioneren van de testobjecten zijn de uitkomsten van de nieuwe software naast de uitkomsten van Sobek en naast een analytische benadering gelegd. Na verschillende aanpassingen en verbeteringen is vastgesteld dat de leidingen en kunstwerken van de testobjecten allen voldoen aan de benodigde functionaliteiten. Bij de teststelsels is vooral gekeken naar een vergelijking tussen DFlow FM en de huidige Sobek software. Dit is gedaan op basis van de drie testbuien Bui08 (toetsbui voor het rioolsysteem), een T=10 bui (herhalingsstijd van eens in de 10 jaar) en een T=100 bui (herhalingsstijd van eens in de 100 jaar). In de validatie zijn de waterniveaus op de putten vergeleken en is het functioneren van de kunstwerken gevalideerd.

Om het functioneren van de kunstwerken aan te tonen, is bij de casus Waardenburg specifiek naar de werking van de gemalen en overstorten gekeken. Door te kijken naar het waterniveau na het gemaal en naar het debiet voor en door het gemaal, kan gezegd worden of deze aanslaat wanneer deze aan hoort te slaan. Ook is zo te zien of het gemaal het debiet pompt welke deze hoort te pompen. Hetzelfde is gedaan voor de verschillende overstorten, waarbij te zien is of het water over de overstort stroomt vanaf dat het overstortpeil bereikt is.

Voor de casus Waardenburg is na de vergelijking met Sobek geconcludeerd dat de uitkomsten bij de waterstanden op de putten en de werking van alle kunstwerken gedurende de verschillende buien voldoende aansluiten om als input te dienen voor een eerste koppeling met het 2D netwerk. De uitwerking van en het analyseren van de uitkomsten na deze koppeling dient als vervolgonderzoek binnen het ontwikkelingstraject van de integrale D-Hydro Urban software.

Voor de casus Waardenburg is vervolgens op basis van de al reeds bestaande 2D uitkomsten een aanvullend advies opgesteld. Aangezien de reeds geadviseerde maatregelen vooral in de openbare ruimte plaatsvinden, is hier gekozen voor het bevorderen van maatregelen op particuliere grond. Het inpassen van deze maatregelen zorgt voor extra berging, waardoor de wateraanvoer op de HWA afneemt.

Verklarende woordenlijst

Gedurende het afstudeerrapport komen verschillende wellicht onbekende definities voor. In de onderstaande tabel worden deze definities kort toegelicht.

<i>Definitie:</i>	<i>Uitleg:</i>
<i>Didactisch stelsel</i>	Een fictief riool teststelsel met hierin veel voorkomende praktijk situaties
<i>Sobek</i>	Dit betreft de modelsoftware, welke Antea Group voor 1D analyses gebruikt.
<i>D-Hydro</i>	Dit betreft de modelsoftware, welke Antea Group voor 2D analyses gebruikt.
<i>DFlow FM</i>	Dit betreft modelsoftware, met hetzelfde rekenhart als D-Hydro en is gebruikt voor het testen van de nieuwe software.
<i>Environmental Agencies</i>	In verschillende landen over de gehele wereld organisaties die zich bezig houden met milieubescherming.
<i>1D model</i>	Modelleer methode waar 1 dimensionale (bijvoorbeeld: water op straat) uitkomsten uit de analyse naar voren komen.
<i>2D model</i>	Modelleer methode waar 2 dimensionale (bijvoorbeeld: water op straat) uitkomsten uit de analyse naar voren komen. Dit geeft een uitgebreider beeld dan de 1D methode
<i>1D-2D model</i>	Modelleer methode waar integraal 1 en 2 dimensionale (bijvoorbeeld: water op straat) uitkomsten uit de analyse naar voren komen. Deze methode zorgt voor een betere aansluiting op de werkelijkheid.
<i>AVRI</i>	De AVRI is onder andere verantwoordelijk voor het beheer van de openbare ruimte in de gemeente Neerijnen en dus Waardenburg. Verder verzorgen zij ook de afvalinzameling in meerdere andere gemeentes.
<i>HWA</i>	HWA staat voor hemelwaterafvoer, dit is onderdeel van het gescheiden stelsel en hier stroomt alleen neerslag op af.

Inhoudsopgave

Voorwoord	III
Samenvatting	IV
Verklarende woordenlijst.....	V
Inleiding.....	1
Probleemstelling	1
Doelstelling.....	2
Aanpak van het onderzoek:	3
Afbakening	4
Leeswijzer.....	5
1. De noodzaak van vooruitgang bij modelstudies	6
1.1 Opwarming van de aarde	6
1.2 Advies binnen Antea Group	10
1.3 Toepassing water-op-sstraat modellen	10
1.4 Modelbuien binnen Antea Group	13
2. Opbouw van de testmodellen	14
2.1 Testobjecten.....	15
2.2 Teststelsels	17
2.3 Casus Waardenburg	19
2.4 Omzetten Sobek naar FM.....	20
3. Tussenresultaten	21
4. Korte Woerden in DFlow FM.....	27
5. Advies voor Korte Woerden	31
Conclusie	34
Discussie.....	35
Aanbevelingen	37
Geciteerde werken.....	40
Bijlages:	I

Inleiding

Dit onderzoek is voortgekomen uit de door het KNMI voorspelde klimaatverandering voor Nederland. Uit de klimaatscenario's blijkt dat het harder gaat regenen (KNMI, 2018). Deze verandering in neerslagintensiteit betekent dat de gevolgen van neerslag in de toekomst (met materiële en immateriële schade) steeds vaker een bedreiging voor ons welzijn worden. Hierdoor is in het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie de verplichting opgesteld om onze stedelijke gebieden aan te passen naar een klimaat robuuste inrichting (Ministerie van I&M en het ministerie van Economische Zaken, 2018). Om de kans op wateroverlast, de effectiviteit en de doelmatigheid van maatregelen te kunnen bepalen is het gebruik van modellen dan ook steeds belangrijker.

Antea Group staat voor zo goed mogelijk adviseren richting de klant. Steeds meer data komt beschikbaar en ontwikkelingen in hard en software hebben er de afgelopen paar jaren dan ook voor gezorgd dat deze modellen steeds beter aansluiten op de werkelijkheid. Dit betekent dat er steeds betere mogelijkheden ontstaan om wateroverlast te voorspellen. Momenteel voert Antea Group zijn 1D berekeningen in Sobek uit, waarna de uitkomsten worden geïmporteerd in een 2D maaiveldmodel in D-Hydro. De modellen functioneren hierbij dus nog los van elkaar. Een door Antea Group uitgevoerde integrale berekening (1D-2D, in Sobek) heeft laten zien een betere voorspelling te geven voor de wateroverlast bij de (inmiddels afgeronde) casus Haaften, De uitkomsten van dit integrale model weken af van de eerdere 2D uitkomsten. Echter bleek uit de reacties van de mensen uit het gebied dat de integrale uitkomst wel het beste aansloot op de werkelijk ervaren wateroverlast. Dit resulteerde uiteindelijk tot een ander (effectiever) maatregelpakket voor de betreffende casus in Haaften.

Voor het werkveld is de uitvoering van integrale analyses een vooruitgang, aangezien de werkelijkheid hiermee nog realistischer wordt nagebootst. De verwachting is dat de uitkomst van deze nieuwe analyses (net zoals bij de casus Haaften) resulteert tot maatregelen welke effectiever of toekomstbestendiger tegen mogelijk wateroverlast zijn.

Probleemstelling

De kanttekening aan deze integrale benadering van deze (nog relatief kleine) casus in Sobek, was dat de berekening 14 dagen duurde. Zoals gezegd, hard en software hebben voor veel vernieuwende mogelijkheden gezorgd, echter loopt de software van Sobek richting het einde van zijn kunnen. Om deze reden ontwikkelt Deltares in samenwerking met Antea Group momenteel nieuwe software voor het pakket D-Hydro (Urban). Hiermee is dit integraal doorrekenen met een relatief korte rekentijd wel mogelijk. Tegelijkertijd betekent dit dus ook dat het mogelijk wordt om integrale berekeningen uit te voeren voor een groter plangebied. Deze software (D-Hydro Urban) is nog in de ontwikkelingsfase en dient nog uitvoerig getest te worden, alvorens het definitief vrij wordt gegeven. De verwachting is dat de software een meerwaarde heeft bij het voorspellen van wateroverlast in stedelijke gebieden.

Doelstelling

Voor dit onderzoek is er een doel, met daarbij aanwezige deelvragen opgesteld om het doel te behalen. Hierbij is het oorspronkelijke doel aangescherpt in verband met vertraging in de software ontwikkeling.

Oorspronkelijke doel:

“Hoe kan de meerwaarde van integrale wateroverlast analyses voor Antea Group inzichtelijk gemaakt worden, door de uitkomsten uit de nieuwe D-Hydro Urban software te vergelijken en valideren met de uitkomsten van de huidige analyse methode?”

Aangescherpt doel:

“Hoe kan worden aangetoond dat de nieuwe D-Hydro Urban software aan minimaal dezelfde 1D functionaliteiten van de huidige Sobek software voldoet?”

Om tot het behalen van het zojuist beschreven onderzoeksdoel te komen, is een vijftal deelvragen opgesteld. Deze zijn hieronder weergegeven:

- Welke verschillende type modelleermethodes zijn er binnen (en buiten) Antea Group?
- Hoe wordt aangetoond of de waterkunstwerken in de nieuwe software op zichzelf naar behoren werken?
- Wat zijn de resultaten van de uitgevoerde analyse in D-Flow FM op de case Waardenburg?
- Wat is het verschil bij de resultaten tussen de analyses bij verschillende type buiscenario's?
- Wat zijn de uitkomsten bij de reeds door Antea Group uitgevoerde analyse op de casus Waardenburg?
- Komen er met de nieuwe software nog mogelijke verbeterpunten naar voren aanvullend op de door Antea Group geadviseerde maatregelen bij de casus Waardenburg?

Aanpak van het onderzoek:

Voor het beantwoorden van de zojuist beschreven vragen zijn verschillende methodes toegepast. Om deze reden is het onderstaande onderzoekmodel opgesteld. Deze zal ook worden toegelicht.

Fases	Bronnen	Kennis	Toetsing
Vooronderzoek ↓	<ul style="list-style-type: none"> - Software - Sobek, D-Hydro. - Interne documenten. - Collega adviseurs binnen Antea Group. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ontdekken modelleer methodes. - Methodes wateroverlastanalyses binnen Antea Group. 	<ul style="list-style-type: none"> - Training D-Hydro - Training Sobek
Opzetten onderzoek ↓	<ul style="list-style-type: none"> - Werksessies - DFlow FM 	<ul style="list-style-type: none"> - Doorrekenen test modellen. - Valideren test modellen 	<ul style="list-style-type: none"> - Uitkomsten Sobek - Uitkomsten DFlow FM - Analytische uitkomsten
Uitvoeren onderzoek ↓	<ul style="list-style-type: none"> - DFlow FM - Modellen in Sobek - Experts 	<ul style="list-style-type: none"> - Doorrekenen teststelsels. - Doorrekenen casus Waardenburg. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uitkomsten terugkoppelen - Expert judgement
Validatie onderzoek	<ul style="list-style-type: none"> - Experts - DFlow FM 	<ul style="list-style-type: none"> - Valideren teststelsels - Advies vervolg onderzoek 	<ul style="list-style-type: none"> - Uitkomsten Sobek - Uitkomsten DFlow FM - Expert judgement

Figuur 1: Opbouw voor het onderzoek

Voor het onderzoek, is gestart met een verdieping in de theorie met betrekking tot het gebruik van de verschillende type wateroverlastmodellen binnen (en buiten) Antea Group. Met behulp van handleidingen, trainingen, behulpzame collega's en werksessies bij en met Deltares is tevens een eerste kennismaking met de huidige en de nieuwe modelsoftware gemaakt. Verder is voor het plangebied Korte Woerden te Waardenburg met behulp van de traditionele analyse een document opgesteld met de probleempunten. Uit deze analyse is ook al een advies met verbetermaatregelen voortgekomen richting de AVRI en het waterschap Rivierenland, waar het projectgebied binnenvalt.

Om de nieuwe modelresultaten voor de case Waardenburg, te vergelijken met de traditionele wijze, is het zaak dat de nieuwe D-Hydro Urban software van Deltares gereed is voor gebruik. De verwachting van deze nieuwe software is dat deze beter aan zal sluiten op de werkelijkheid. Doordat de software nog in ontwikkeling is, betekent dit dat er een kans aanwezig is dat er nog fouten in de software zitten. Om deze fouten op te sporen, is voorafgaand aan het doorrekenen van de casus Waardenburg zelf, eerst gewerkt met verschillende testmodellen. Door relatief simpele testmodellen vanuit Sobek naar DFlow FM te exporteren, is overzichtelijk ten zien of uitkomsten van Sobek en uitkomsten van DFlow FM met elkaar overeenkomen of verschillen. Via deze weg worden veel fouten uit de software gefilterd, waarna de fouten niet in de grotere stelsels (waar fouten moeilijker zijn op te sporen) terugkeren. Vervolgens wordt ditzelfde gedaan met een didactisch stelsel. Verdere uitleg conform het didactische stelsel is te vinden in hoofdstuk 2.

Wanneer er geen opvallende of afwijkende uitkomsten in de bovenstaande teststelsels aanwezig zijn, wordt pas gewerkt met de testcasus Waardenburg. Om de meerwaarde van de nieuwe software te ontdekken is het belangrijk dat wordt gewerkt met dezelfde parameters als bij de oude analyses. Bij het doorrekenen van de testcasus wordt daarom in beide gevallen gebruik gemaakt van de standaard bui bui08, de T=10 bui en de T=100 bui, welke in het hoofdstuk “relevantie” extra worden toegelicht. Door uiteindelijk de uitkomsten van de nieuwe en de oude software met elkaar te vergelijken wordt inzichtelijk of nieuwe software goed functioneert en dat er een goede basis ligt voor de integrale koppeling.

Met betrekking tot de casus heeft Antea Group, zoals net beschreven al een advies met maatregelen voor de gemeente Neerijnen en de AVRI opgesteld. Dit advies is echter gebaseerd op het aanpakken van wateroverlast buiten het straatprofiel. Dit betekent dat er nog wel water op het straatprofiel kan komen te staan gedurende een hevige regenbui. Om ook deze situaties mogelijk te voorkomen, wordt onderzocht wat voor extra maatregelen zouden moeten worden ingepast om ook het resterende water van de straat te houden.

Afbakening

Binnen het afstudeertraject is sprake van de ontwikkeling van de nieuwe integrale D-Hydro Urban modelsoftware. De 1D-2D koppeling staat in de steigers (begin juni), maar is helaas nog niet operationeel genoeg om te testen. Daarom is in overleg met Antea Group en Deltares besloten om binnen deze scriptie te focussen op de 1D functionaliteit van de nieuwe software. Hierbij worden verschillende testmodellen en de casus Waardenburg gebruikt voor de validatie van de nieuwe software. De uitkomsten van dit onderzoek dienen dan als input voor het verdere 1D-2D onderzoek.

Aan de hand van verschillende werksessies tussen Antea Group en Deltares is geconcludeerd, dat de 1D functionaliteiten eerst op verschillende testobjecten getest en gevalideerd worden, vervolgens wordt dit uitgebreid naar een didactisch (test) stelsel waarna de casus Waardenburg als eind validatie dient. De totstandkoming van deze volgorde is in hoofdstuk 2 verder toegelicht. In dit traject van testen, ligt de doorontwikkeling van het rekenhart volledig bij collega's van Deltares. Wel is meegedacht over nieuwe wensen die gedurende het traject ontstaan. Doordat de huidige 1D analyses in Sobek worden uitgevoerd, worden de testmodellen hier ook in opgebouwd. Vervolgens zijn de modellen in DFlow FM (wat hetzelfde rekenhart als D-Hydro Suite heeft) getest en gevalideerd.

Bij de casus Waardenburg moet gedurende het opstellen van een advies rekening gehouden worden met verschillende standaard werkzaamheden en parameters bij Antea Group. Zo worden bijvoorbeeld standaard dezelfde regenbuien gebruikt, als input voor de modellen. Deze buien komen in hoofdstuk 1 verder aan bod.

Leeswijzer

Onderstaand is de leeswijzer voor het afstudeerrapport weergegeven. Hier is de weg door het rapport globaal in weergegeven.



1. De noodzaak van vooruitgang bij modelstudies

In het komende hoofdstuk is uitleg gegeven over de verschillende factoren rondom de noodzaak van vooruitgang in modelstudies. Onder andere de invloed van het klimaat, het inspelen hierop van Antea Group als adviesbureau, de verschillende modelmethodes en de toepassing hiervan worden toegelicht.

1.1 Opwarming van de aarde

Klimaatscenario's geven aan dat het klimaat aan het veranderen is. Een van de grootste oorzaken hiervan is dat er steeds meer broeikasgassen in de atmosfeer komen. Koolstofdioxide (CO₂) en waterdamp zorgen er voor dat warmte van de zon gedeeltelijk binnen de atmosfeer wordt vastgehouden in plaats dat deze wordt teruggekaatst. Echter zijn deze broeikasgassen in de atmosfeer ook erg belangrijk. Zonder CO₂ zou de aarde zo koud zijn dat leven in zijn huidige vorm onmogelijk zou zijn (Bijma, 1993). Een teveel van deze gassen zorgt er echter voor dat de aarde opwarmt. Zo blijkt ook uit gegevens van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), sinds 1900 is het wereldwijde temperatuurgemiddelde met 0,8 graden Celsius gestegen. Een proces dus, wat al enige tijd gaande is en waar de verwachting van is dat de stijging door zet. Sinds de Industriële Revolutie is de mens op grote schaal fossiele brandstoffen gaan verbranden en hebben we vooruitgang geboekt in onze kennis, wat resulteerde in een hevige stijging van het CO₂ niveau in de atmosfeer. Dit heeft veel opgeleverd, maar brengt achteraf ook gevolgen met zich mee. In eerste instantie zorgt de opwarming van de aarde ervoor dat de ijskappen van Antarctica en Groenland aan het smelten zijn. De opwarming zorgt ook voor een stijging van de watertemperatuur van oceanen.

Warmer water neemt door de thermische expansie gedurende temperatuurstijging meer ruimte in. Uit verschillende onderzoeken komt tevens dat het smelten van de ijskappen gevolgen heeft voor de zeespiegel. Momenteel brengt dit nog relatief weinig gevaren met zich mee, maar voor de toekomst is onder andere door NASA voorspeld dat de zeespiegel met nog eens 2 meter kan gaan stijgen (NASA, 2018). Dit betekent vooral voor de armere landen, welke hier nog niet op voorbereid zijn, dat zij kwetsbaar zijn voor de aanwezige gevolgen.

Verder stellen en STOWA en de KNMI dat neerslaghoeveelheden zullen veranderen. De verwachting is hierbij dat grote delen van de wereld droger gaan worden, dit terwijl andere gebieden juist natter worden. Voor de gebieden waar het droger wordt kan dit leiden tot waterschaarste. Een tekort aan water zorgt ervoor dat er een tekort aan drinkwater kan ontstaan (wat een eerste levensbehoefte is), maar dit water kan vervolgens ook niet meer worden gebruikt voor het irrigeren bij voedselverbouwing. Een watertekort heeft indirect dus invloed op verschillende belangrijke levensbehoeften (Milieu centraal, sd).

Buiten deze kwantitatieve gevolgen is bij klimaatverandering ook sprake van verschillende kwalitatieve gevolgen. Denk hierbij aan veranderingen in zoet/zoutwater verhouding, temperatuurwijziging, lichtinval, etc.. Diersoorten kunnen hierdoor uit bepaalde gebieden vertrekken (of zelfs uitsterven). Verder blijkt onder andere uit onderzoek van verschillende Environmental Agencies dat klimaatverandering voor een stijging in sterfte gevallen gedurende de extreme koude- en hittegolven zorgt en stijgt de verhouding van het gemiddelde aantal allergiedagen in een jaar (US Environmental Protection Agency, 2017). Echter komt dit tijdens de afstudeerperiode niet nadrukkelijk naar voren, omdat de wateroverlast problemen gefocust is op het water kwantitatieve gedeelte.

Gevolgen voor Nederland

Voor Nederland brengt dit ook gevolgen met zich mee. Waar er sinds 1900 een mondiale temperatuurstijging van 0,8 graden heeft plaatsgevonden, steeg deze in Nederland veel harder met 1,7 graden (Lammerse, 2016). Ook voor de jaarlijkse neerslag geldt dat deze is toegenomen. Gemiddeld valt er in Nederland 850 millimeter per jaar, terwijl dat in 1950 ongeveer 20% minder was. Hierbij is het aantal regendagen niet heel erg veranderd (in de zomer juist minder regendagen), wat betekent dat de hevigheid van de buien toeneemt (Lammerse, 2016). Ook de zeespiegel is door toedoen van de verandering in het klimaat gedurende de afgelopen eeuw al met 20 centimeter gestegen. Deze resultaten afkomstig van het verleden geven aan dat er sprake is van verandering. Voor de toekomst is de verwachting dat deze klimaatverandering doorzet en dat Nederland nog extremere weersomstandigheden krijgt.

Echter is het de extreme regenval welke in de toekomst wel voor (tijdelijke) problemen kan gaan zorgen. Recent heeft de STOWA de neerslagstatistieken voor korte tijdsduren geactualiseerd en hieruit blijkt dat de neerslagwaardes voor elke herhalingsstijd ten opzichte van 2015 op alle fronten gestegen zijn (STOWA, 2018). Zoals in de onderstaande tabel te zien is, vallen de toenames tot T=50 relatief nog mee. Voor de extremere buien zijn echter wel flinke relatieve toenames in neerslaghoeveelheden te zien en juist deze extreme buien voor overlast binnen de maatschappij kunnen zorgen.

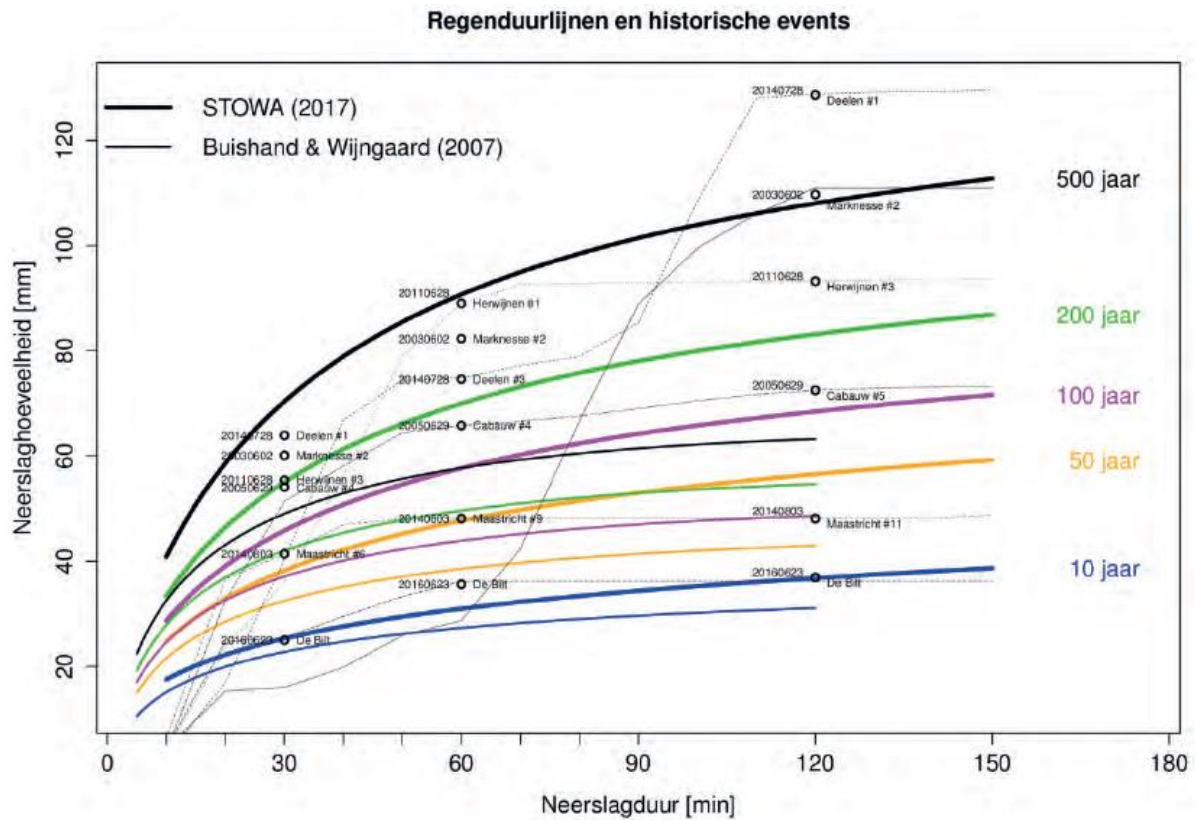
ALS TABEL 6 MAAR NU ALS RELATIEF VERSCHIL AFGEROND OP 1%. VERSCHILLEN VAN MEER DAN 20% CURSIEF EN VERSCHILLEN VAN MEER DAN 50% VET CURSIEF

T [jaar]	Neerslagduur			
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur
0.5	5 %	6 %	4 %	2 %
1	3 %	5 %	5 %	3 %
2	2 %	5 %	5 %	4 %
5	2 %	5 %	6 %	5 %
10	4 %	8 %	8 %	7 %
20	8 %	12 %	12 %	10 %
25	9 %	13 %	14 %	12 %
50	15 %	20 %	19 %	16 %
100	23 %	28 %	26 %	23 %
200	33 %	38 %	35 %	30 %
250	36 %	41 %	38 %	33 %
500	49 %	54 %	50 %	43 %
1000	64 %	69 %	63 %	55 %
10000	nb	nb	nb	nb

Figuur 2: Relatieve toenames voor de neerslaghoeveelheden per herhalingsstijd, ten opzichte van de uitgave van 2015 (STOWA, 2018).

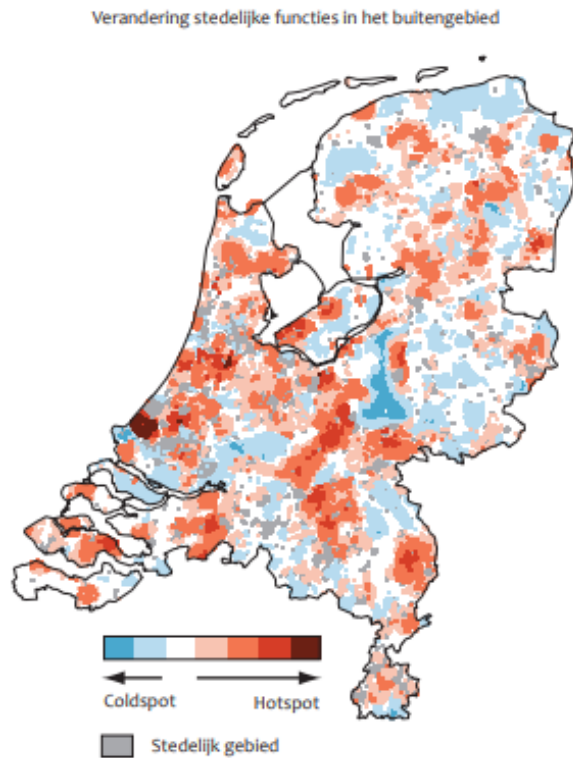
Deze toename van extreme buien brengt in de toekomst meer kans op wateroverlast met zich mee. Rivieren en riolering hebben een maximum afvoer en bij dit soort hevige buien is er het risico dat het water niet meer kan worden afgevoerd (KNMI, 2018). Dit treedt veelal het snelst op bij de riolering. De rioolbuizen zijn in Nederland namelijk veelal gedimensioneerd op een afvoer van 20 mm in één uur (Stichting Rioned, 2009).

Ter vergelijking is in de onderstaande figuur een aantal verschillende historische buien in Nederland weergegeven. Zoals te zien, ligt een T=10 bui (nog relatief een lage herhalingstijd) in de nieuwe standaarden al snel hoger dan de 20 millimeter per uur welke het riool aan kan. Echter geven alle buien in de grafiek al aan dat hogere neerslaghoeveelheden hedendaags ook al voor komen (waarvan 4 van de 6 later dan 2011 waren). Een ander opvallend kenmerk, is dat deze 6 historische buien allen plaatsvonden in de zomermaanden. Dit geeft geen garantie dat zodanig extreme neerslag niet in andere periodes voor kan komen, maar sluit wel aan op de klimaatscenario's vanuit het KNMI (KNMI, 2018). Ook de afgelopen weken in juni bleek weer dat verschillende piekbuien in verschillende delen van het land voor wateroverlast gezorgd hebben.

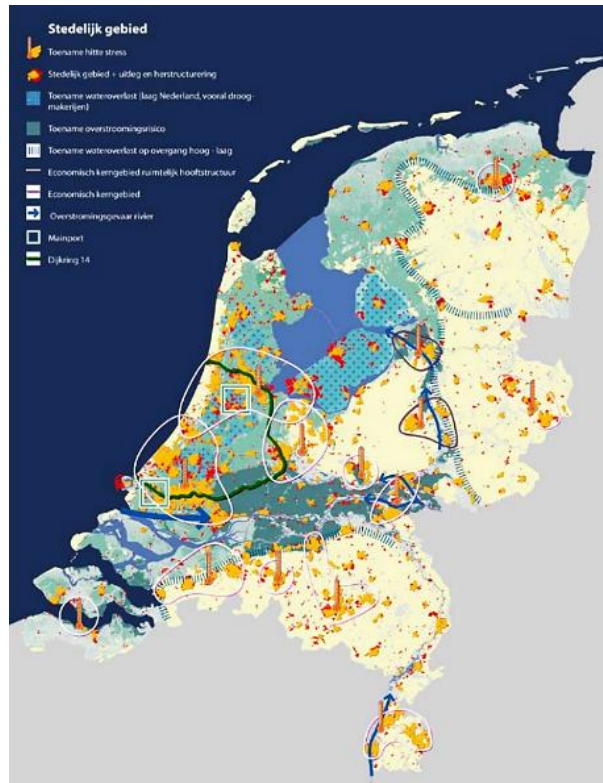


Figuur 3: Visualisatie van de extreemste regenbuien binnen Nederland (STOWA, 2018).

Daarbij blijkt uit gegevens van het planbureau voor de leefomgeving dat er in Nederland al lange tijd sprake is van verstedelijking. Uit gegevens van het planbureau voor de leefomgeving blijkt dat sinds 1960 is de bevolking in de grote Nederlandse steden soms tot wel 60% is toegenomen. Deze groei gaat gepaard met de daarbij benodigde voorzieningen, wat ervoor zorgt dat veel landelijk gebied is veranderd in stedelijk gebied (of nog als “hotspot”) dient. In de onderstaande twee figuren is te zien dat de regio’s rondom steden erg veranderen en verschillende knelpunten rondom klimaatverandering laten zien (Planbureau voor de Leefomgeving, 2009). Als gevolg van de stedelijke groei, komen in figuur 5 (uitvergroot in bijlage 1) vooral wateroverlast en hittestress als probleem punten naar voren.



Figuur 4: Visualisatie van verstedelijking binnen Nederland (Ligtvoet & Pieterse, 2009).



Figuur 5: Visualisatie van de bedreigingen voor de grote stedelijke gebieden (Planbureau voor de Leefomgeving, 2009).

Om te voorkomen dat Nederland door dit soort extreme neerslag verrast blijft worden, is door gemeentes, waterschappen, provincies en het Rijk gezamenlijk het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie opgesteld. Het doel van dit plan is de aanpak voor wateroverlast, hittestress, droogte en de gevolgen van overstromingen te versnellen en te intensiveren (Ministerie van I&M en het ministerie van Economische Zaken, 2018). Hierin is weergegeven dat elke gemeente uiterlijk in 2019 samen met de betrokkenen in hun gebied de kwetsbaarheid in beeld moet brengen met een “klimaatstresstest”.

Een klimaatstresstest brengt per gemeente (in eerste instantie globaal) in beeld wat de klimaatrisico’s binnen de gemeente zijn en welke regio’s in de toekomst klimaat gerelateerde overlast kunnen ervaren. Voor het in kaart brengen van dit soort risico’s, wordt de werkelijkheid vaak nagebootst met behulp van analyses via computermodellen. De uitkomsten van deze modellen geven vervolgens weer waar in de toekomst mogelijk problemen kunnen ontstaan. Hierbij moet worden gedacht aan wateroverlast bij een specifieke bui, maar ook mogelijk watertekort bij droogte, of gebieden met hittestress. Met de ontwikkeling van D-Hydro (Urban) wordt het (door kortere rekentijd) mogelijk om op grotere schaal integrale en gedetailleerde analyses uit te voeren. Voor gemeentes betekent dit dat zij een gedetailleerder en een beter aansluitende uitkomst kunnen krijgen, wat resulteert tot effectieve en doelmatigere maatregelen die specifiek bijdragen aan het oplossen van de overlast en het verminderen van stressfactoren.

1.2 Advies binnen Antea Group

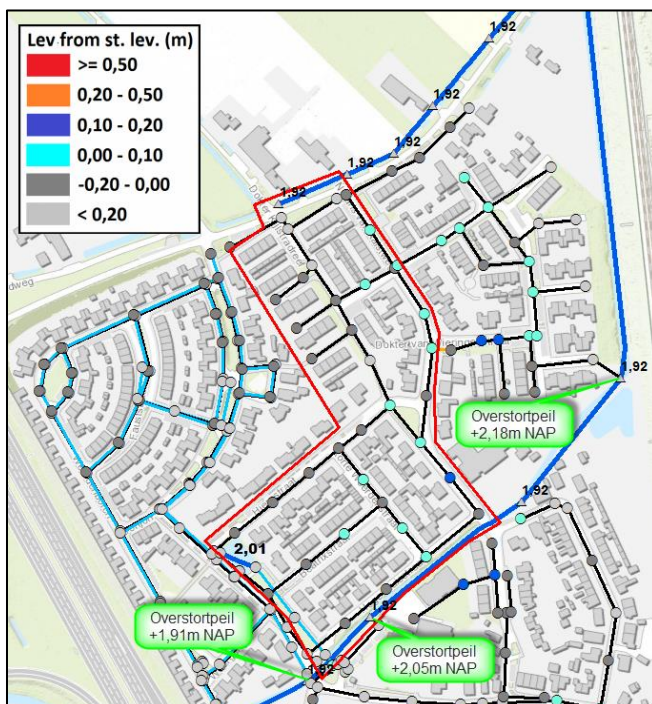
Antea Group is als ingenieurs & advies bureau bekend met het in kaart brengen van onder andere de risico's bij wateroverlast. Zij hebben dan ook diverse instrumenten ontwikkeld, waarmee zij de kans op wateroverlast voor een gebied kunnen voorspellen. Deze instrumenten zetten zij in, om klanten (gemeentes, waterschappen en projectontwikkelaars) te ondersteunen bij het klimaat robuust maken van de omgeving, wat onderdeel is van de hierboven beschreven klimaatstresstesten. De instrumenten van Antea Group richten zich hierbij op het voorspellen en inzichtelijk maken van; de kans op wateroverlast, het effect van deze wateroverlast, de effectiviteit van te nemen maatregelen en de doelmatigheid van deze maatregelen

Antea Group heeft hiervoor een verschillend aantal instrumenten opgesteld die Antea Group inzet om de bovenstaande doelen te bereiken. Hierbij geldt, hoe complexer het vraagstuk hoe gedetailleerder het analysemodel van de casus is. Antea Group werkt hierbij continue aan een verbetering van haar instrumenten. Deze instrumenten zijn in bijlage 2 afgebeeld.

1.3 Toepassing water-op-sstraat modellen

Binnen Antea Group wordt er gebruik gemaakt van verschillende analyses, waaronder maaiveldanalyse, één dimensionale riool- en oppervlaktewater analyses, twee dimensionale riool- en oppervlaktewater analyses en integrale 1D-2D riool- en oppervlaktewater analyse, welke met elkaar de uitkomsten geven die de basis vormen voor het advies richting de klant.

Met de maaiveldanalyse wordt een eerste weergave gegeven van de afstroming van regenwater na een hevige bui. Deze analyse wordt in ArcGIS gedaan, op basis van het Actuele Hoogtebestand Nederland (3). Hierbij wordt alleen naar de bovengrondse afstroom gekeken en zijn aannames gedaan voor de afstroming via het water- of rioolsysteem. Bij deze methode kan je echter alleen kijken waar het water heen stroomt en kan enkel op kleine schaal met hoeveelheden gerekend worden.



Figuur 6: 1D visualisatie van het projectgebied Korte Woerden, opgesteld in Sobek (Usseldijk & Boom, 2018).

Voor één dimensionale modellen is het kenmerkend dat deze uit punten (Nodes) en lijnen (Connections en Reaches) bestaan. Binnen Antea Group is Sobek het programma dat hiervoor gebruikt wordt. De Nodes vormen hierbij de putten en de Connections bij de rioolleidingen en watergangen. Kijkend naar het riool, is een gemeente volgens Artikel 3.5 van de Waterwet verantwoordelijk voor de inzameling, het transport en de verwerking van hemelwater (Rijksoverheid, 2009). Door de rioolgegevens vanuit de werkelijk situatie op te vragen, is het vervolgens mogelijk om hydraulische berekeningen uit te voeren (Deltares, sd). Bij de uitkomsten van een één dimensionaal model is, zoals op afbeelding 7 te zien dat op verschillende plekken (aan de hand van de gekleurde bolletjes) een stijging van het waterniveau plaatsvindt. In dit geval gaat het om een rioolmodel en is met de kleuren weergegeven hoeveel water er op straat verwacht wordt.

Omdat dit een 1D model betreft is het mogelijk om te laten zien dat er op een bepaald punt water op straat is. Echter is het niet mogelijk om te laten zien wat de waterstanden buiten de rond puntjes doet. Hierdoor weet je niet of het water tot de aan stoeprand staat, dat het water tot aan de voordeur staat of mogelijk over het maaiveld afstroomt naar een lager gelegen gebied.

Bij een twee dimensionaal model is het wel mogelijk om de stroming van het overtollige water weer te geven. Deze modellen worden opgebouwd in al bestaande D-Hydro software, wat gebruik maakt van een aantal rasters. Hierbij bevat elk raster een bepaalde (flexibele) oppervlakte binnen het plangebied, waardoor berekeningen met meer nauwkeurigheid kunnen worden uitgevoerd. Door deze betere nauwkeurigheid, is het zoals net beschreven wel mogelijk om te werken met verschillende hoogteverschillen per raster. Deze wijze van modelleren wordt daarom veel gebruikt bij uitgebreidere analyses van water op straat hoeveelheden. Een voorbeeld van een mogelijke uitkomst is in de onderstaande foto te zien.



Figuur 7: 2D visualisatie van het projectgebied Kortewoerden, opgesteld in D-Hydro (Jsseldijk & Boom, 2018).

Vooralsnog betekent dit dat de systemen boven en onder de grond nog los van elkaar doorgerekend moeten worden. De 1D uitkomsten afkomstig van de Sobek berekening, worden geïmporteerd in D-Hydro, waarna het mogelijk is om de stroming aan de hand van maaiveldhoogtes te genereren. Op deze manier wordt wel inzichtelijk tot waar het overtollige water reikt en kan dus aan de slag worden gegaan met specifiekere maatregelen. Hierbij worden vooralsnog nog aannames genomen om de koppeling tussen boven en ondergrond zo goed mogelijk na te bootsen.

Buiten de bovenstaande methodes is het ook mogelijk om integrale analyses uit te voeren. Dit betreft de “1D-2D” manier. Bij deze methode worden de kenmerken van 1D en 2D in een model samengevoegd, waardoor het mogelijk wordt om interactie tussen het maaiveld en het water/rioolstelsel te krijgen. Deze interactie vindt plaats op de aanwezige kolken in het systeem, dit is dus nog een stap nauwkeuriger dan de zojuist beschreven 2D-methode. De koppeling bij de kolken, zorgt ervoor dat de uitkomsten van het model beter aansluiten op de werkelijkheid. Onderstaand is in een tabel weergegeven welke verschillende functionaliteiten de beschreven methodes hebben.

Tabel 1: Tabel met functies 1D,2D,1D-2D

Functionaliteit	1D	2D	1D/2D (sobek)	1D-2D (D-Hydro Urban)
Riool	X		X	X
Oppervlakte water	X		X	X
Maaiveld-analyse		X	X	X
Opp water + maaiveld			X	X
Riool + opp water	X		X	X
Riool + opp water + maaiveld			X	X

Ook al geeft de tabel aan dat 1D/2D in Sobek en in D-Hydro Urban dezelfde functionaliteiten hebben, geeft de nieuwe D-Hydro Urban software met name in de rekentijd en mogelijkheden voor grotere plangebieden een vooruitgang. Dit heeft te maken met het rekenhart dat achter beide softwarepakketten zit. Het rekenhart achter de D-Hydro Suite (waar Urban onder valt) betreft het D-Flow Flexible Mesh (FM) hart. Hierbij worden technieken uit het “oude” Sobek en uit Delft3D-Flow (een andere modelsoftware van Deltares) met elkaar gecombineerd (Deltares; HKV, 2016).

Andere integrale modellen

Buiten de vooruitgang binnen Antea met de huidige modelsoftware van Deltares, is ook gekeken naar de eigenschappen van verschillende software bij concurrenten. Onderstaand zijn hiervoor in een tabel de 2 huidige programma's binnen Antea Group met hun kenmerken weergegeven en zijn ter vergelijking 3Di van Nelen & Schuurmans en Infoworks van Innovyze & Arcadis bijengevoegd.

Tabel 2: Verschillen en overeenkomsten tussen vergelijkbare modelsoftware .

Kenmerken	Sobek2	D-Hydro	3Di	Infoworks
1D	Ja	Ja	Ja	Ja
2D	Ja	Ja	Ja	Ja
1D-2D	Ja	In ontwikkeling	Ja	Ja
Open source	Nee	Ja	Nee	Nee
Kosten	Eenmalige licentiekosten, jaarlijkse beheerkosten	Jaarlijkse beheerkosten	Abonnementkosten op draaien van de software	Eenmalige licentiekosten, jaarlijkse beheerkosten

Hieruit blijkt dat de programma's die Antea Group gebruikt, qua functionaliteiten redelijk gelijk staan aan de concurrentie. De vooruitgang bij de nieuwste D-Hydro versie is dat deze zich zal onderscheiden door de open source beschikbaarheid en de relatief lage beheerskosten bij gebruik. Dit is voor Antea Group ook de doorslaggevende reden geweest om aan dit verbetertraject deel te nemen.

1.4 Modelbuien binnen Antea Group

Binnen Antea Group zijn er een aantal landelijk gebruikte waardes waar bij het opstellen van een advies mee gewerkt wordt. Antea Group gebruikt hiervoor standaardbui 08, de T=10 bui en de T=100 bui. Wanneer een systeemtoetsing wordt gemaakt, is Bui08 hierbij de toetsende bui. Bij een Bui08 valt er bijna 20mm neerslag in één uur. Deze 20 millimeter is ook de hoeveelheid waar de rioleringen in de huidige tijd op gedimensioneerd zijn. Oude riolen, bevatten echter nog een lagere intensiteit van 60l/s/ha, hier kan dus al eerder sprake zijn van water op straat. Normaal gesproken betekent dit dus, dat er geen water op straat mag staan met deze situatie. De 20 millimeter in een uur geeft deze bui08 (zoals in de onderstaande tabel is weergegeven) een herhalingstijd van eens in de twee jaar (Stichting Rioned, 2004).

Buiten de toetsende bui, wordt ook gerekend met twee extremere piekbuien. Dit betreft de T=10 en de T=100 (T is hierbij de herhalingstijd van de bui met het voorkomen in X jaar) buien. Voor de T=100 bui geldt volgens de door STOWA recent uitgebrachte “neerslagstatistieken voor korte duren”, dat hierbij 57.7 millimeter neerslag in 60 minuten valt. Voor de T=10 bui betekent dit een neerslaghoeveelheid van 31.0 millimeter in 60 minuten (STOWA, 2018). Vanuit Antea Group, wordt in overleg met een gemeente af gestemd hoe ver zij in het advies willen gaan. Bij toekomstgerichte adviezen en daarbij behorende maatregelen, sluit Antea Group hierbij aan op de landelijk gebruikelijke herhalingstijden van buien. Om toekomstbestendig werk te leveren, voegt Antea Group bij de T=10 en T=100 buien een klimaatmarge van 10 procent toe.

In de onderstaande tabel is voor elke situatie weergegeven welke neerslaghoeveelheid er per bui in een tijdsbestek van 12 uur valt. Bij Bui08 gaan de hoeveelheden tot één uur, dit omdat deze bui hierop gesitueerd is. Ter vergelijking voor bui08 is een T=2 bui toegevoegd. Aangezien de T=2 bui in het tijdsbestek van 60 minuten ongeveer dezelfde regenintensiteit geeft, wordt de bui om deze reden vaak als referentie-bui meegenomen.

Tabel 3: Neerslaghoeveelheden (in mm) per bui per tijdsduur (STOWA, 2018).

Bui type	Tijdsduur (min)								
	5	10	15	30	60	120	240	360	720
Bui08	0.3	0.9	1.8	6.6	19.8	X	X	X	X
T=2	X	12.2	13.7	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5
T=10	X	17.5	20.2	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9
T=10 + 10%	X	19.25	22.2	27.8	34.1	40.5	47.1	54.0	58.2
T=100	X	28.7	34.5	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2
T=100 + 10%	X	31.6	38.0	50.4	63.5	75.2	85.8	94.8	99.2

2. Opbouw van de testmodellen

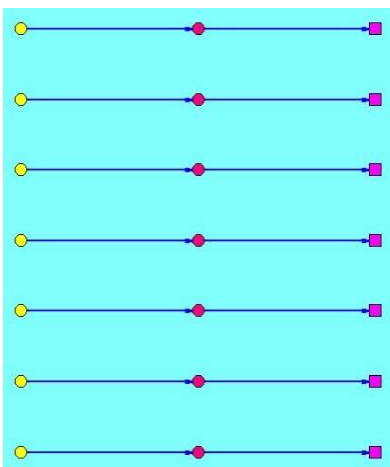
Naar aanleiding van verschillende werksessies tussen Antea Group en Deltares is zoals in de methode beschreven, een lijst met werkstappen naar voren gekomen om de nieuwe D-Hydro Urban software betrouwbaar en bruikbaar te krijgen. Uiteindelijk is het doel om toe te werken naar D-Hydro Urban software met een koppeling tussen de watersystemen boven en onder de grond. Hierbij geldt dat er door middel van de kolken sprake is van een koppeling van regenwater dat op het maaiveld en daken valt en het rioolmodel dat zich onder de grond bevindt.

Voor de koppeling tussen 1D en 2D geldt, dat de 1D functionaliteiten als basis dienen, voordat een daadwerkelijke koppeling met het 2D netwerk kloppende uitkomsten geeft. Het 2D netwerk kan op de interactie punten met het 1D model namelijk voor fouten zorgen bij de 1D validatie. De koppeling met het 2D netwerk wordt dus pas gecreëerd als is vastgesteld dat het 1D model naar behoren functioneert.

Uit de werksessies tussen Antea en Deltares zijn voor het ontwikkelproces de volgende stappen naar voren gekomen;

- Opstellen, vergelijken en valideren van testmodellen
 - Leidingmodel
 - Gemaalmodel
 - Overstortmodel
 - Doorlaatmodel
 - Diamantvormig stelsel
- Omzetten/doorrekenen, vergelijken en valideren van didactisch stelsel
 - Werking van kunstwerken
 - Waterlevels op punten
- Omzetten/Doorrekenen, vergelijken en valideren casus Waardenburg
 - Werking van kunstwerken
 - Waterlevels op punten

Zoals eerder aangegeven staat een goede werking van de bovenstaande modellen voorafgaand aan het doorrekenen van de aanwezige casus Waardenburg centraal. Dit is dan ook de reden geweest om door middel van relatief simpele en kleine testmodellen te starten met het testen van de functionaliteiten van de nieuwe software. Hiervan is onderstaand in figuur 9 een voorbeeld weergegeven. Er wordt gebruik gemaakt van testmodellen, omdat een model niet naar behoren kan functioneren of kan afwijken van reële (praktijk) uitkomsten. In een klein model zijn deze fouten vervolgens makkelijker op te sporen en te herstellen, dan wanneer dit gelijk voor een geheel stelsel moet worden gedaan. Tevens werkt een klein model erg effectief, wanneer zoals in de onderstaande 7 leidingen met verschillende variabelen worden vergeleken.



Figuur 8: Voorbeeld van één van de opgestelde testmodellen in Sobek.

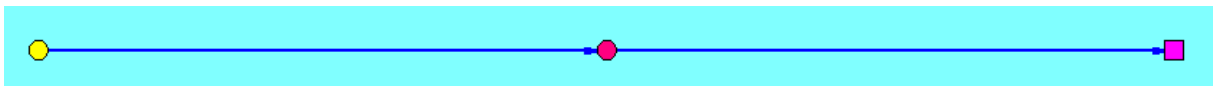
Zoals hierboven beschreven, wordt het 2D model zo laat mogelijk aan het model toegevoegd. Dit is dan ook de reden dat gedurende dit onderzoek de focus vooral ligt op de 1D functionaliteiten. Momenteel is Sobek het programma dat deze 1D functionaliteiten goed beheerst. Dit is dan ook de reden dat de modellen worden opgebouwd in Sobek en vervolgens vanuit Sobek moeten kunnen worden geëxporteerd naar DFlow FM. De uitkomsten uit de nieuwe software zorgen ervoor dat er Sobek en DFlow FM uitkomsten naast elkaar komen te liggen. Deze uitkomsten kunnen zo op incorrecte uitkomsten en of mogelijke fouten worden vergeleken en teruggekoppeld worden naar Deltares. Aangezien ook Sobek een situatie van de werkelijkheid nabootst, wordt per testmodel ook gebruik gemaakt van een analytische benadering op de situatie. Deze benadering dient hiermee als extra validatiemethode.

2.1 Testobjecten

Hieronder is voor alle testobjecten de opbouw in Sobek uitgelegd. Hierbij komen achtereenvolgens de verschillende testmodellen aan bod, met daarbij hun kenmerken en een globale uitleg over de werking van het model.

Leiding

Het leidingmodel is de basis van de nieuwe software. Het merendeel van een test of werkelijk stelsel bestaat immers uit leidingen. Om deze reden is hier gedurende het testen dus ook mee gestart. Onderstaand is weergegeven hoe het leidingmodel in elkaar zit. Hierbij is aan de linkerzijde de wateraanvoer, via een lateral node te zien. Vervolgens 2 leidingen van 25 meter, waarbij zich in het midden een normale put bevindt en is rechts de uitlaat van het systeem.



Figuur 9: Leidingmodel opgesteld in Sobek.

Om te testen of een leidingmodel werkt of niet, is voor verschillende situaties gekeken wat per situatie gebeurt. Elke situatie varieert hierbij met een bepaalde parameter. Onder andere worden hiervoor een verschillend aanvoerdebiet, verschillende leidingdiameters en waterlevelniveaus gebruikt. De bijbehorende eenheden van de verschillende modellen zijn in bijlage 3 toegelicht.

Voor de validatie van het leidingmodel worden de uitkomsten in Sobek vergeleken met de uitkomsten in DFlow FM en de analytische benadering. Voor de analytische benadering wordt hierbij de formule van Chézy gebruikt om de ΔH te berekenen. Deze is onderstaand weergegeven. Met de omgebouwde formule is met ΔH (het verhang over de leiding) op elk van de punten in het leidingmodel het waterniveau te berekenen. Deze analytische waterniveaus dienen als validatiemiddel en worden in het volgende hoofdstuk met Sobek en DFlow FM vergeleken. De uitleg en uitwerking van deze formules is tevens in bijlage 3 weergegeven.

Formule van Chézy:

$$Q = C * A * R^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{\Delta H}{L}\right)$$

Omgebouwde formule voor het verhang:

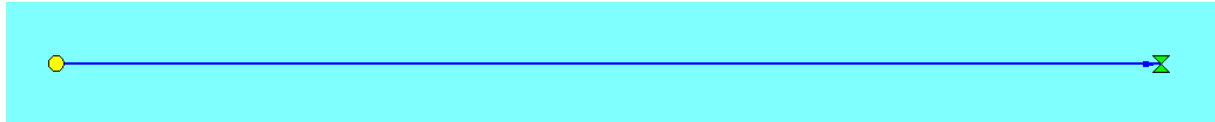
$$\Delta H = \left(\frac{L}{C^2}\right) * \left(\frac{Q^2}{A^2 * R}\right)$$

Overstortmodel

Een overstort kan worden gezien als een put waar overtollig (afval)water geloosd wordt naar een buiten het in beschouwing genomen rioolstelsel. Hierbij wordt meestal geloosd op aanwezig oppervlaktewater (Stichting RioNed, 2007). In de onderstaande figuur is te zien hoe een overstort model is opgebouwd, waarbij links water in het systeem komt en rechts de overstort te zien is.



Figuur 10: Overstort in de praktijk (Nederbetuwe, 2004).



Figuur 11: Overstortmodel opgesteld in Sobek.

Om te zien hoe de overstort in de nieuwe software functioneert, zijn voor verschillende parameters enkele variabelen opgesteld. Denk hierbij aan verschillende drempelbreedtes en hoogtes, overstortcoëfficiënten of een verschil in aanvoerdebiet. Voor het overstortmodel resulteerde dit in 11 verschillende situaties, waarvan de exacte eenheden in bijlage 4 te vinden zijn.

Voor de validatie van het overstortmodel, worden zoals beschreven een analytische methode, de uitkomsten van DFlow FM en de uitkomsten van Sobek met elkaar vergeleken. Voor de analytische methode van de overstort wordt de onderstaande formules gebruikt om het verhang over de overstorten te berekenen.

Volkomen overlaat:

$$Q = C * B * H^{3/2}$$

Onvolkomen overlaat:

$$Q = m * B * h2 * \sqrt{2 * g * (H^1 - h^2)}$$

Omgebouwde formule:

$$H = \left(\frac{Q}{(m * B * 1.7)} \right)^{\frac{2}{3}} + \text{crest lvl}$$

Omgebouwde formule:

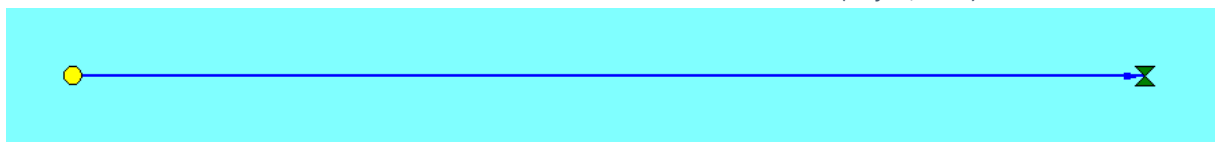
$$H = \left(\frac{Q}{(m * B * h2 * \sqrt{2 * g})} \right)^2 + h2$$

Doorlaatmodel

Waar een overstort water loost buiten het rioolstelsel, wordt een doorlaat altijd binnen hetzelfde rioolstelsel gebruikt. Veelal met de functie om de stroomsnelheid van het (afval)water af te remmen (Stichting RioNed, 2015). Zoals in de onderstaande figuur te zien is, is het principe van het doorlaatmodel hetzelfde. Enkel zit er een doorlaat rechts in plaats van de overstort.



Figuur 12: Doorlaat in de praktijk (Orifice, 2018).



Figuur 13: Doorlaatmodel opgesteld in Sobek.

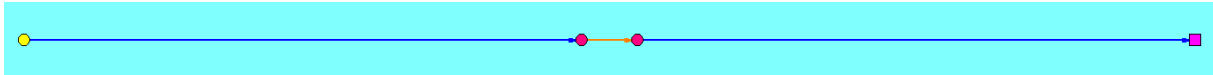
Ook bij de doorlaat geldt dat er voor de functionering verschillende variabelen voor een aantal parameters zijn opgesteld. Voor de doorlaatmodellen is hierbij gekozen voor verschillende openingsgroottes, verschil in aanvoerdebiet en verschil met de contractie coëfficiënt. Deze contractie (insnoering van de vloeistofstraal) is een stromingsweerstand bij het intreden van de doorlaat (Tukker & Kooij, 2012). De variabelen resulteerde voor het doorlaatmodel in 7 verschillende situaties, waarvan de exacte eenheden in bijlage 5 te vinden zijn.

Voor de validatie van het doorlaatmodel is tevens weer een analytische benadering gebruikt. Met deze formules wordt tevens weer het verhang (ΔH) bij de doorlaat berekend. Verder wordt ter controle ook het debiet (Q) nogmaals berekend met de uitkomsten bij het verhang.

$$Q = \mu * A * \sqrt{2 * g * \Delta H} \quad \% \quad \Delta H = \left(\frac{Q}{\mu * A * \sqrt{2 * g}} \right)^2$$

Gemaal

Binnen de rioleringswereld is het gemaal het derde en laatste kunstwerk dat gebruikt wordt. Een gemaal wordt veelal gebruikt om te hoge (of te lage) waterniveaus weer naar het normale waterniveau terug te brengen door middel van het verpompen van water van de ene naar de andere leiding. Onderstaand is hiervan een uitwerking van een model weergegeven.



Figuur 14: Gemaalmodel opgebouwd in Sobek.

Voor het gemaal worden als variabelen verschillende aanvoer en pompdebieten gebruikt, verschillende pomprichtingen, verschillende putgroottes en verschil in de aan- en uitslagpeilen. Deze variabelen resulteerde voor het gemaal in 10 verschillende modellen, welke in bijlage 6 uitgebreider zijn weergegeven.

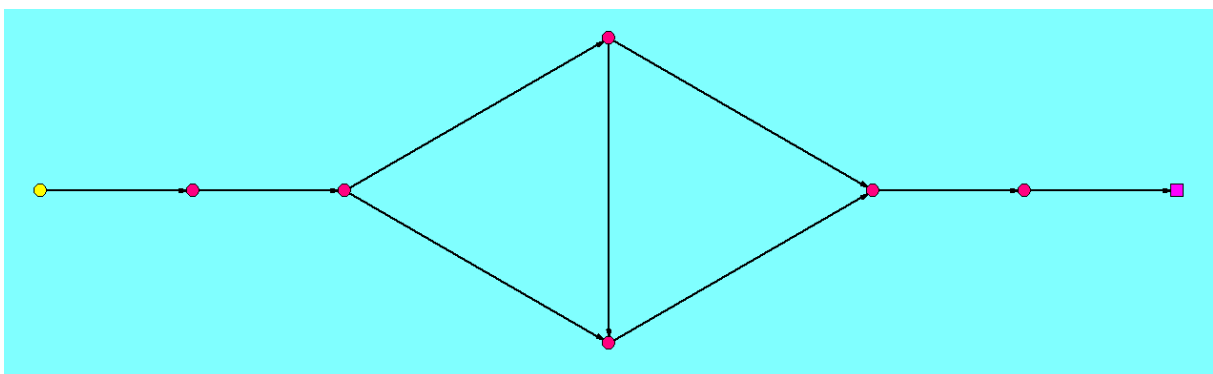
Als validatiemethode is bij het gemaal gekeken naar het moment dat het gemaal aan- en uitslaat. Hiernaast is gekeken naar de daarbij behorende aan- en uitslag peilen. Op basis van het aanvoerdebiet en het pompdebiet kan al snel gezegd worden of de waterstanden in het systeem blijvend stijgen of dat het systeem ook weer leeggepompt wordt. Analytisch is dit gedaan door de berging binnen de pomp te delen door de Qnetto van het systeem. Uit de vergelijkingen komt naar voor dat verschillende uitkomsten niet overeen lijken te komen, echter kloppen deze toch voor beide. In Sobek pompt een gemaal het systeem vanaf het moment dat het aanslagpeil bereikt is met het maximale pompdebiet leeg. In DFlow FM is het aanslagpeil al direct vanaf de start bereikt. Wanneer het pompdebiet dus gelijk of groter is dan het aanvoerdebiet, blijft de waterstand constant op hetzelfde niveau.

2.2 Teststelsels

Na de validatie van de relatief simpel opgezette testobjecten, wordt de stap gezet om te kijken of de modellen ook in verschillende stelsels goed functioneren. Dit wordt gedaan aan de hand van de “diamant” en door middel van het didactisch stelsel.

Diamant

De “diamant” kan worden gezien als het eerste teststelsel. Zoals in de onderstaande afbeelding te zien, is de diamant symmetrisch van aard. Deze symmetrie maakt het valideren van de testen gemakkelijk, omdat kloppende en afwijkende uitkomsten goed opvallen. Verder mag bij de diamant in een situatie zonder afwijkende parameters geen debiet door de middelste buis stromen. Hiermee is tegelijk snel te zien of de software een fout vertoont.



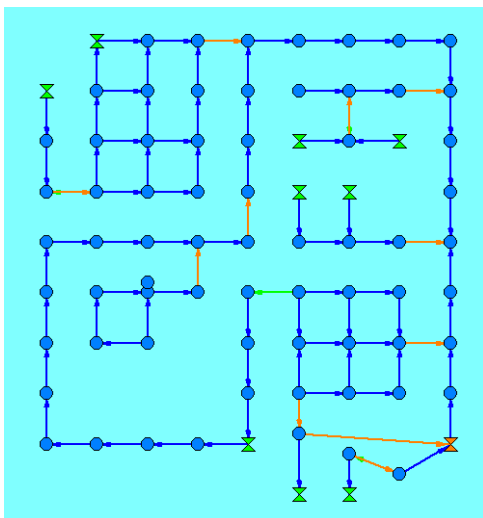
Figuur 15: Diamant stelsel opgesteld in Sobek

Aan de hand van verschillende variabelen zijn er tien verschillende diamant stelsels naar voren gekomen. Voor de diamant is hier voor verschil in aanvoerdebiet gekozen. Verdere variabelen zijn afwijkingen in de buisdiameter, de wrijvingsweerstand of het type buis. De exacte variabelen zijn in bijlage 7 uitgebreider toegelicht.

Voor de validatie van de diamant wordt net als bij het eerder beschreven leidingmodel gebruik gemaakt van het verhang dat in de leidingen optreedt. Afhankelijk van de variabelen geeft dit dezelfde of juist afwijkende waterpeilen op de bovenste en onderste node van de diamant. Deze waterpeilen van de analytische benadering zijn vervolgens vergeleken met de uitkomsten van Sobek en DFlow FM, welke in het volgende hoofdstuk te vinden zijn.

Didactisch stelsel

In het onderstaande figuur is het zogeheten didactisch stelsel van Stichting Rioned weergegeven. Het didactisch rioolstelsel is een fictief stelsel, waarin is getracht veel voorkomende praktijksituaties in een kleine opzet onder te brengen (Stichting RioNed, 2017). Aan de hand van voorbeeldberekeningen kan zo het hydraulisch functioneren van diverse rioolsituaties worden getest.

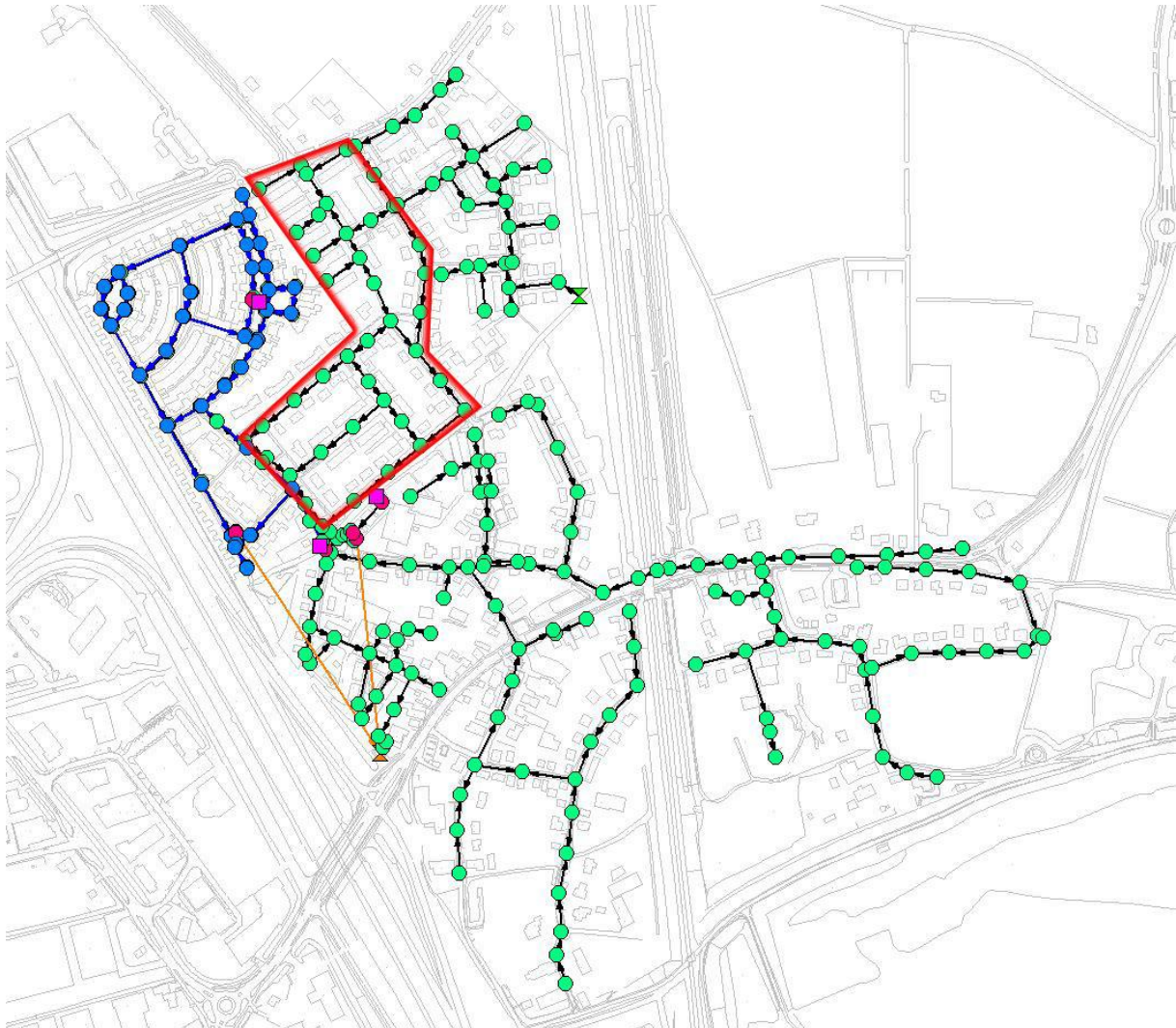


Figuur 16: Didactisch stelsel opgebouwd in Sobek

Het didactisch stelsel is opgedeeld in 10 rioleringsgebieden, welke allen hun eigen bijzonderheden hebben en elk een verschillende praktijksituatie nabootsen. In bijlage 8 is een afbeelding weergegeven met de verschillende deelgebieden, met daarbij voor elk deelgebied kort een beschrijving van de bijzonderheden. De hydraulische uitkomsten van het stelsel bij de nieuwe software, kunnen worden gevalideerd aan de hand van eerder uitgevoerde berekeningen en de uitkomsten hiervan. Voor de tests is de standaardbui bui08 gebruikt als neerslagbelasting op het stelsel. Gedurende het testen is in de software gekeken naar de werking van de aanwezige overstorten en gemalen binnen het stelsel. De parameters rondom deze kunstwerken zijn in bijlage X weergegeven.

2.3 Casus Waardenburg

Onderstaand is het rioleringsysteem van Waardenburg weergegeven. Hierin is het daadwerkelijke projectgebied “Korte Woerden” met rood aangegeven. Uit wateroverlast in de praktijk en de reeds uitgevoerde analyse van Antea is gebleken dat dit plangebied het “probleemgebied” betrof.



Figuur 17: Het gehele rioloorsysteem van de casus Waardenburg, opgesteld in Sobek (Ijsseldijk & Boom, 2018).

Bij de door Antea Group uitgevoerde analyse zijn de drie eerder beschreven buien als toetsing op het riool (bui08) en het ontvangende watersysteem (T=10 en T=100) genomen. Dezelfde drie buien komen bij het testen en valideren van de casus met de nieuwe software DFlow FM terug. Hierbij wordt specifiek gekeken naar het plangebied “Korte Woerden”. Dit gebied bestaat in de huidige situatie volledig uit een gemengd stelsel. Verder is het gebied door middel van een doorlaat verbonden met het grotere stelsel (rechtsonder op de bovenstaande afbeelding) en heeft het een verbinding naar het rioolgemaal, welke het water naar de rioolwaterzuivering pompt.

Aangezien de software momenteel (1 juni) nog altijd in ontwikkeling is, is bij de validatie van de software gekozen om voor het plangebied te kijken of alles wat al werkt, ook werkt zoals het hoort te werken. Slaan gemalen aan bij het juiste aanslagpeil? Stort een overstort over bij het aangegeven overstortpeil? Stroomt de aangegeven bui correct in het stelsel, maar ook of lengtes en andere parameters goed worden meegenomen in de nieuwe D-Hydro Urban Software.

2.4 Omzetten Sobek naar FM

De bovenstaande modellen zijn zoals beschreven allen opgebouwd in Sobek. De nieuwe D-Hydro Urban software werkt echter niet met dezelfde inputbestanden als Sobek doet. Om de D-Hydro Urban software te kunnen testen (en later huidige Sobek modellen uit te breiden), is er een “converter” gemaakt waarmee de modellen vanuit Sobek kunnen worden geëxporteerd en via verschillende Pythonscripts kunnen worden ingeladen in de DFlow FM testhub. De Gui van deze converter is onderstaand weergegeven.

HYD to GWSW		GWSW to FM	
Choose .hyd file	No file selected.	Select work directory	No work directory selected.
Open paths file	No excel file selected.	Open input directory	No directory selected.
Open input directory	No directory selected.	Open output directory	No directory selected.
Open output directory	No directory selected.		
Convert to GWSW		Convert to FM	
Close			

Figuur 18: Gecreëerde programmaomgeving om DFlow FM input bestanden aan te maken (Brian Barbieri).

Voor het opzetten van een nieuw model is het mogelijk om de GWSW-bestanden vanuit het Gegevenswoordenboek Stedelijk Water te downloaden. Alleen het rechter deel van de Gui is dan nodig voor het creëren van DFlow FM input bestanden. Bij het omzetten van een bestaand Sobek model, dient het model geëxporteerd te worden naar een Suf-hyd tekstbestand, waarna alle bovenstaande stappen in de Gui gelden.

3. Tussenresultaten

De tussenresultaten afkomstig uit het testen van de opgezette modellen in DFlow FM dienen als basis voor het vervolgonderzoek. De waarnemingen en conclusies vanuit het testtraject dragen bij aan het validatieproces voor de nieuwe software. Tegelijkertijd worden deze conclusies meegenomen naar het analyseren van de uitkomsten bij de testcasus Waardenburg. In dit hoofdstuk zijn voor de verschillende opgestelde testmodellen opvallende uitkomsten en de verschillen tussen DFlow FM en Sobek weergegeven.

Leiding

In de onderstaande figuur is het leidingmodel in DFlow FM weergegeven. Hierbij geldt dat zich net als in het Sobek model links een aanvoerdebiet bevindt, vervolgens zijn er 2 leidingsegmenten van 25 meter te zien en bevindt zich rechts een uitlaat met een vast debiet.



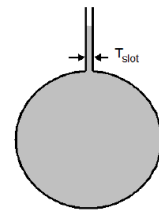
Figuur 19: Weergave van het leidingmodel in DFlow FM.

In de onderstaande tabel zijn de uitkomsten van het leidingmodel weergegeven. Hierbij is per situatie het verhang berekend, waarna de put waterstanden in de modellen met elkaar zijn vergeleken. Voor de uitwerking van de analytische berekeningen is meer informatie in bijlage 3 te vinden.

Tabel 4: Vergelijking van de waterniveaus op de 3 putten van elk testmodel.

Leiding	Put	Waterniveau Analytisch (m)	Waterniveau FM (m)	Waterniveau Sobek (m)	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	Begin	5.558	5.576	5.53	0%	1%
	Midden	3.360	3.371	3.35	0%	0%
	Eind	1.162	1.162	1.16	0%	0%
2	Begin	5.162	5.182	5.13	0%	1%
	Midden	2.964	2.977	2.95	0%	0%
	Eind	0.766	0.766	0.77	0%	0%
3	Begin	41.314	41.331	39.42	0%	5%
	Midden	21.532	21.546	20.90	0%	3%
	Eind	1.750	1.758	1.76	0%	0%
4	Begin	1.049	1.057	1.04	-1%	0%
	Midden	1.027	1.031	1.02	0%	0%
	Eind	1.005	1.005	1.00	0%	0%
5	Begin	1.130	1.148	1.13	-2%	0%
	Midden	1.075	1.084	1.07	-1%	0%
	Eind	1.019	1.019	1.02	0%	0%
6	Begin	5.558	5.576	5.53	0%	1%
	Midden	3.360	3.371	3.35	0%	0%
	Eind	1.162	1.162	1.16	0%	0%
7	Begin	593.417	593.419	176.32	0%	237%
	Midden	298.106	298.107	110.29	0%	170%
	Eind	2.794	2.794	2.00	0%	40%

Hierbij is te zien dat de waterlevels van DFlow FM goed aansluiten op de analytische benadering en de waterstanden uit Sobek. Er bevindt zich her en der nog een minimale error, maar dit heeft te maken met een fout in de berging binnen de leidingen. Wel opvallend is, dat DFlow FM bij leidingen met een kleine diameter en leidingen met een hoog debiet (dus bij een relatief grote stroomsnelheid) beter aansluit dan Sobek. De oorzaak hiervan is het Preissmann slot in Sobek. Dit Preissmann slot dat in Sobek is toegevoegd, zit er omdat Sobek bij volledig gevulde leiding fouten kan geven. Het Preissmann slot is, zoals op de figuur rechts is te zien, een zeer smalle buis op elke put, wat ervoor zorgt dat een leiding nooit helemaal vol komt te staan (floodmodeller, sd).



Figuur 20: Weergave Preissmann slot (Preissmann slot).

Overstort

In de onderstaande figuur is het nieuwe overstortmodel na de omzetting vanuit Sobek in DFlow FM weergegeven. Hiervoor geldt; links bevindt zich de inlaat voor het debiet en rechts bevindt zich eerst de overstort en vervolgens een uitlaat met een constant debiet.



Figuur 21: Overstortmodel weergegeven in DFlow FM.

In de onderstaande tabel zijn de uitkomsten van de drie validatiemethodes weergegeven. Hierbij is gekeken naar het verhang (ΔH) over de overstort. Voor elk model is het bijbehorend verhang weergegeven, waarna achteraan in de tabel de "Error" tussen de analytische methode en DFlow FM of Sobek aangeeft of de uitkomsten afwijken.

Tabel 5: Vergelijking van de waterstanden voor het overstort model.

Channel	ΔH (m)	ΔH FM (m)	ΔH Sobek (m)	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	1.513	1.512	1.512	0%	0%
2	2.068	2.065	2.065	0%	0%
3	1.111	1.11	1.110	0%	0%
4	1.513	1.512	1.512	0%	0%
5	1.513	1.512	1.512	0%	0%
6	3.382	3.378	3.378	0%	0%
7	1.111	1.11	1.110	0%	0%
8	3.382	3.378	3.378	0%	0%
9	10.513	10.51	10.512	0%	0%
10	1.022	1.026	1.025	0%	0%
11	1.513	1.512	1.512	0%	0%

Zoals te zien, sluiten alle modellen goed aan en zijn er geen fouten te zien. Voor de specifieke variabelen en uitwerking omtrent de analytische benadering verwijs ik u naar bijlage 4

Doorlaat

In de onderstaande figuur is het nieuwe doorlaatmodel na de omzetting vanuit Sobek in DFlow FM weergegeven. Hiervoor geldt; links bevindt zich de waterinlaat met een debiet en rechts bevindt zich eerst de doorlaat, met vervolgens een uitlaat welke een constant uitstroomdebiet heeft. Optisch betekent dit dus dat de overstort en de doorlaat er hetzelfde uit lijken te zien, echter bevinden achter de schermen wel verschillen tussen beide type kunstwerken.



Figuur 22: Doorlaatmodel opgebouwd in DFlow FM

In de onderstaande tabel zijn de uitkomsten van de eerste drie validatiemethodes weergegeven. Hierbij is gekeken naar het verhang (ΔH) dat bij de doorlaat optreedt. Voor elk model is het berekende verhang weergegeven, waarna achteraan in de tabel met de afwijking het verschil tussen de analytische methode en DFlow FM of Sobek te zien is.

Tabel 6: Weergave van de vergelijking van het verhang over de doorlaat modellen.

Channel	ΔH (m)	ΔH FM (m)	ΔH Sobek (m)	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	0.002	0.002	0.083	0%	-96%
2	20.576	22.688	19.881	-6%	2%
3	3.331	3.21	0.083	2%	186%
4	2081.8	1104	2082.5	46%	0%
5	0.002	0.002	0.002	0%	-1%
6	1.852	1.852	0.786	0%	62%
7	0.206	0.206	0.208	0%	-1%

Zoals te zien zijn er bij de doorlaat meer verschillen dan bij de overstort. Echter sluiten de uitkomsten van DFlow FM beter aan op de analytische berekening dan Sobek doet. De fout ligt hier dus in de oude software, niet in de nieuwe. De enige grote afwijking is channel 4. Deze uitkomst is teruggekoppeld richting Deltares. Opvallend bij deze som is dat de afwijkingen zich allen bevinden waar een parameter een 10 factor kleiner is, terwijl deze bij de normale hoeveelheid wel werkt.

Als check met het berekende verhang, zijn ook de debieten (Q) door de leiding nogmaals berekend. In de onderstaande tabel is hier te zien, dat deze uitkomsten (op channel 4 na) goed aansluiten op het debiet dat er normaal gesproken doorheen hoort te stromen. De uitwerking van de analytische benaderingen zijn voor beide validaties in bijlage 5 uitgewerkt.

Tabel 7: Extra vergelijking om het debiet terug te berekenen.

Channel	Q (m^3/s)	Q FM check (m^3/s)	Q Sobek check (m^3/s)	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	1	0.986	6.337	1%	-78%
2	1	1.050	0.983	-3%	1%
3	1	0.982	0.158	1%	128%
4	1	0.728	1.000	22%	0%
5	0.1	0.099	0.101	0%	0%
6	3	3.000	1.954	0%	30%
7	1	1.001	1.006	0%	0%

Ondanks dat er zich verschillende (kleine) fouten opdoen, hebben de fouten van de doorlaatmodellen met een relatief kleinere parameter geen invloed het doorrekenen van de volgende stap, casus Waardenburg. Dit omdat zich hier geen doorlaat in bevindt. Deltares is momenteel (eind mei) nog bezig met onderzoek naar de afwijking, dus de verwachting is dat dit binnen enige tijd (voor testen bij een andere casus) wel goed aansluit.

Gemaal

Onderstaand is het nieuwe gemaalmodel in DFlow FM weergegeven. Hier is links de waterinlaat met het debiet, bevindt zich in het middelste segment het gemaal en is rechts (met een constante uitstroom) de uitlaat van het systeem.

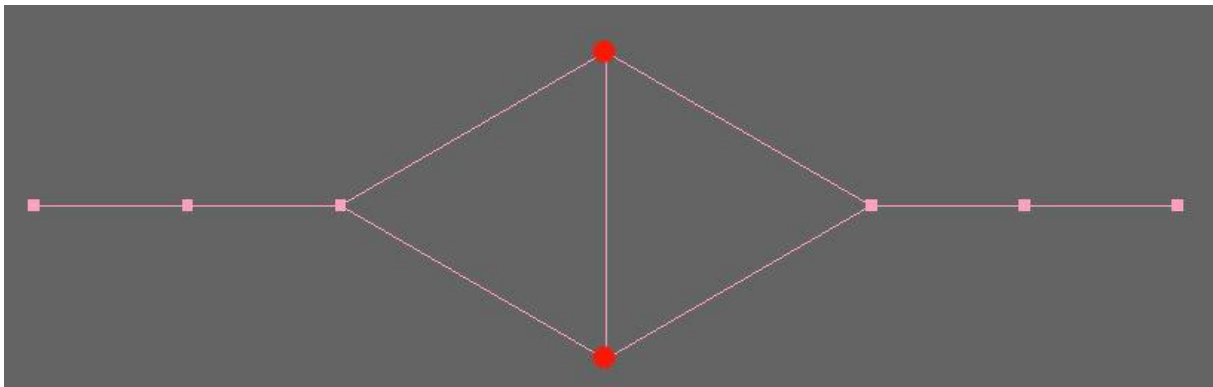


Figuur 23: Gemaalmodel opgesteld in DFlow FM

Gedurende de validatie is zoals in het vorige hoofdstuk beschreven, gekeken naar het moment dat de aan- en uitslagpeilen worden bereikt. In de nieuwe zorgen de opgestelde testmodellen ervoor dat de gemalen al vanaf start beginnen met pompen. Dit betekent dat de modellen met een gelijke of negatieve Qnetto op geen moment vol raken. Voor de modellen met een positieve Qnetto is wel het aantal minuten voor vollopen berekend. In bijlage 6 is de uitwerking hiervan weergegeven. Concluderend is te zeggen dat de modellen in DFlow FM bij de positieve Qnetto's goed laten zien dat deze vol komen te staan.

Diamant

In de onderstaande figuur is de nieuwe omgezette diamant in DFlow FM te zien. Hier bevindt zich links weer de waterinlaat met bijbehorend debiet. Vervolgens volgt de diamant zelf en rechts is de uitlaat met een constant uitstroomdebiet. In de figuur zijn de rode punten de "boven" en "onder", welke zo direct aan bod komen in de tabel met waterstanden.



Figuur 24: Diamant opgebouwd in DFlow FM

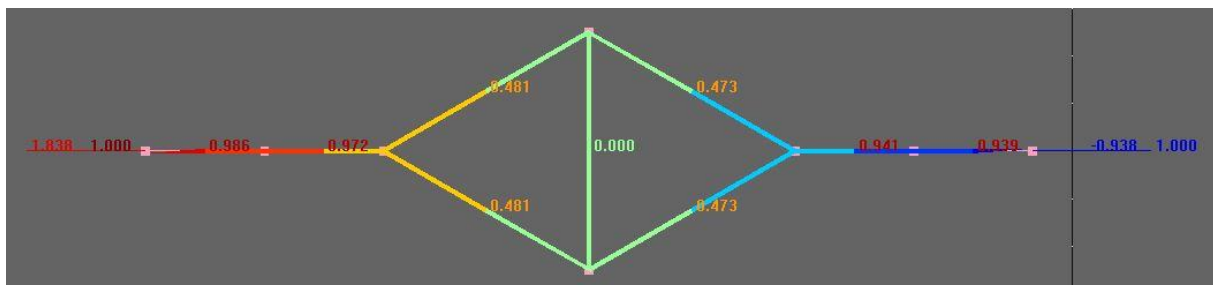
In onderstaande tabel zijn de uitkomsten van de analytische benadering, DFlow FM en Sobek naast elkaar gezet hierbij zijn de waterlevels op de 2 boven en onderste punten te zien, met de afwijking tussen DFlow FM, Sobek en de analytische benadering.

Tabel 8: Vergelijking van de waterstanden op het bovenste en onderste punt van de diamant

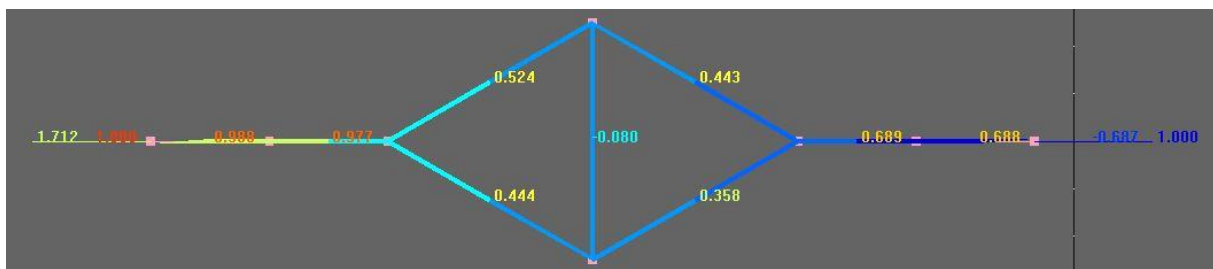
Modeltype	Manhole	Waterniveau Analytisch	Waterniveau FM	Waterniveau Sobek	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	Boven	1.139	1.139	1.139	0%	0%
	Onder	1.139	1.139	1.139	0%	0%
2	Boven	1.001	1.001	1.001	0%	0%
	Onder	1.001	1.001	1.001	0%	0%
3	Boven	1.139	1.139	1.139	0%	0%
	Onder	1.139	1.139	1.139	0%	0%
4	Boven	2.251	2.252	2.250	0%	0%
	Onder	2.251	2.252	2.250	0%	0%
5	Boven	1.204	1.203	1.203	0%	0%
	Onder	1.192	1.193	1.192	0%	0%
6	Boven	1.117	1.119	1.119	0%	0%

	Onder	1.122	1.122	1.122	0%	0%
7	Boven	1.152	1.152	1.152	0%	0%
	Onder	1.151	1.151	1.151	0%	0%
8	Boven	1.1314	1.132	1.131	0%	0%
	Onder	1.1318	1.132	1.132	0%	0%
9	Boven	6.495	6.496	6.455	0%	0%
	Onder	6.495	6.496	6.455	0%	0%
10	Boven	2.054	2.071	2.101	-1%	1%
	Onder	2.054	2.071	2.101	-1%	1%

Zoals te zien, sluiten de waterlevels van de modellen in DFlow FM goed aan op de uitkomsten van de analytische benadering en Sobek. De enige uitzondering is model 10. Dit betreft een model met eivormige leidingen. De uitkomsten met dezelfde waterstanden geven al weer dat er geen water door de middelste buis stroomt. Als aanvulling is onderstaand ook uitgerekend of er een debiet in de middelste buis aanwezig is. In verband met bewust gemaakte fouten, komt hierbij naar voren of het klopt dat er een debiet door de leiding loopt of dat er sprake is van een normale situatie zonder debiet. In de onderstaande figuren is ook al goed het verschil tussen een kloppende diamant en een diamant met bewuste fout te zien.



Figuur 25: Diamant met overal dezelfde parameters.



Figuur 26: Diamant met een afwijking in de rechter bovenleiding van de ruit.

Omdat de bovenste leiding gelijke achterliggende data bevat, zorgt dit er (zoals logisch is) voor dat in alle leidingen een gelijk debiet stroomt. In de onderste variant is door een bewuste afwijking echter te zien dat deze wel afwijkt. Als dit met de analytische benadering met het verhang wordt nagerekend, komen ook de kloppende waterstanden naar voren. Ondanks dat het logisch is dat er een afwijking aanwezig is, klopt deze afwijking dus ook als die nagerekend wordt.

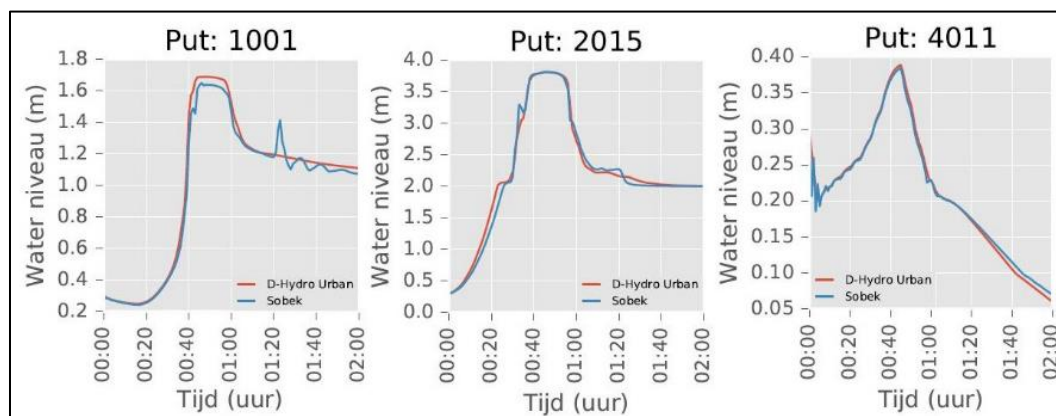
In de modellen met een bewuste afwijking (5 t/m 8) komt naar voren dat er wel een debiet in de middelste leiding aanwezig is. De uitkomst debieten in DFlow FM sluiten goed aan op de uitkomsten van Sobek en van de analytische benadering, dus er is te concluderen dat het model geen fouten heeft en goed functioneert. Voor uitgebreidere berekeningen verwijs ik u naar bijlage 7.

Tabel 9: Vergelijking van de debieten door de middelste buis in de diamant.

Channel	Q analytisch (m ³ /s)	Q FM (m ³ /s)	Q Sobek (m ³ /s)	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	0.000	0.000	0.000	0%	0%
2	0.000	0.000	0.000	0%	0%
3	0.000	0.000	0.000	0%	0%
4	0.000	0.000	0.000	0%	0%
5	0.300	0.308	0.308	0%	0%
6	0.164	0.172	0.172	0%	0%
7	0.095	0.093	0.093	0%	0%
8	0.067	0.066	0.066	0%	0%
9	0.000	0.000	0.000	0%	0%
10	0.000	0.000	0.000	0%	0%

Didactisch stelsel

Nadat de kunstwerken bij de bovenstaande testmodellen als werkend zijn bevonden, is ook binnen het didactisch stelsel gekeken naar de uitkomsten bij de hierin aanwezige kunstwerken.

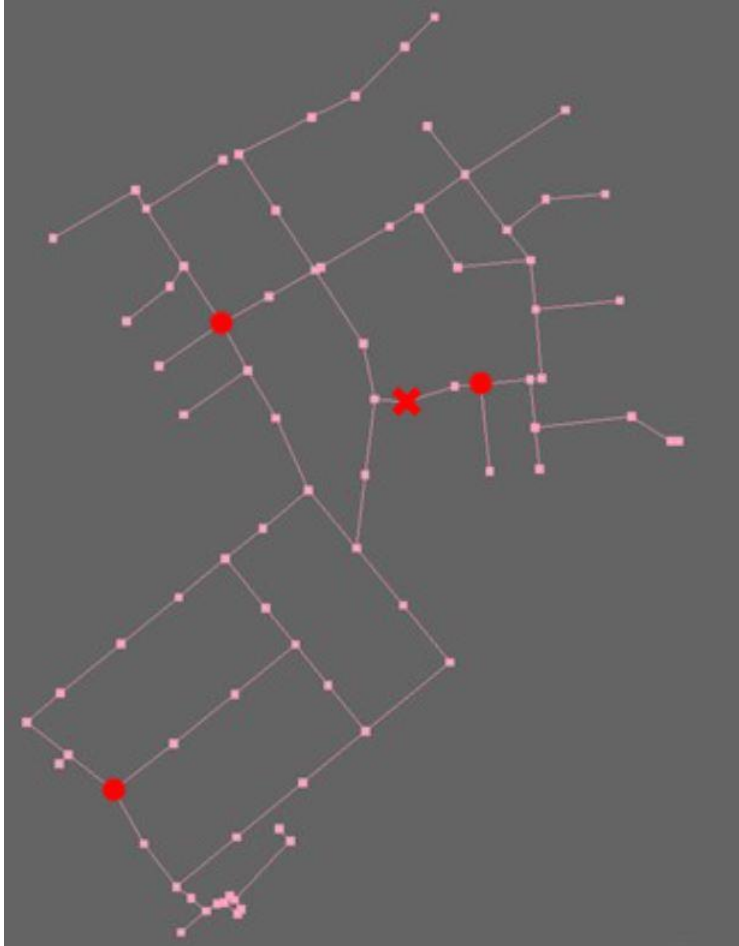


Figuur 27: Weergave van de waterstanden bij 3 putten binnen het didactisch stelsel.

Bij de analyse van de waterstanden binnen het stelsel, valt op dat de afwijking tussen de uitkomsten van DFlow FM en de uitkomsten in de literatuur nabij het gemaal 0.00 of vrij klein is. Wanneer de waterstanden van bovenstroomse putten (verder van het gemaal af) naast elkaar gelegd worden valt juist op dat de afwijking toeneemt naarmate verder van het hoofdgemaal gegaan wordt. Dit betekent, dat ergens in de software mogelijk een fout zit met betrekking op de berging binnen het systeem. Echter loopt de nieuwe software in deze gevallen, zoals in de figuur te zien is, wel gelijk aan de huidige Sobek software. In bijlage 8 is voor het didactische stelsel op elke put de maximale waterstand bij de literatuur, Sobek en Dflow FM weergegeven. Hierin is ook de afwijking tussen de uitkomsten uit de literatuur en de uitkomsten in DFlow FM gevisualiseerd.

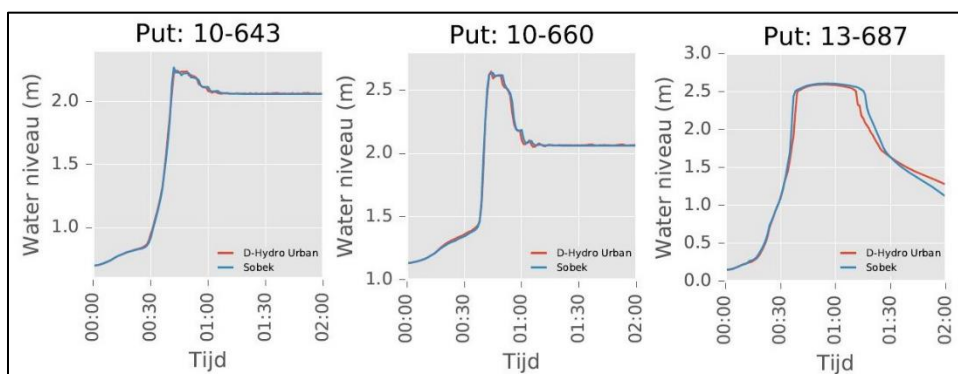
4. Korte Woerden in DFlow FM

In overleg met Antea Group en de softwareontwikkelaars bij Deltares is er in verband met het projectgebied, gekozen om voor het onderstaande gebied de resultaten van de casus in DFlow FM te valideren. Op de afbeelding is het plangebied Korte Woerden te zien, met daarbij (rechts) een klein aaneengesloten stelsel welke door middel van een gemaal (op punt X) verbonden is aan het projectgebied. Verder zijn ook de 3 punten weergegeven, welke onderstaand gebruikt worden bij de vergelijking van de verschillende waterniveaus.



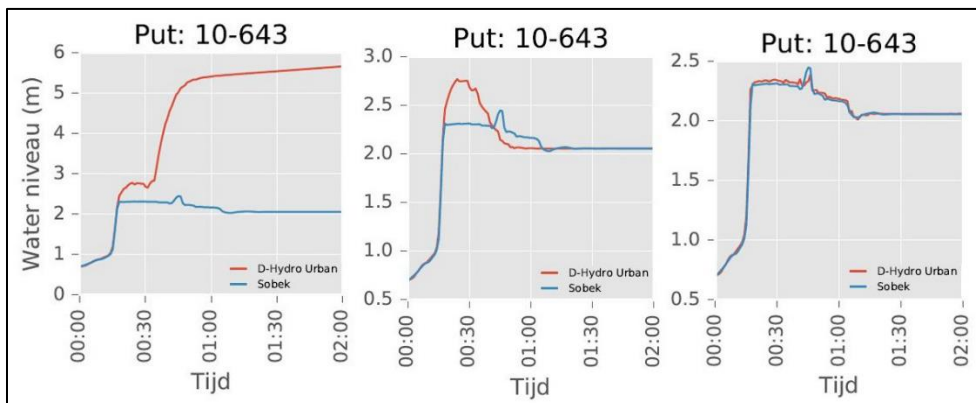
Figuur 28: Visualisatie van het riolsysteem in het projectgebied Korte Woerden, opgesteld in DFlow FM

Na verschillende aanpassingen in de software kan worden gesteld, dat wanneer het gehele systeem wordt doorgerekend de 1D uitkomsten van de casus nagenoeg gelijk zijn met de 1D uitkomsten van Sobek. Onderstaand is hier voor drie putten in het systeem het verloop van het waterniveau gedurende een bui08 te zien.



Figuur 29: Visualisatie van de waterstanden vergelijking tussen DFlow FM en Sobek, bij een bui08.

Door dit voor elke put binnen het systeem te doen, is te zien of alle waarden overeenkomen of dat op sommige plekken nog een kleine afwijking aanwezig is. In bijlage 9 is voor alle putten in het stelsel het verloop van de waterstanden bij een bui08 invoer weergegeven. Ter vergelijking is voor put 10-643 (met de T=10 bui als input) weergegeven wat voor vooruitgang is geboekt in de software ontwikkeling.

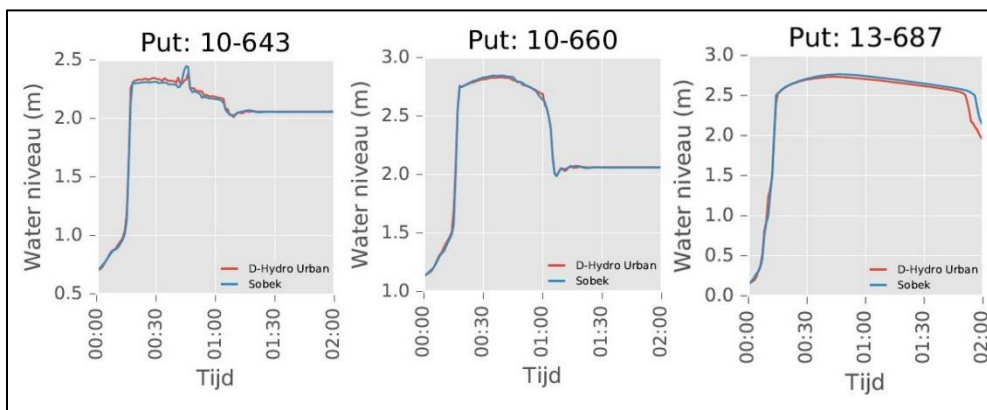


Figuur 30: De vooruitgang in de uitkomsten bij de waterstanden voor put 10-643.

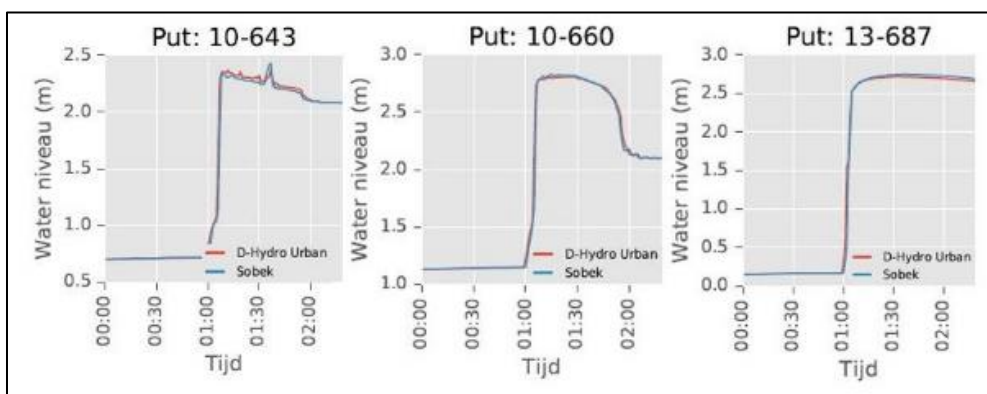
Concluderend, na analyseren van de grafieken is te zeggen dat de waterstanden van DFlow FM en Sobek goed genoeg overeenkomen om de huidige versie (gedateerd: 1 juni), te gebruiken als input voor een eerste koppeling met het 2D netwerk van Korte Woerden.

Verschillende type buien

Om een beeld te krijgen van het functioneren van het systeem met verschillende regenintensiteiten, is gewerkt met 3 verschillende buien. Dit betreft de eerder beschreven Bui08, de T=10 bui en de T=100 bui.



Figuur 31: Aansluiting van waterniveaus bij T10 bui



Figuur 32: Aansluiting van waterniveaus bij T100 bui.

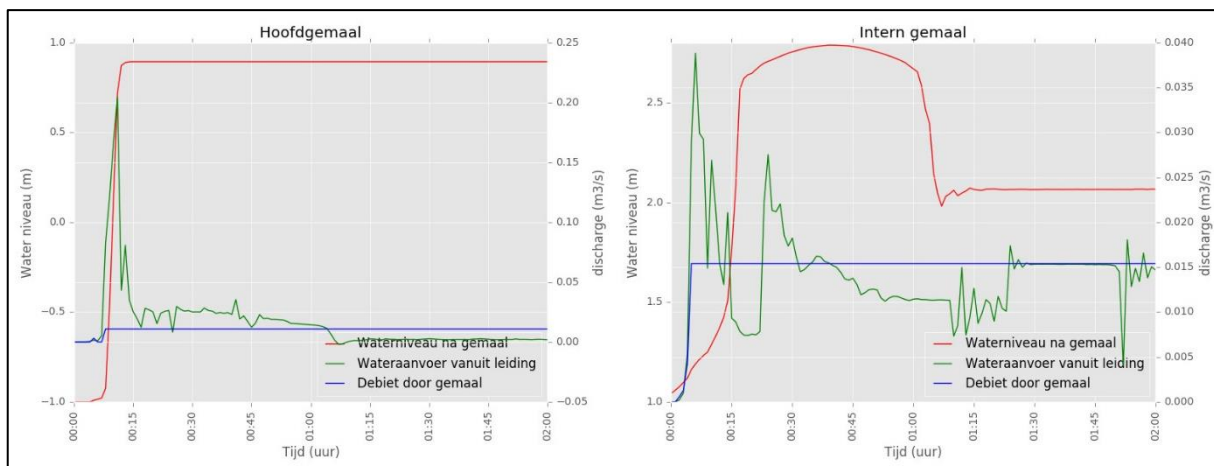
Hierbij komt naar voren dat de uitkomsten van de nieuwe software laten zien ook bij een grotere wateraanvoer net als de oude Sobek software goed te functioneren. Tegelijkertijd is ook goed te zien dat wanneer het rioolsysteem met een andere regenintensiteit wordt doorgerekend, dit ook terug te zien is in de maximale waterniveaus en het tijdstip van stijgen bij de putten. Ook voor de T=10 en T=100 buien zijn de grafieken van elke put in bijlage 10 en 11 terug te vinden.

Gemalen

Buiten de vergelijking van de waterstanden bij de putten van het rioolsysteem, is ook het functioneren van de waterkunstwerken gevalideerd. Zoals gezegd bevinden er zich 2 gemalen in dit rioolstelsel. Dit betreft het hoofdgemaal en een klein intern gemaal welke de twee kleine stelsels met elkaar verbindt. Bij de validatie van de uitkomsten van de casus, was al te zien dat het gemaal op het eerste gezicht leek te werken. In de onderstaande tabel zijn voor de gemalen nogmaals de belangrijkste parameters weergegeven.

Gemaal	Aanslagpeil Sobek	Pompdebiet (m ³ /h)	Pompdebiet (m ³ /s)
1	0.07 / -0.43	55	0.0153
2	-1 / -1.49	40	0.0111

Onderstaand is gedurende de bui 08 de aanvoer en afvoer op het gemaal weergegeven. Doordat in de linker grafiek middels de rode lijn te zien is dat het waterpeil zich in het begin op -1 bevindt, start het gemaal direct vanaf het begin met pompen. Vrijwel vanaf het begin is dan ook een constant debiet van 0.011m³/s te zien. Dit geeft aan dat de pomp goed werkt en dat hij pompt wanneer hij hoort te pompen. In de rechter grafiek geldt dezelfde benadering en is dus ook te zien dat het gemaal constant pompt, omdat het waterniveau constant boven het aanslagpunt ligt.



Figuur 33: Weergave van de werking van de 2 gemalen in het systeem.

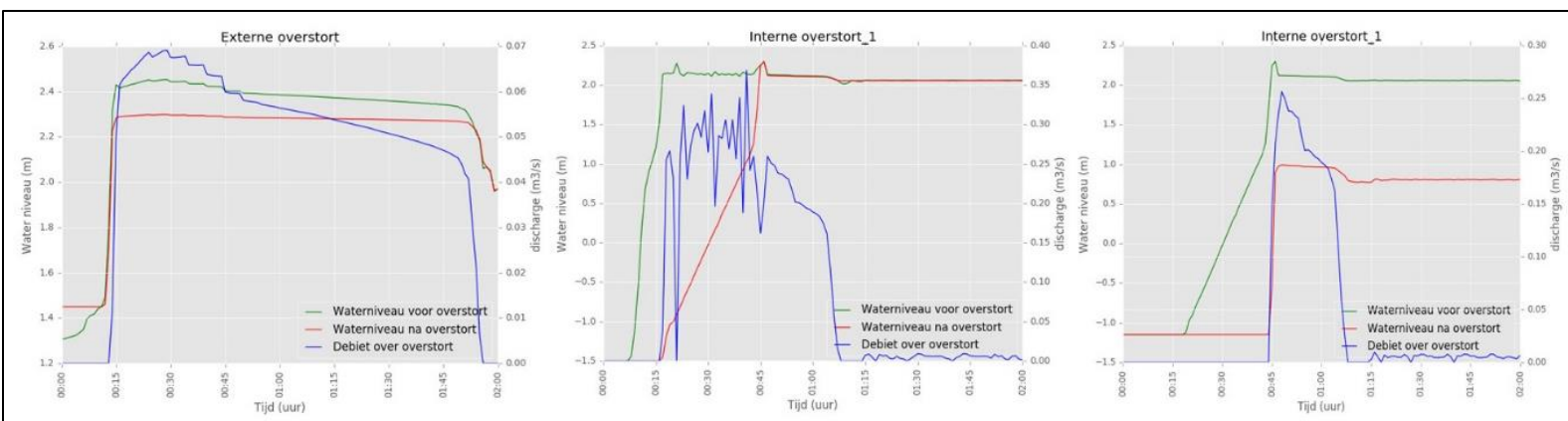
Overstorten

In de onderstaande tabel zijn voor de drie overstorten binnen het plangebied de belangrijkste parameters weergegeven. Net als bij het gemaal wordt ook naar het functioneren van de overstort zelf gekeken.

Overstort	Overstortpeil (m NAP)	Overstortdebiet (m ³ /s)
1	2.05	0.11
2	2.05	0.11
3	2.18	0.04

Onderstaand is in de drie grafieken voor de overstorten het verloop van de stijging in het waterniveau weergegeven, met hierop de reactie van de overstort. In de linker grafiek is te zien dat het water over de overstort begint te lopen wanneer de waterstand 2,18 m NAP heeft bereikt. Ook het waterniveau op de put na de overstort (rode lijn) begint vanaf dit tijdstip door de werking van de overstort te stijgen.

In de middelste en de rechter grafiek, reageert de overstort vanaf het moment dat het waterniveau (groene lijn) voor de overstort op 2.05 m NAP komt. Dit is tevens weer te zien aan het debiet over de overstort en aan de stijging van het waterniveau na de overstort, dat ook vanaf dat moment begint te stijgen. De drie grafieken zijn in bijlage X uitvergroet weergegeven voor verdere analyse.



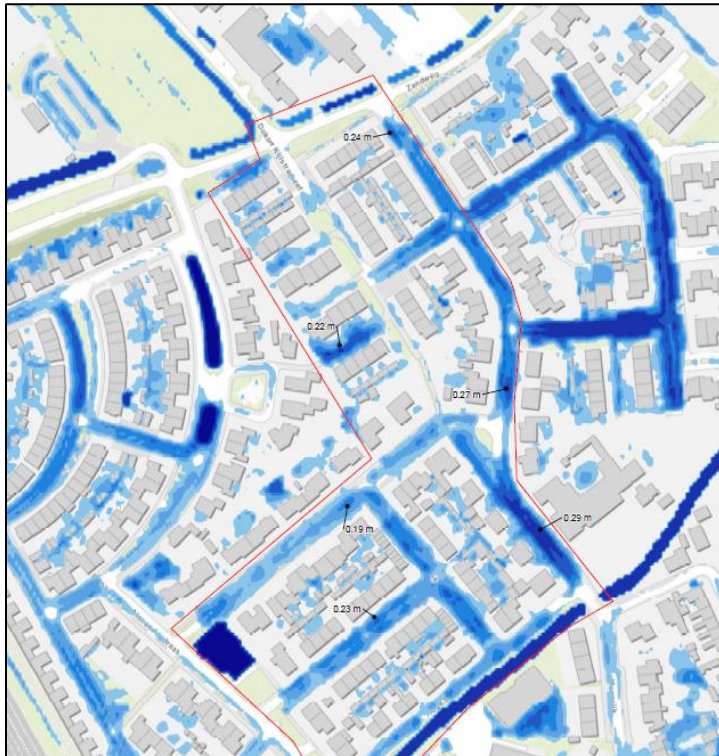
Figuur 34: Visualisatie van de werking van de 3 verschillende overstorten.

Buiten Bui08 is voor de gemalen en overstorten eenzelfde analyse uitgevoerd voor de andere 2 buien. Dit is gedaan om de werking ook bij verschillende neerslaanvoeren nogmaals te valideren. Voor deze twee buien zijn exact dezelfde conclusies naar voren gekomen. De gemalen slaan aan wanneer dit volgens de achterliggende data moet. Ook bij de overstort geldt dat dit plaatsvindt vanaf het moment dat het overstortpeil bereikt is.

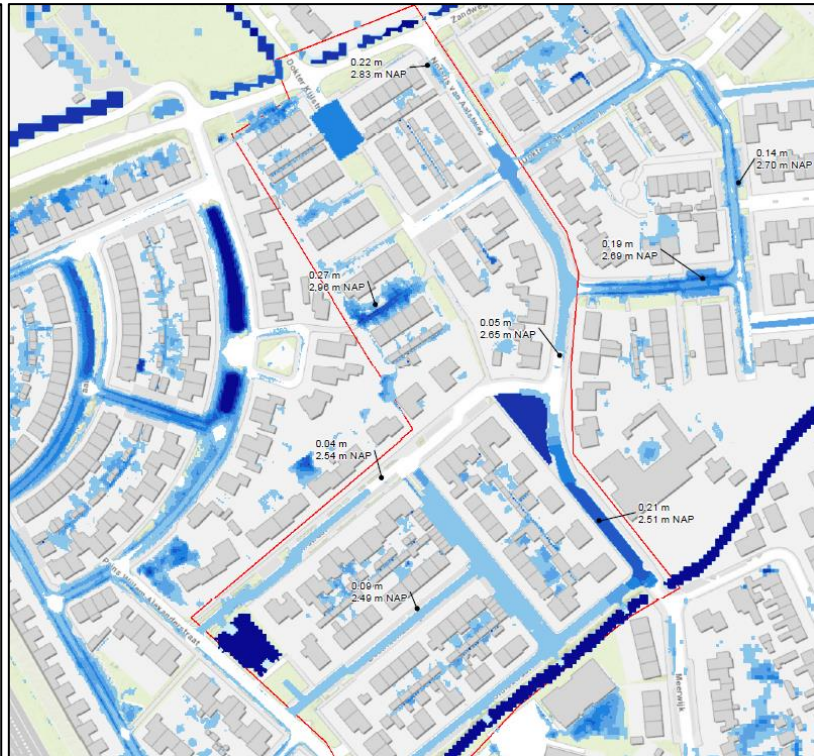
De bovenstaande resultaten dienen zoals gezegd als input voor een eerste test met de koppeling van het 2D netwerk. Deze eerste koppeling zal tussen (1 juni – half juni) worden gerealiseerd, waarna de uitkomsten hiervan moeten worden geanalyseerd.

5. Advies voor Korte Woerden

Gedurende de validatie van de D-Hydro Urban software is voor de casus Korte Woerden gewerkt met een verkleind stelsel, waarbij enkel het stelsel van het gebied Korte Woerden (figuur 26) is meegenomen. Zojuist is hiervoor naar voren gekomen dat de uitkomsten van Sobek en van DFlow FM hierbij overeenkomen. Echter is voor de door Antea Group uitgevoerde analyse gebruik gemaakt van het gehele systeem van Waardenburg (figuur 8). Om deze reden is het niet mogelijk deze uitkomsten direct met elkaar te vergelijken, aangezien dan op voorhand al te zeggen is dat de waterstanden tussen de nieuwe en de huidige modelleringswijze op enige manier van elkaar verschillen. Voor het aanvullend advies voor de casus Waardenburg, is om deze reden gebruik gemaakt van de al aanwezige uitkomsten van de door Antea Group uitgevoerde analyse en de hierbij geadviseerde maatregelen.



Figuur 35: Uitkomsten van het 2D model in de huidige situatie, opgesteld in D-Hydro (60 mm neerslag in een uur) (Ijsseldijk & Boom, 2018).



Figuur 36: Uitkomsten van het 2D model met maatregelen, opgesteld in D-Hydro (60 mm neerslag in een uur) (Ijsseldijk & Boom, 2018).

Bovenstaand is links de uitkomst van het 2D model in de huidige situatie weergegeven en staat rechts de uitkomst van het 2D model met de geïmplementeerde maatregelen voor Korte Woerden. Hierin komt naar voren dat de waterhoogtes op straat, ten opzichte van de eerdere uitkomsten bij de huidige situatie flink zijn afgenomen en dat het water vanaf de straat nergens meer tot aan de woningen staat. Dit was voor Antea Group en de Avri ook het uitgangspunt, hiermee is het opgestelde doel van de AVRI en Antea Group behaald.

De hierbij door Antea Group geadviseerde maatregelen tegen wateroverlast, afkomstig uit het adviesrapport “Korte Woerden definitief ontwerp” betreffen:

- Afkoppelen, in de huidige situatie bevindt zich een gemengd stelsel. In de nieuwe situatie wordt binnen het gebied een gescheiden stelsel ingevoerd.
- Plaatselijk de diameter vergroot bij gemengd rioolstelsel.
- Herprofilering van straten, om zo meer hoogteverschil te krijgen tussen de woning en de weg.
- Bovengrondse afvoer naar oppervlakte water en groene berging door middel van een doorsteek op verschillende plekken (en sturing over straat).

Uit gesprek met Nicole Aarts van de AVRI kwam dat zij blij is met en een positieve kijk heeft op de reeds vanuit Antea Group geadviseerde maatregelen. Echter gaf zij ook aan dat het interessant blijft om verder te kijken naar hoe de resterende hoeveelheden water op straat ook op te lossen is en dat zij zeker open staat voor meer aanvullende maatregelen. Kijkend naar de geïmplementeerde maatregelen valt op, dat de maatregelen (buiten afkoppelen) enkel binnen de openbare ruimte ingepast zijn. Verder volgt uit de analyse dat in achtertuinen en op het achterpad ook sprake is van mogelijk wateroverlast gedurende een piekbui. Dit is particulier terrein, waar de eigenaren en/of bewoners zelf aan zet zijn. Uit het gesprek is naar voren gekomen dat een groot deel van de huizen in bezit is van woningcorporaties. Hier is de AVRI ook al mee in contact om de relatief snelle wateroverlast in de achterpaden (wat ook tot eigendom van de woningcorporaties behoort) tussen tuinen aan te pakken. Desondanks kan de woningcorporatie of de particulier zelf ook zeker een bijdrage leveren aan het verminderen van de laatste hoeveelheden water die tot afstroming komen tijdens heftige buien.

Aanvullende maatregelen

Na een uitgevoerde gebiedsanalyse komen er verschillende kansen naar boven. Zo zit de Eben Heazerschool aan de Notaris van Aalstweg op de rand van het projectgebied en bevindt zich het buurthuis “De Koeldert” net ten zuiden van de Hoge Sluisstraat. Dit zijn ruimtes waar veel mensen uit de regio komen en waar goede voorbeelden en uitleg over de noodzaak van particuliere bijdrage aan de wateropgave, mogelijk invloed hebben op de aanpak van de bewoners binnen het gebied Korte Woerden (en omgeving). Tevens zijn de kinderen van nu, de particulier van de toekomst. Als de kinderen nu al les krijgen in de effecten van klimaatverandering, dan is jong geleerd, oud gedaan omtrent klimaatvraagstukken.

Buiten het inzetten van de scholen en buurthuizen adviseer ik ook het fenomeen “bergen”, van de drietrapstrategie Vasthouden-Bergen-Afvoeren voor het plangebied. Enkel afkoppelen, zorgt er voor dat een deel zal infiltreren, maar toch komt hierbij een deel van het hemelwater nog altijd in het (HWA) rioolstelsel terecht.

Vergoten riool

Wellicht op het eerste gezicht de makkelijkste (plaatselijke) oplossing voor het aanpakken van de overige hoeveelheid water op straat, is het aanleggen van een nog groter riool. Dit zorgt voor meer berging in het riool, waardoor de afvoer van hemelwater zal verbeteren en er minder water op straat zal staan. Echter is de Avri en Antea Group hier geen voorstander van, omdat de kans groot is dat dit leidt tot wateroverlast in een lager gelegen gebied. Er stroomt in deze situatie meer water naar de benedenstroomse gebieden, waardoor in die gebieden juist meer water op straat zal komen te staan. Plaatselijk dus zinvol, maar eigenlijk een verplaatsing van het probleem in plaats van een oplossing.

Bergen op particuliere grond

Om ervoor te zorgen dat (een deel van) het hemelwater al voorafgaand aan het riool wordt geborgen, moeten bergingsmaatregelen tussen huis en riool plaatsvinden. Hiervoor zijn veel verschillende varianten mogelijk. De klassieker hierin is bij velen bekend, de standaard regenton. Echter zijn er ook veel andere bergingsvoorzieningen op de markt. Enkele voorbeelden hiervan zijn waterbergende bankjes, schuttingen of bijvoorbeeld een “slimme regenton”, welke onderstaand in de afbeeldingen zijn te zien. Door een variatie van veel verschillende mogelijkheden bij bewoners te stimuleren, kan elke particulier op zijn/haar eigen wijze water bergen.



Figuur 37: Waterbergende schutting (Regenwaterschutting).



Figuur 38: Slimme regenton (Ultraslanke Nature regentonnen).



Figuur 39: Waterbergende bank (Green Mobility Institute, 2016).

Momenteel is uitgegaan van een percentage van 50% van de daken wat bij de aanleg van de HWA wordt afgekoppeld van de DWA, de uitzondering hierbij is de Dokter Kijlstradreef, waarbij 100% afkoppeling mogelijk is. Gekeken naar het gebied is gesteld dat het mogelijk moet zijn om minimaal 50 kleine bergingen op particulier grondgebied te realiseren. Voor een snelle berekening is hierbij uitgegaan van 50 regentonnen met een hoogte van 1,3m en een diameter van 0,7m. Dit resulteert tot een berging van 0,5m³ per regenton en een totale extra berging van 25m³. Deze hoeveelheid zou normaal rechtstreeks naar het HWA riool gaan, maar wordt nu opgespaard. Kijkend naar de waterhoeveelheden op straat betekent dit voor een straat van 5m breed en een bergingscapaciteit van 10cm, dat deze 25m³ gelijk staat aan water op straat situatie over een lengte van 50 meter.

Buiten mogelijke fysieke voorzieningen waar water in geborgen kan worden, is het aanleggen van meer groen ook een mogelijke oplossing. Op onverharde grond kan gemiddeld 5 mm water worden geborgen, dit terwijl dit op verhard oppervlak grofweg 1 millimeter bedraagt. Operatie Steenbreek is een mogelijke manier waarmee bewoners geënthousiasmeerd worden om hun tuinen te vergroenen (Operatie Steenbreek, sd). Een andere bekende slogan omtrent vergroenen is "Tegel eruit, groen erin!". Door de bewoners hierin te betrekken en enthousiasmeren, zorgt een gezamenlijke vergroening er uiteindelijk voor dat de waterhoeveelheden op straat verminderen. Een voorbeeld waar berging te winnen valt zijn de opritten bij de huizen. Als hier op basis van de aannames 4mm extra geborgen kan worden, betekent dit voor een oprit van 7m bij 3.5m dat er per oprit een hoeveelheid van 0.1m³ minder regenwater zal afstromen op het HWA. De maatregelen zorgen per individuele inpassing niet voor een drastische verandering in het functioneren van het riool. Echter is bij een collectieve aanpak kijkend naar de resterende waterhoeveelheden wel sprake van groter terreinwinst.

Inzetten educatieve instellingen

De Eben Heazerschool en het buurthuis "De Koeldert", zijn interessante plekken om het proces van de enthousiasmering voor vergroening bij particulieren plaats te laten vinden. Een leuke mogelijkheid voor de school, is het introduceren van een lespakket over water en klimaat. Verschillende voorbeelden hiervan zijn door Watereducatie voorgelegd, waar kinderen veel door middel van "Spelend leren" op een leuke manier leerzame onderwerpen leren kennen (Watereducatie, sd). Deze leerzame onderwerpen dragen bij voor leuke projecten op de school zelf. Tegelijkertijd is dit ook een kans voor verandering bij de kinderen thuis. Buiten kinderen komen ook veel ouders langs bij de school. Het goede voorbeeld van de school en de ervaringen van de kinderen kunnen uiteindelijk bijdragen aan veranderingen welke de klimaatrobustheid van de wijk "Korte Woerden" en omgeving bevordert. Doordat scholen over het algemeen geen tot weinig budget hebben voor dit soort grootse veranderingen welke normaal niet op prioriteit één staan, zal hier gedeeld moeten worden in de kosten van het opzetten van het programma. Bij de opzet van het programma hebben tenslotte meerdere andere partijen wel baat.

Mijn advies hiervoor is om eerst te inventariseren over de kennis op de Eben Heazerschool en bij het buurthuis over de wateroverlast in de wijk. Als er al interesse en kennis omtrent de problemen aanwezig is, kan gelijk met de enthousiasmering aan de slag worden gegaan. Vervolgens is het zaak om uitleg te geven over de kansen die zij kunnen zijn bij de bijdrage van maatregelen op particulier grondgebied. Het idee is hierin dat beide partijen erop vooruit gaan. De school krijgt zo wellicht een mooi ingericht klimaatbestendig plein en de mogelijkheid voor het ontwikkelen van een klimaat gerelateerd lespakket. Buiten dat de kinderen informatie in de les opnemen, is het ook mogelijk om via excursies enkele problemen of organisaties in de praktijk aan dit lespakket te koppelen.

Conclusie

Om in de toekomst te komen tot integrale modelsoftware, is in dit onderzoek gesteld dat voor de nieuwe software eerst de 1D functionaliteiten moeten kloppen. Hierna wordt pas gekeken naar de koppeling tussen het 1D model en het 2D netwerk. Gedurende het afstudeeronderzoek waar is toegewerkt naar een steeds beter werkende D-Hydro Urban 1D modelsoftware, heeft de volgende hoofdvraag centraal gestaan:

“Hoe kan worden aangetoond dat de nieuwe D-Hydro Urban software aan minimaal dezelfde 1D functionaliteiten van de huidige Sobek software voldoet?”

Gedurende de ontwikkeling zijn flinke stappen gemaakt. Het vele testen en valideren heeft er voor gezorgd dat de 1D uitkomsten in de nieuwe software aansluiten op de huidige software. In overleg met Antea Group en Deltares is een selectie gemaakt van objecten en stelsels voor dit testen en verbeteren van de nieuwe software. Deze testobjecten zijn gevalideerd door middel van een vergelijking tussen de uitkomst van DFlow FM, Sobek en een analytische benadering. Hieruit is gebleken dat de testobjecten in de nieuwe software net zo (of beter) functioneren als in de huidige Sobek software.

In verband met het vele werk van een analytische benadering voor een heel rioolstelsel, is bij de teststelsels gekozen voor een vergelijking tussen de uitkomsten van DFlow FM en Sobek. Hierbij is voor de validatie van de software gekeken of de waterniveaus op de verschillende putten aansluiten en of de kunstwerken functioneren zoals aangegeven in de achterliggende data. Voor de toetsbui van het rioolsysteem van de casus, komt naar voren dat de uitkomsten volledig aansluiten. Daarbij is ook bij de twee extremere buien te zien dat de uitkomsten overeen komen met de uitkomsten van de bestaande software. Het loslaten van een grote hoeveelheid water heeft dus geen negatieve invloed op het functioneren van het rioolsysteem van de casus.

Er is dus aangetoond dat de nieuwe software dezelfde 1D uitkomsten geeft als de huidige software. Echter komt het verkleinde rioolmodel in DFlow FM nu niet direct overeen met het model, wat is gebruikt bij Antea Group's advies voor Waardenburg. Hierdoor kan nog geen aanvullend advies worden gegeven aan de hand van de nieuwste uitkomsten. Dit aanvullend advies is daarom op basis van de al bestaande adviesuitkomsten gebaseerd. Voor de casus geldt dat ook na het implementeren van de verschillende maatregelen te zien is dat bij een T=100 bui nog water op straat blijft staan. Ondanks dat dit niet betekent dat dit tot daadwerkelijke wateroverlast leidt, gaf Nicole Aarts van de AVRI aan dat zij graag naar verdere oplossingen wilde kijken.

Kijkend naar de uitkomsten van de uitgevoerde analyse, viel op dat de geadviseerde maatregelen vooral binnen de openbare ruimte zijn. Dit betekent dat op particuliere grond mogelijk nog kansen liggen voor bijdrage aan de waterhoeveelheden op straat. Hiervoor is een maatregelpakket naar voren gekomen, dat zich focust op het verminderen van de wateraanvoer naar het hemelwaterriool. Door de Eben Heazerschool en het buurthuis “de Koeldert” in te zetten als verbindingsstuk tussen de aanwezige wateropgave en het enthousiasmeren van particulieren, moet zo veel mogelijk draagvlak worden gecreëerd voor de realisatie van bergingsvoorzieningen of het verminderen van verhard oppervlak op particuliere grond.

Doordat de 1D functionaliteiten van de software volledig aansluiten, is de volgende stap de koppeling met het 2D netwerk. Verder onderzoek naar het effect van deze koppeling, moet voor de casus uitwijzen wat de meerwaarde is van het uitvoeren van een integrale analyse.

Discussie

Gedurende het onderzoek zijn verschillende keuzes gemaakt. Deze zijn achtereenvolgens toegelicht. Verder wordt ook advies voor vervolgonderzoek toegelicht en komt de bruikbaarheid van de software

Afweging voor gebied korte woerden

In de periode dat de validatie van de testobjecten is afgerond en voor het eerst het (gehele) rioolsysteem van de casus Waardenburg is doorgerekend, kwam naar voren dat de software (toen) nog moeite had met het doorrekenen van grotere modellen. Om deze reden is toen gekozen om het model op te splitsen en specifiek voor het projectgebied “Korte Woerden” te gaan. Voor het onderzoek is dit (ondanks dat de laatste deelvraag hierdoor nog niet beantwoordt is) achteraf een goede keuze geweest. Om het model kloppend te krijgen is erg veel met de hand aangepast. Wanneer met het gehele rioolstelsel van Waardenburg gewerkt was, zou de kans hierbij groot geweest zijn dat dit tot uitloop van afstuderen had geresulteerd. Ook had het model waarschijnlijk nog niet kloppend geweest. Dit terwijl met het kleinere gebied juist veel verschillende fouten zijn ontdekt en is aangetoond dat de software nu voldoet voor de 1D functionaliteiten.

Benadering snelle berekeningen voor maatregelen

Om bij het aanvullend advies voor de casus Waardenburg een beeld bij het mogelijke effect van maatregelen op particuliere grond te krijgen, is gebruik gemaakt van een grove berekening. Het daadwerkelijk aanschaffen van een bergingsvoorziening kan niet verplicht worden. Het aantal zal dus hoger of lager uit vallen, afhankelijk van de effectiviteit van de aanpak rond de enthousiasmering. Verder zijn er verschillende soorten en type bergingsvoorzieningen op de markt. Mede om zo veel mogelijk mensen in het proces te betrekken is gekozen voor deze variatie. Zo zit er voor een ieder een verschillend type berging. Door deze verschillende types, betekent het dat de afmetingen van de bergingsvoorzieningen niet gelijk hoeven te staan aan de afmetingen van de gebruikte regenton. Een berging onder bijvoorbeeld een bankje of de schutting heeft weer een iets andere inhoud dan de ton heeft. Ook is de kans groot dat de oppervlakte van de een groter of kleiner is dan die van een ander. Het oppervlakte waar na vergroening dus meer infiltratie plaatsvindt, staat dus niet vast op basis van de uitgevoerde berekening. Het uitvoeren van het traject met de enthousiasmering van het nemen van maatregelen bij de particulieren moet verdere informatie geven over de volledige juiste extra berging die door deze maatregelen gecreëerd wordt.

Verder onderzoek met ingepaste aanvullende maatregelen.

Voor een realistischer beeld bij het effect van de geadviseerde maatregelen, is het nodig om verder onderzoek uit te voeren. Op het eerste gezicht lijkt er door het inbrengen van de extra maatregelen op particuliere grond een redelijke hoeveelheid aan berging gewonnen te zijn. Echter is het pas mogelijk om een nauwkeurigere bergingsberekening uit te voeren, wanneer bekend is wat voor daadwerkelijke hoeveelheid en wat voor type maatregelen wordt genomen. Buiten deze handmatige berekening zorgt het uitvoeren van een nieuw model berekening in de toekomst helemaal voor een beter beeld over het effect van de maatregelen. In een model komt namelijk mooi naar voren wat het effect is van minder aanvoer van hemelwater op het riool. Tegelijk komt ook naar voren of berging op bepaalde plekken misschien meer effect heeft dan op andere.

Bruikbaarheid van de software

Ondanks dat is aangetoond dat veel 1D functionaliteiten al aan de vereisten voldoen, is de software nog niet klaar voor projectmatig gebruik. De afgelopen periode is er veelvuldig mee getest, waardoor ik als tester ondertussen weet waar een bepaalde fout aan kan liggen. Een nieuw persoon (met modelleerkennis) zal in eerste instantie echter verdwalen in de momenteel nog grote hoeveelheid bestanden die handmatig moeten worden aangepast. Daarbij kunnen modellen vanuit Sobek nog niet foutloos worden geëxporteerd, waarna deze vervolgens direct in DFlow FM kloppen. Dit betekent dus dat er nog erg veel achter de schermen gewerkt/gezocht moet worden om de instellingen voor het model kloppend te hebben en hierbij gaat veel tijd verloren.

Berging binnen het systeem

In de grafieken van de put waterstanden bij de casus Waardenburg, komt bij de drie buien naar voren dat het verloop van de DFlow FM lijnen soms minimaal afwijkt van de Sobek lijn. De waarschijnlijke oorzaak hiervan is de invulling van de aanwezige berging binnen het rioolmodel in de nieuwe software. Dit probleem is al bekend bij de software ontwikkelaars van Deltares en hier wordt dan ook al aan gewerkt. Echter is ondanks de minimale afwijking voor de voortgang van het gehele integrale ontwikkel traject gezegd dat de uitkomsten voor nu goed genoeg kloppen en dat de eerste koppeling met het maaiveld in het 2D netwerk te maken is.

Aanbevelingen

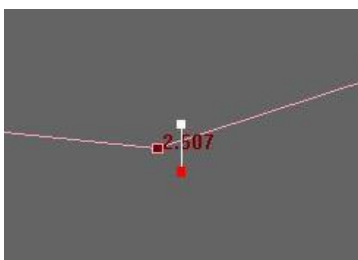
Zoals al een aantal keren benoemd, is de software nog altijd in ontwikkeling. Ondanks dat in de afgelopen paar maanden al veel verschillende verbeteringen hebben plaatsgevonden, moet het model ook nu nog verbeterd worden. Binnen dit onderzoek is aangetoond dat de D-Hydro Urban software in de basis voldoet aan de 1D functionaliteiten, welke momenteel nog in de huidige software van Sobek uitgevoerd wordt. Echter moet er voorlopig nog veel achter de schermen worden aangepast om een model überhaupt kloppend te krijgen. Verder is de programmaomgeving van de D-Hydro Suite nog niet bijgewerkt voor de nieuwste software. Om deze reden is ook met DFlow FM gewerkt. De visuele functies binnen DFlow FM zijn echter redelijk beperkt voor bijvoorbeeld volledige project analyses gedurende het opstellen van een advies. Navolgend zijn aanbevelingen omtrent de software ontwikkeling uitgelegd. Deze aanbevelingen hebben vooral te maken met het handmatig aanpassen van bestanden en verbeterpunten voor tijdswinst in het gebruik.

Importeren neerslag

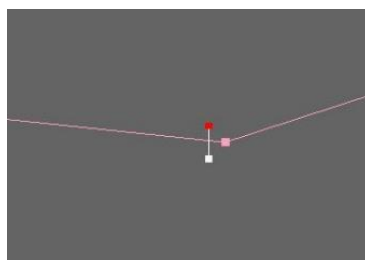
Voor het daadwerkelijk gebruiken van de software, is het belangrijkste dat de achterliggende data van het model goed wordt omgezet vanuit Sobek (of direct vanuit beschikbare GWSW bestanden). Momenteel gaat er namelijk nog erg veel tijd verloren in het goed zetten of aanpassen van data in verschillende bestanden. Enkele voorbeelden hiervan zijn het creëren van de daadwerkelijke bui. In Sobek wordt in het kopje “meteorological data” de bui ingevoerd, waarna deze zich automatisch verdeelt over de aanwezige oppervlakedata bij elke put. Momenteel is de enige manier voor het simuleren van de bui in DFlow FM, door in Sobek de instroom per minuut op elke put te exporteren. Vervolgens moet deze data via een pythonscript gekoppeld worden aan de bijbehorende putten in DFlow FM en moeten deze (.tim) buibestanden via een ander pythonscript worden toegevoegd aan de external forcing file (het bestand dat als referentie dient voor het importeren van alle achterliggende data) bij een model. Aangezien D-Hydro Urban de opvolger van Sobek moet worden, is het eigenlijk niet de bedoeling dat een model eerst in Sobek gesimuleerd moet worden om instroom (per minuut) op elke put te kunnen gebruiken als bui in D-Hydro Urban. Om dit probleem zonder Sobek uit te voeren zou er een koppeling moeten worden gemaakt met het type en de hoeveelheid oppervlakte, welke achter een put hangt.

Plaatsing .pli's bij kunstwerken

Ook voor de kunstwerken geldt dat er nog veel handmatige controle moet worden uitgevoerd. Afkomstig uit de omzetting van de GWSW bestanden wordt een kunstwerk in elk geval rechts van een put geplaatst. Voor overstorten is gebleken dat dit geen invloed op het functioneren heeft. Echter bij een gemaal is het van belang dat de .pli (coördinaten bestand) op de leiding van het gemaal geplaatst wordt. Ook de positie van de rode en



Figuur 40: Automatische verkeerde plaatsing van de .pli



Figuur 41: Handmatig aangepaste goede plaatsing van de .pli

witte punten maakt uit. In het eerste geval staat de .pli in figuur 33 rechts en met rood onder. Dit betekent dat het gemaal zich op de rechter lijn bevindt en naar rechts pompt. Echter hoort het gemaal zoals in figuur 34 op de linker lijn en pompend naar links (met het rode vierkantje boven). Deze fout in het omzetten resulteerde in eerste instantie tot fouten in de uitkomsten. Wanneer er veel verschillende kunstwerken in een model aanwezig zijn kost het handmatig aanpassen veel tijd. Ergens in het script voor het omzetten van de Sobek/GWSW bestanden moet dus een functie komen waardoor de plaatsing van de .pli gelijk goed is.

Herkenbaarheid van putten en kunstwerken

Visueel geldt dat (zoals u wellicht is opgevallen) dat in DFlow FM elke put hetzelfde is. Zoals net beschreven, is het mogelijk om via de coördinaten bestanden (.pol voor putten, .pli voor kunstwerken en uitlaten) een specifiek punt in te laden. Er kan dus gecontroleerd worden of een put de juiste is of dat een kunstwerk aan de goede kant op de leiding ligt. Echter is het voor een individu met minder kennis over de software niet duidelijk of alle punten hetzelfde zijn of niet. Gedurende het opstellen van een advies is dit nogal een punt, aangezien contactpersonen of inwoners bij de gemeente veelal ook de mogelijkheid krijgen om mee te denken over in te passen maatregelen voor het advies. Een oplossing voor deze onduidelijkheid is het invoegen van een verschil tussen putten en kunstwerken. Momenteel worden al kleuren gebruikt voor het aangeven van bijvoorbeeld waterhoogtes, het debiet door een leiding of andere parameters. Het inpassen van extra kleuren dienend als onderscheid tussen putten en kunstwerken zou mogelijk voor verwarring zorgen. Het invoegen van een ander type aanduiding is wellicht wel mogelijk. Nu is voor elk een vierkantje gebruikt. Driehoeken en/of cirkels kunnen een simpele manier zijn waarmee het verschil wordt aangegeven, zonder dat het kleurenschema in de war raakt.

Klein verschil in leidinglengtes

Gedurende het onderzoek, viel tijdens een analyse bij de casus Waardenburg op, dat door aanpassingen in het "suf-hyd" bestand van Sobek (bestand met veel achterliggende data voor het sobek model) de lengtes van de leidingen enkele centimeters gewijzigd zijn. Dit komt doordat de coördinaten standaard in deze suf-hyd zijn afgerond met het aanmaken. Deze minimale afwijking zal geen drastisch andere waterstanden weergeven, maar het is wel een punt om mee te nemen voor verbetering.

Exporteren uitkomsten model

Doordat er nog geen echte gui is gecreëerd voor de tot nu toe ontwikkelde software, zijn er nog weinig mogelijkheden aanwezig voor het visualiseren van uitkomsten. Ditzelfde geldt voor het exporteren van de betreffende uitkomsten. Vooralsnog is het alleen mogelijk om de uitkomsten te exporteren en analyseren door middel van een extern programma (Panoply). Hier is het mee mogelijk om verschillende types data als CSV bestand te ontvangen. Echter is een export functie in DFlow FM of de nog te ontwikkelen gui wel gewenst, zodat alles uiteindelijk in eenzelfde programma kan worden uitgevoerd.

Parameters bij de overstort

Voor de overstort geldt, dat er een opening height en width kan worden ingesteld. In eerste instantie zijn deze beide ingesteld op 1 meter. Een aanpassing hiervan liet echter zien dat dit ervoor kon zorgen dat de uitkomsten van het model beter aansloten op de uitkomsten van Sobek. Hierbij is het nog onduidelijk wat het daadwerkelijke effect van het vergroten of verkleinen van de opening height en width is. Het advies is dus om hier extra onderzoek naar te doen, zodat er wellicht een automatische (kloppende) waarde kan worden ingesteld door middel van een aanpassing in het python script dat verantwoordelijk is voor de omzetting.

Functioneren waterlevel boundary

Gedurende het omzetten van Sobek naar DFlow FM worden putten en kunstwerken al herkend en automatisch aangemaakt. Een waterlevel boundary vanuit Sobek, is echter nog niet automatisch een uitlaat in het model aanwezig. De coördinaten van de uitlaat moeten dus handmatig worden ingetekend en er moet per uitlaat een .tim bestand aangemaakt worden met hierin het uitstroomdebiet of het waterniveau van de uitlaat. Aangezien in bijna elk model een uitlaat aanwezig is komt dit probleem herhaaldelijk voor, wat bij elk model tijd kost. Door een aanpassing te maken in het omzet python script, is dit ook (net als bij putten en kunstwerken) automatisch om te vormen.

Aanmaken structure bestanden

Bij de omzetting van de bestanden uit Sobek naar de benodigde bestanden van DFlow FM komen de kunstwerken momenteel in een gecombineerd structure.ini bestand (het bestand met de achterliggende parameters van de kunstwerken). Voor het functioneren van het model is het echter nog nodig dat de doorlaten en overstorten in een gesplitst bestand komen en dat de gemalen ook in een apart bestand komen. Deze twee bestanden worden op een andere wijze ingelezen om een goede werking van de kunstwerken te krijgen. Momenteel vindt deze splitsing nog handmatig plaats. Mijn aanbeveling is om of een aanpassing in het script uit te voeren, waardoor deze beide bestanden automatisch gesplitst uit de omzetting komen. De andere mogelijkheid is dat er een aanpassing in de software komt, zodat de kunstwerken weer wel door middel van één gezamenlijk bestand in te lezen zijn. Dit om het tijdverlies van het splitsen te voorkomen.

Debiet bij gemalen

Kijkend naar de achterliggende data in de structure.ini bestanden, kwam naar voren dat de debieten van de gemalen verkeerd omgezet zijn. In Sobek wordt het debiet in m^3/uur weergegeven. In het structure bestand van DFlow FM is dit in m^3/s . De oorzaak hiervan kan met twee dingen te maken hebben. Of de formule van m^3/uur naar m^3/s is verkeerd verwerkt. Of het heeft er mee te maken dat het in Sobek mogelijk is om het pompdebiet aan te geven in m^3/s , m^3/min en m^3/hr . Hierbij zou het zo kunnen zijn dat de daadwerkelijke formule van m^3/uur naar m^3/s wel goed is, maar dat dit in het script wellicht automatisch vanaf m^3/s of m^3/min wordt gedaan. Dit zorgt ervoor dat er bij de gemalen in DFlow FM met een te laag debiet wordt gerekend. Een aanpassing in het script zou hier een passende oplossing voor zijn om de te lage debieten te voorkomen.

Geciteerde werken

- Bijma, J. (1993). Broeikas of ijstijd? *Mens & Wetenschap*, 148-153. Opgeroepen op maart 2018
- de Roode, M. (2015, juni 7). *De Industriële Revolutie: werd het leven beter?* Opgeroepen op februari 2018, van Scientias: <https://www.scientias.nl/de-industriële-revolutie-werd-het-leven-beter/>
- Deltares. (sd). *Sobek Suite*. Opgeroepen op februari 2018, van Deltares: <https://www.deltares.nl/nl/software/sobek-suite/>
- Deltares; HKV. (2016, november 22). inundatiemodellering met D-Hydro. Stowa. Opgehaald van http://www.stowavideo.nl/pdf/161122/161122_HDSR_inundatie_P07.pdf
- floodmodeller. (sd). *Preissman Slot*. Opgeroepen op mei 2018, van floodmodeller: http://help.floodmodeller.com/isis/ISIS/Popup/Preissmann_slot.htm
- Green Mobility Institute. (2016, februari 28). *11 parklets you wish you had*. Opgeroepen op juni 2018, van Contemporist: <http://www.contemporist.com/11-parklets-you-wish-your-city-had/>
- IJsseldijk, N., & Boom, R. (2018). *Rioolplan Korte Woerden te Waardenburg*. Antea Group. Opgeroepen op mei 2018
- KNMI. (2018). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op februari 2018, van KNMI: <http://www.knmi.nl/producten-en-diensten/klimaatverandering>
- KNMI. (sd). *Zeespiegelstijging*. Opgeroepen op februari 2018, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/zeespiegelstijging>
- Lammerse, V. (2016). Klimaatverandering in Nederland: wat merken we er hier eigenlijk van? *Scientias*. Opgeroepen op maart 2018, van <https://www.scientias.nl/klimaatverandering-nederland-merken-weder-hier-eigenlijk/>
- Ligtvoet, W., & Pieterse, N. (2009). *Toekomstige stedelijke groei en klimaatverandering beïnvloeden het leefklimaat*. Planbureau voor de Leefomgeving. Opgeroepen op april 2018, van <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/poster02.pdf>
- Milieu centraal. (sd). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op 2018, van Milieu centraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>
- Ministerie van I&M en het ministerie van Economische Zaken. (2018). *Deltaplan Ruimtelijke adaptatie*. Opgeroepen op maart 2018, van <https://deltaprogramma2018.deltacommissaris.nl/viewer/paragraph/1/2-deltaprogramma-/chapter/deltaplan-ruimtelijke-adaptatie/paragraph/ambitie-en-aanpak>
- NASA. (2018). *Understanding sea level*. Opgeroepen op april 2018, van Sealevel nasa: <https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/projections/empirical-projections>
- Nederbetuwe. (2004). *Overstort tijdens bouw*. Opgeroepen op mei 2018
- Operatie Steenbreek. (sd). *Samen voor meer groen in de buurt!* Opgeroepen op mei 2018, van Operatie Steenbreek: <http://www.operatiesteenbreek.nl/>
- (2018). *Orifice*. ACO Water Management. Opgeroepen op mei 2018, van <https://www.aco.co.uk/products/q-plate-orifice-plates>
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2009, april). *Wegen naar een klimaatbestendig Nederland*. Opgeroepen op april 2018, van planbureau voor de leefomgeving: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/500078001.pdf>

- (sd).*Preissmann slot*. Research Gate. Opgeroepen op mei 2018, van https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-Preissmann-slot-Preissmann-1961_fig1_263965811
- (sd).*Regenwaterschutting*. Opgeroepen op juni 2018, van energienulshop: <https://www.energienulshop.nl/nl/rainwinner-/291-rainwinner-regenwaterschutting.html>
- Rijksoverheid. (2009, januari 29). *Waterwet*. Opgeroepen op mei 2018, van Overheid: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-02-17#Hoofdstuk3>
- Stichting RioNed. (2007, november). *Externe Overstortput*. Opgeroepen op april 2018, van GWSW: http://data.gsw.nl/?menu_item=classes&item=.ExterneOverstortput
- Stichting Rioned. (2009). *Hoosbuien*. Opgeroepen op maart 2018, van Stichting Rioned: <https://www.riool.info/hoosbuien>
- Stichting RioNed. (2015, september). *Doorlaat*. Opgeroepen op april 2018, van GWSW: http://data.gsw.nl/?menu_item=classes&item=.Doorlaat
- Stichting RioNed. (2017, oktober). *Definitie GWSW-Hyd*. Opgeroepen op april 2018, van GWSW: http://apps.gsw.nl/index.html?menu_item=definition&dataset=&msgdbstat=
- STOWA. (2018). *Neerslag statistieken voor korte duren*. Opgeroepen op maart 2018
- Tukker, M., & Kooij, K. (2012, april 11). *Handboek Hydraulisch Ontwerp en Beheer Afvalwaterpersleidingen*. Opgeroepen op mei 2018, van publicwiki.deltares: <https://publicwiki.deltares.nl/display/CAPWAT/Handboek+Hydraulisch+Ontwerp+en+Beheer+Afvalwaterpersleidingen>
- (sd).*Ultraslanke Nature regentonnen*. Opgeroepen op juni 2018, van <https://www.wonenwonen.nl/tuinieren/ultraslanke-nature-regentonnen/10455>
- US Environmental Protection Agency. (2017, januari 19). *Analyses of the Effects of Global Change on Human Health and Welfare and Human Systems*. Opgeroepen op april 2018, van US Environmental Protection Agency: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recorddisplay.cfm?deid=197244&CFID=65298858&CFTOKEN=69997119>
- Watereducatie. (sd). *Lesmaterialen - Water*. Opgeroepen op juni 2018, van Watereducatie: <https://watereducatie.nl/in-de-klas/itemlist/filter?category%5B%5D=31&ftag=Primair+onderwijs&moduleId=449&Itemid=155>

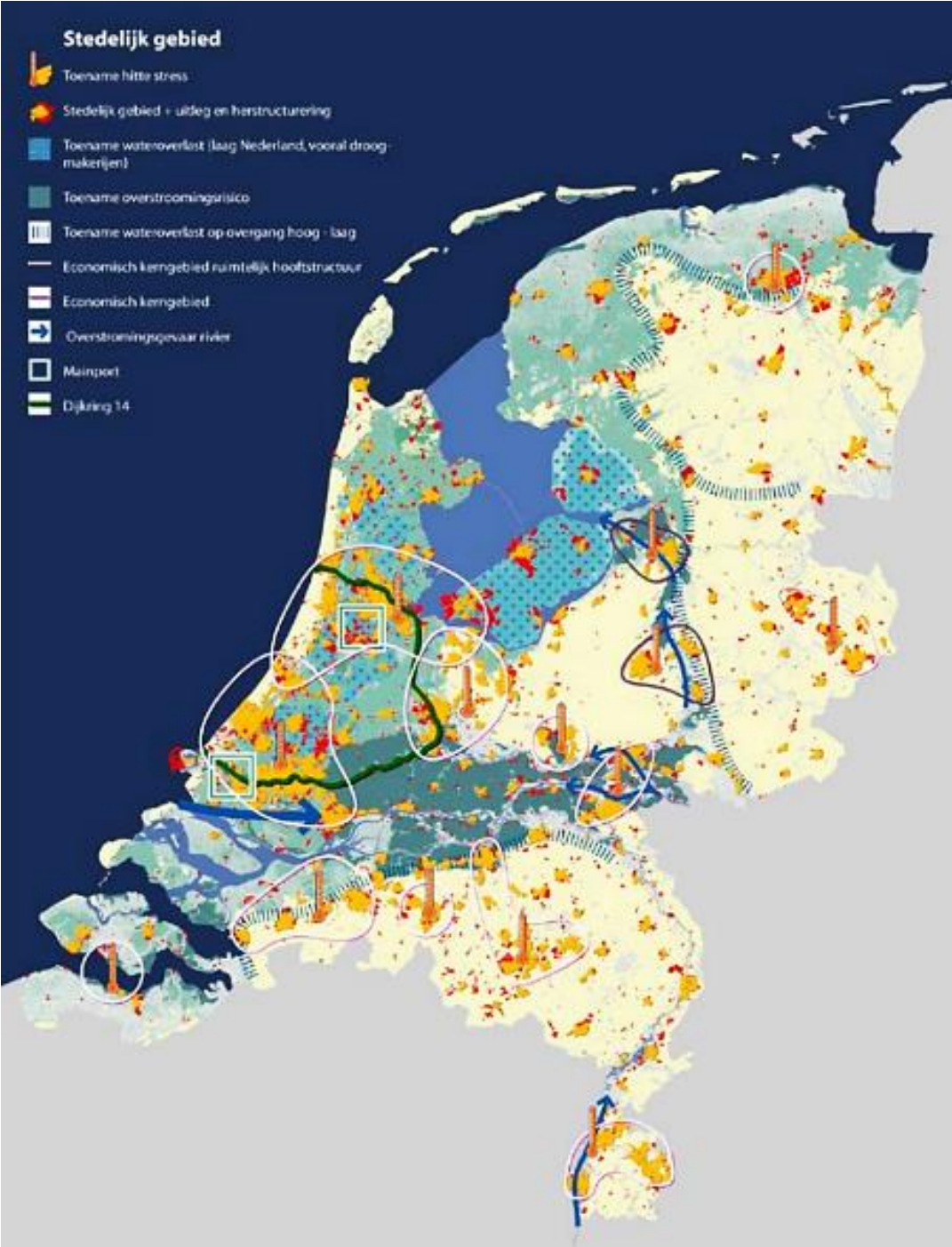
Bijlages:

Onderstaand zijn de verschillende bijlages van het rapport weergegeven.

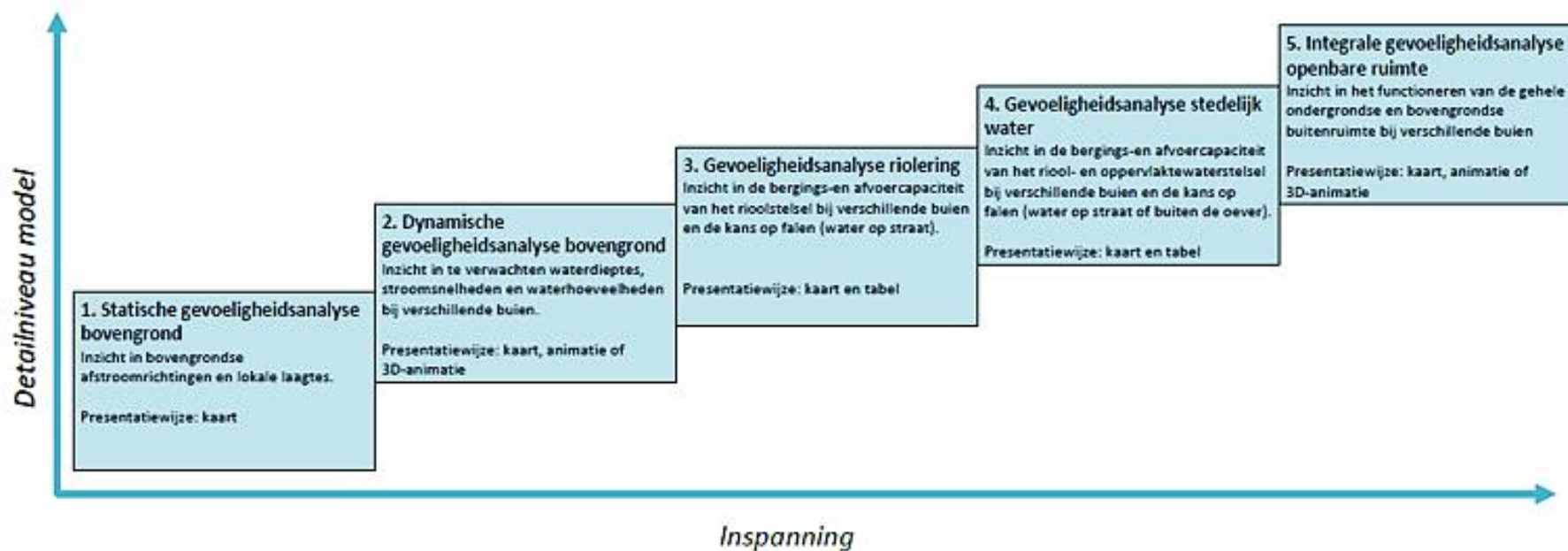
Inhoud:

1. Vergrootte foto klimaatbedreigingen voor Nederland
2. Figuur uitleg adviesinstrumenten Antea Group.
3. Leiding: uitleg, opbouw en vergelijking omtrent model
4. Overstort: uitleg, opbouw en vergelijking omtrent model
5. Doorlaat: uitleg, opbouw en vergelijking omtrent model
6. Gemaal: uitleg, opbouw en vergelijking omtrent model
7. Diamant: uitleg, opbouw en vergelijking omtrent model
8. Didactisch stelsel: uitleg, opbouw en vergelijking omtrent stelsel
9. Visualisatie grafiekjes korte woerden, Bui08
10. Visualisatie grafiekjes korte woerden, T=10
11. Visualisatie grafiekjes korte woerden, T=100

1. Klimaatbedreigingen voor Nederland

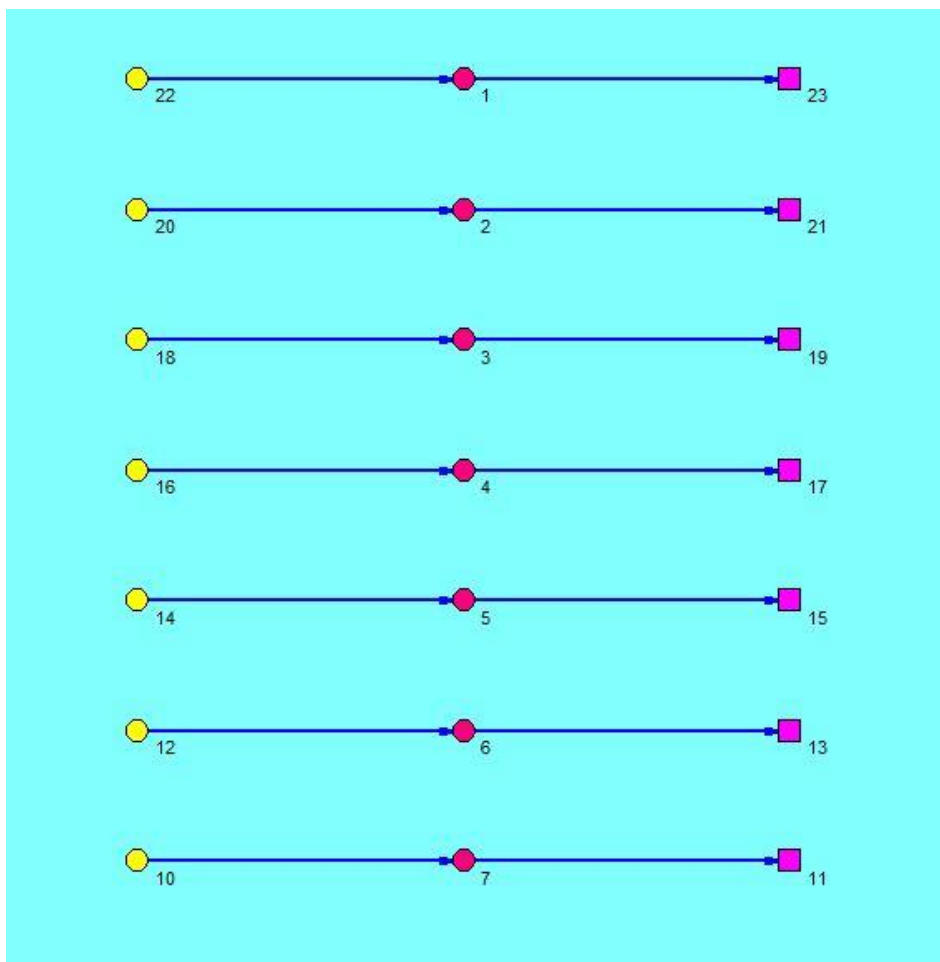


2. Uitleg adviesinstrumenten Antea Group.



3. Leiding: uitleg, opbouw en vergelijking model.

Onderstaand zijn alle 7 de leiding modellen (opgebouwd in Sobek) gevisualiseerd. Om de werking van de nieuwe software te testen, is voor elk leidingmodel een verschillende situatie genomen. Variërend in de parameters betekent dit voor de leidingen dat dit er zeven zijn geworden.



De gegevens van de leidingen zijn in de volgende tabel terug te vinden. Zoals te zien is, vinden er variaties plaats in het laterale debiet, een verschil in waterhoogte bij de uitlaat en een verschil in de diameter van de buis.

Leiding model	Lateraal debiet (m3/s)	Waterpeil uitlaat (m)	Diameter buis (mm)	Lengte (m)	Wrijving (White-Colebrook)	Putten (van – tot)
1	1	1	200	2x 25	0,003	22-23
2	1	1	500	2x 25	0,003	20-21
3	1	1	1000	2x 25	0,003	18-19
4	0.1	1	500	2x 25	0,003	16-17
5	3	1	500	2x 25	0,003	14-15
6	1	0.5	500	2x 25	0,003	12-13
7	1	0	500	2x 25	0,003	10-11

Uitwerking analytische benadering:

Voor de analytische benadering is de Chézy-formule gebruikt om het verhang over de leidingen te berekenen. Met dit verhang over de leidingen, is het vervolgens mogelijk om de waterstanden bij de putten te berekenen en te vergelijken met de uitkomsten van Sobek en DFlow FM.

Formule van Chézy:

$$Q = C * A * R^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{\Delta H}{L}\right)$$

Omgebouwde formule voor het verhang:

$$\Delta H = \left(\frac{L}{C^2}\right) * \left(\frac{Q^2}{A^2 * R}\right)$$

Eenheden :

Q = Debiet (m³/s)

C = Chézy Coëfficiënt (m^{1/2}/s)

A = Oppervlakte van de leiding (m²)

R = Hydraulische straal (m)

ΔH = verhang (m)

L = lengte van de leiding (m)

D = Diameter (m)

k = ruwheidcoëfficiënt

s = verhang per meter (m)

Bijkomende formules :

$$A = \frac{1}{4}\pi * D^2$$

$$R = \frac{1}{4}D$$

$$C = 18 \text{ LOG}(3 * D/k)$$

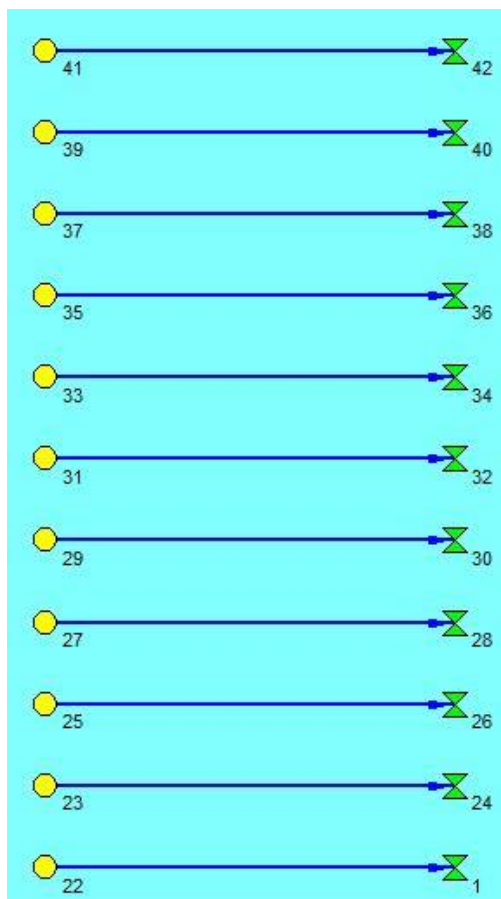
Resultaten:

In de onderstaande tabel is voor de 3 punten op elke leiding de uitwerking van de analytische benadering weergegeven. Achtereenvolgens is voor elke leiding het verhang berekend. Aan de hand van de waterstand bij de uitlaat is et vervolgens mogelijk om de waterstanden op de andere punten te berekenen.

Voor de validatie van de nieuwe software, zijn de uitkomsten van DFlow FM naast de analytische benadering en de uitkomsten van Sobek gezet.

Leiding model	Put	Q	D	A	R	k	C	L	s	Verhang over leiding	Waterstand bij uitlaat	FM	Sobek	Analytisch	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	10	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	1.162	5.576	5.53	5.558	0%	1%
1	7	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	1.162	3.371	3.35	3.360	0%	0%
1	11	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	1.162	1.162	1.16	1.162	0%	0%
2	12	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	0.766	5.182	5.13	5.162	0%	1%
2	6	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	0.766	2.977	2.95	2.964	0%	0%
2	13	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	0.766	0.766	0.77	0.766	0%	0%
3	14	3	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	19.782	1.750	41.331	39.42	41.314	0%	5%
3	5	3	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	19.782	1.750	21.546	20.90	21.532	0%	3%
3	15	3	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	19.782	1.750	1.758	1.76	1.750	0%	0%
4	16	0.1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	0.02198	1.005	1.057	1.04	1.049	-1%	0%
4	4	0.1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	0.02198	1.005	1.031	1.02	1.027	0%	0%
4	17	0.1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	0.02198	1.005	1.005	1.00	1.005	0%	0%
5	18	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.0086	0.05559	1.019	1.148	1.13	1.130	-2%	0%
5	3	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.0086	0.05559	1.019	1.084	1.07	1.075	-1%	0%
5	19	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.0086	0.05559	1.019	1.019	1.02	1.019	0%	0%
6	20	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	1.162	5.576	5.53	5.558	0%	1%
6	2	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	1.162	3.371	3.35	3.360	0%	0%
6	21	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	0.0106	2.198	1.162	1.162	1.16	1.162	0%	0%
7	22	1	0.2	0.031	0.05	0.003	41.42	25	0.0146	295.312	2.794	593.418	176.32	593.417	0%	237%
7	1	1	0.2	0.031	0.05	0.003	41.42	25	0.0146	295.312	2.794	298.106	110.29	298.106	0%	170%
7	23	1	0.2	0.031	0.05	0.003	41.42	25	0.0146	295.312	2.794	2.794	2.00	2.794	0%	40%

4. Overstort: uitleg, opbouw en vergelijking model.



Bij de validatie voor de werking van overstorten, zijn 11 verschillende testmodellen naar voren gekomen. Hierbij is voor elk testmodel een variatie van verschil in parameters aanwezig, waardoor verschillende situaties worden nagebootst. De daadwerkelijke gegevens van de 11 testmodellen zijn in de onderstaande tabel weergegeven. Hier is te zien dat voor de overstortmodellen geldt dat de variatie van parameters zich bevindt bij de drempelhoogte, drempelbreedte, de overstort coëfficiënt, het waterpeil achter de overstort en het laterale debiet voorafgaand aan de overstort.

Externe overstort	Diameter buizen (mm)	Lengte (m)	Drempel hoogte (m)	Drempel breedte (m)	Overstort coëfficiënt	Waterpeil uitlaat vanaf bodem(m)	Debiet (m ³ /s)	Putten (van – tot)
1	1000	50	1	2	0.8	1	1	22-1
2	1000	50	0.1	2	0.8	1	1	23-24
3	1000	50	10	2	0.8	1	1	25-26
4	1000	50	1	0.2	0.8	1	1	27-28
5	1000	50	1	20	0.8	1	1	29-30
6	1000	50	1	2	0.08	1	1	31-32
7	1000	50	1	2	0.8	0.5	1	33-34
8	1000	50	1	2	0.8	0	1	35-36
9	1000	50	1	2	0.8	1	0.1	37-38
10	1000	50	1	2	0.8	1	3	39-40
11	1000	50	1	2	0.8	1	Var (0, 1,0)	41-42

Uitwerking analytische benadering:

Voor de uitwerkingen van de analytische benadering zijn de formules van volkomen en onvolkomen overlaten gebruikt, om het verhang over de overstort te berekenen. Als het verhang bekend is, is het vervolgens mogelijk om de waterstanden bij de putten te berekenen.

Volkomen overlaat:

$$Q = C * B * H^{3/2}$$

Onvolkomen overlaat:

$$Q = C * B * h_2 * \sqrt{2 * g * (H^1 - h^2)}$$

Omgebouwde formule:

$$H = \left(\frac{Q}{(C * B * 1.7)} \right)^{\frac{2}{3}} + \text{crest lvl}$$

Omgebouwde formule:

$$H = \left(\frac{Q}{(C * B * h_2 * \sqrt{2 * g})} \right)^2 + h_2$$

Eenheden:

Q = Debiet (m³/s)

H = Waterstand voor de overstort (m)

Crest level = Overstorthoogte (m)

C = Overstort coëfficiënt

h₂ = Waterstand achter de overstort (m)

ΔH = Verhang over de leiding

B = Drempelbreedte (m)

g = gravitatieversnelling

Resultaten:

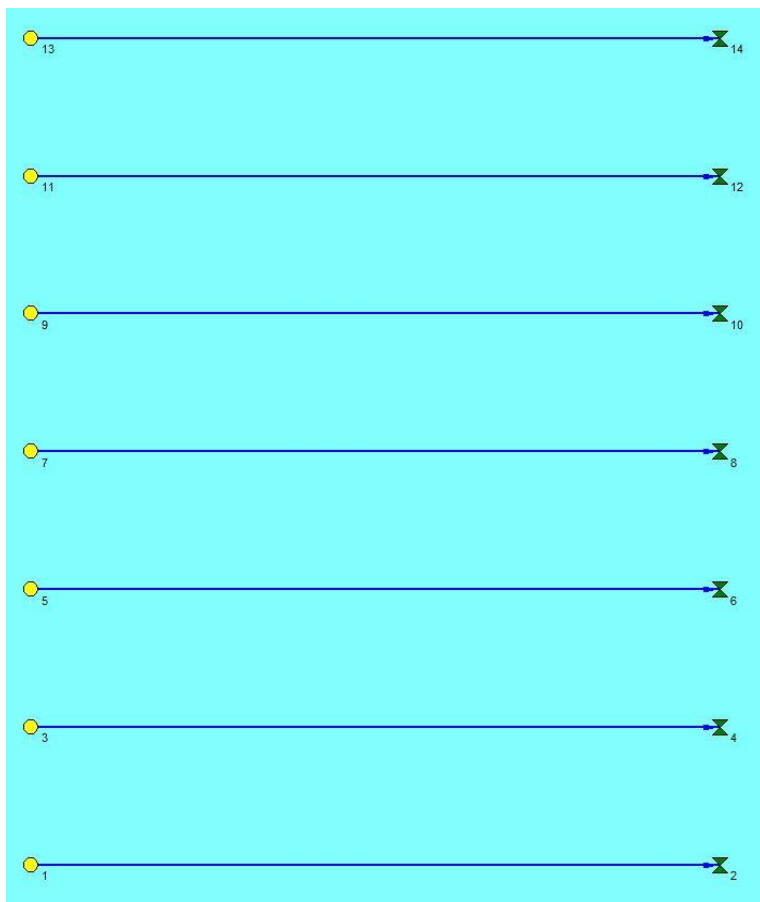
Onderstaand is de analytische benadering voor het berekenen van de verschillende waterstanden bij de overstort weergegeven. Met de aanwezige gegevens, is door middel van de overlaatformules het verhang (ΔH) over de leiding berekend. Door de drempelhoogte hierbij op te tellen, komt de waterstand naar voren. Voor overstortmodel 10 is de onvolkomen overlaatformule gebruikt. In eerste instantie was hiervoor ook een volkomen benadering gebruikt, waardoor deze af leek te wijken. Echter ligt de overstortdrempel in deze situatie beneden de waterstand van de uitlaat, waardoor er een onvolkomen overstort plaatsvindt.

In de tabel zijn de waterniveaus van DFlow FM naast de waterniveaus van Sobek en de analytische benadering gezet, om de afwijking van de nieuwe software te valideren. Zoals te zien is, sluit de nieuwe software op basis van de waterstanden in de verschillende situaties aan op de huidige Sobek software.

Overstort	Q	C	B	ΔH	Drempel hoogte	h2	H	H_FM	H_Sobek	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	1	0.8	2	0.513201	1	-	1.513201	1.512	1.512218	0%	0%
2	3	0.8	2	1.067501	1	-	2.067501	2.065	2.065457	0%	0%
3	0.1	0.8	2	0.110566	1	-	1.110566	1.11	1.110354	0%	0%
4	1	0.8	2	0.513201	1	-	1.513201	1.512	1.512218	0%	0%
5	1	0.8	2	0.513201	1	-	1.513201	1.512	1.512218	0%	0%
6	1	0.08	2	2.382068	1	-	3.382068	3.378	3.377506	0%	0%
7	1	0.8	20	0.110566	1	-	1.110566	1.11	1.110354	0%	0%
8	1	0.8	0.2	2.382068	1	-	3.382068	3.378	3.37756	0%	0%
9	1	0.8	2	0.513201	10	-	10.5132	10.51	10.51222	0%	0%
10	1	0.8	2	0.01991	0.1	1.002	1.02191	1.026	1.02458	0%	0%
11	1	0.8	2	0.513201	1	-	1.513201	1.512	1.512218	0%	0%

5. Doorlaat: uitleg, opbouw en vergelijking model.

In de onderstaande figuur zijn voor de doorlaten 7 verschillende situaties weergegeven. Binnen deze testmodellen is een variatie gemaakt in het laterale debiet, de diameter van de doorlaat en de contractie coëfficiënt bij de ingang van de doorlaat. De achterliggende informatie van de doorlaatmodellen zijn in de tabel rechts naast de figuur weergegeven.



Externe doorlaat	Lateraal debiet (m/s)	Lengte leiding (m)	Breedte doorlaat (m)	Opening doorlaat (m NAP)	Hoogte doorlaat (m)	Contractie coëfficiënt (-)	Putten
1	1	50	0.785398	0	1	0.63	1-2
2	0.1	50	0.785398	0	1	0.63	3-4
3	3	50	0.785398	0	1	0.63	5-6
4	1	50	0.007854	0	1	0.63	7-8
5	1	50	0.19635	0	1	0.63	9-10
6	1	50	0.785398	0	1	0.063	11-12
7	1	50	0.785398	0	1	6.3	13-14

Uitleg analytische benadering:

Om de werking van doorlaten in de nieuwe software te valideren, zijn de met de onderstaande formules waterstanden bij de verschillende modellen berekend. In eerste instantie is hiervoor het verhang in de leiding berekend, waarna ook de waterstanden te berekenen zijn. Vervolgens worden de analytische uitkomsten gebruikt om de nieuwe software te valideren. Door de uitkomsten in DFlow FM naast de uitkomsten van Sobek en van de analytische benadering te zetten komt de afwijking van de nieuwe software naar voren. Als extra methode om de werking te valideren is aan de hand van het weergegeven verhang in DFlow FM ook het debiet berekend. Dit om aan te tonen dat wanneer in de eerste methode een lichte afwijking zat, dit wellicht alsnog goed functioneert in FM.

Formule voor het berekenen van het debiet

$$Q = \mu * A * \sqrt{2 * g * \Delta H}$$

Formule om het verhang te berekenen

$$\Delta H = \left(\frac{Q}{\mu * A * \sqrt{2 * g}} \right)^2$$

Eenheden:

Q = Debiet (m³/s)

A = Oppervlakte doorlaat (m²)

μ = Contractie coëfficiënt (-)

g = gravitatieversnelling

ΔH = Verhang over de leiding (m)

Bijkomende formules:

A = Lengte doorlaat * Breedte doorlaat

Resultaten:

In de 2 onderstaande tabellen is in eerste instantie de afwijking bij de het verhang over de doorlaat weergegeven. De analytische benadering geeft hierbij de H, waarna de software gevalideerd kan worden door de uitkomsten van DFlow FM te vergelijken met de uitkomsten van Sobek en van de analytische uitkomsten.

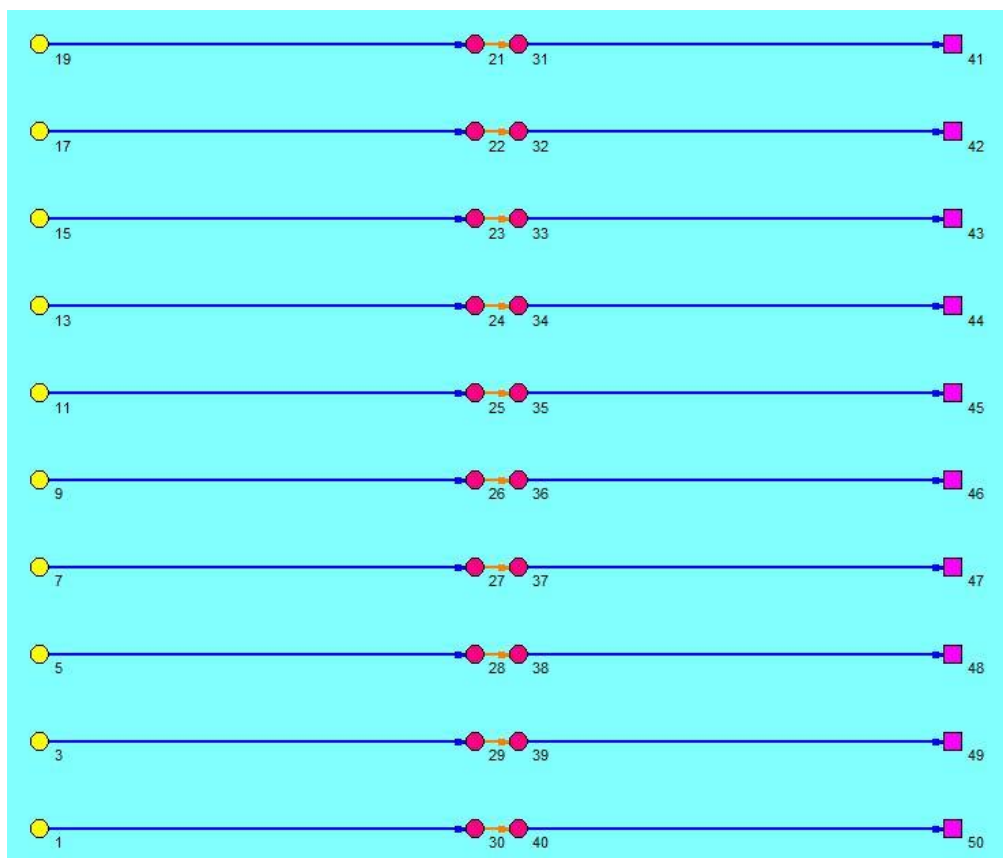
Q	u	A	g	H	H_FM	H_Sobek	EAFM	EAS		QFM_check	QS_check	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	6.3	0.79	9.81	0.002058	0.002	0.08263	2%	-96%		0.9858984	6.337034	1%	-78%
1	0.063	0.79	9.81	20.57623	22.688	19.881	-6%	2%		1.0500627	0.982961	-3%	1%
1	0.63	0.19635	9.81	3.330873	3.21	0.08263	2%	186%		0.981688	0.157503	1%	128%
1	0.63	0.007854	9.81	2081.805	1104	2082.485	46%	0%		0.7282231	1.000163	22%	0%
0.1	0.63	0.79	9.81	0.002058	0.002	0.00208	2%	-1%		0.0985898	0.100542	1%	0%
3	0.63	0.79	9.81	1.85186	1.852	0.7857	0%	62%		3.0001131	1.954094	0%	30%
1	0.63	0.79	9.81	0.205762	0.206	0.20818	0%	-1%		1.0005775	1.005858	0%	0%

In de volgende tabel is een controle voor het debiet uitgevoerd met het aangegeven verhang in DFlow FM. De uitkomst hiervan is in de kolom "QFM_check" te vinden. Ter vergelijking is ook een debietscontrole voor het verhang bij Sobek uitgevoerd. Zoals te zien sluit FM in deze situaties alsnog goed genoeg aan om verder te gaan met het onderzoek.

Q	u	A	g	H_FM	H_Sobek		QFM_check	QS_check	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek
1	6.3	0.79	9.81	0.002	0.08263		0.985898	6.337034	1%	-78%
1	0.063	0.79	9.81	22.688	19.881		1.050063	0.982961	-3%	1%
1	0.63	0.19635	9.81	3.21	0.08263		0.981688	0.157503	1%	128%
1	0.63	0.007854	9.81	1104	2082.485		0.728223	1.000163	22%	0%
0.1	0.63	0.79	9.81	0.002	0.00208		0.09859	0.100542	1%	0%
3	0.63	0.79	9.81	1.852	0.7857		3.000113	1.954094	0%	30%
1	0.63	0.79	9.81	0.206	0.20818		1.000578	1.005858	0%	0%

6. Gemaal: uitleg, opbouw en vergelijking model.

In de onderstaande figuur zijn de verschillende modellen voor het valideren van gemalen te zien. Hierbij bevindt zich links een put met een lateraal debiet, in het midden twee putten met hiertussen een intern gemaal en rechts op het einde de wateruitlaat. De variaties tussen de modellen verschillen in het laterale debiet, het pompdebiet, de putgrootte en in de aan- en uitslagpeilen van de gemalen. De daadwerkelijke gegevens behorend bij de gemaalmodellen zijn per model in de tabel op de volgende pagina weergegeven.



Gemaal	Diameter buizen (mm)	Lateraal debiet (m ³ /s)	Pompdebiet (m ³ /s)	Putgrootte (m ²)	Pomp aan (m NAP)	Pomp uit (m NAP)	Pomprichting	Wateruitlaat (m NAP)	Putten	Notities	Vershil in en uitslag peil (10%)
1	1000	0.0005	0.0015	1	-2.22	-2.4	Zuigkant	1.6	1-50	Laag debiet	0.18
2	1000	0.0015	0.0015	1	-1.86	-2.4	Zuigkant	1.6	3-49	Normaal	0.54
3	1000	0.003	0.0015	1	-1.32	-2.4	Zuigkant	1.6	5-48	Hoog debiet	1.08
4	1000	0.0015	0.0005	1	-1.86	-2.4	Zuigkant	1.6	7-47		0.54
5	1000	0.0015	0.003	1	-1.86	-2.4	Zuigkant	1.6	9-46		0.54
6	1000	0.0015	0.0015	0.1	-1.86	-2.4	Zuigkant	1.6	11-45		0.54
7	1000	0.0015	0.0015	10	-1.86	-2.4	Zuigkant	1.6	13-44		0.54
8	1000	0.0015	0.0015	1	-2.4	-1.86	Afleverkant	1.6	15-43		0.54
9	1000	0.003	0.0015	1	-2.4	-1.32	Afleverkant	1.6	17-42		1.08
10	1000	0.0015	0.0015	1	-1.86	-2.4	Zuigkant	1.8	19-41	Aangepast Waterniveau bij uitlaat.	0.54

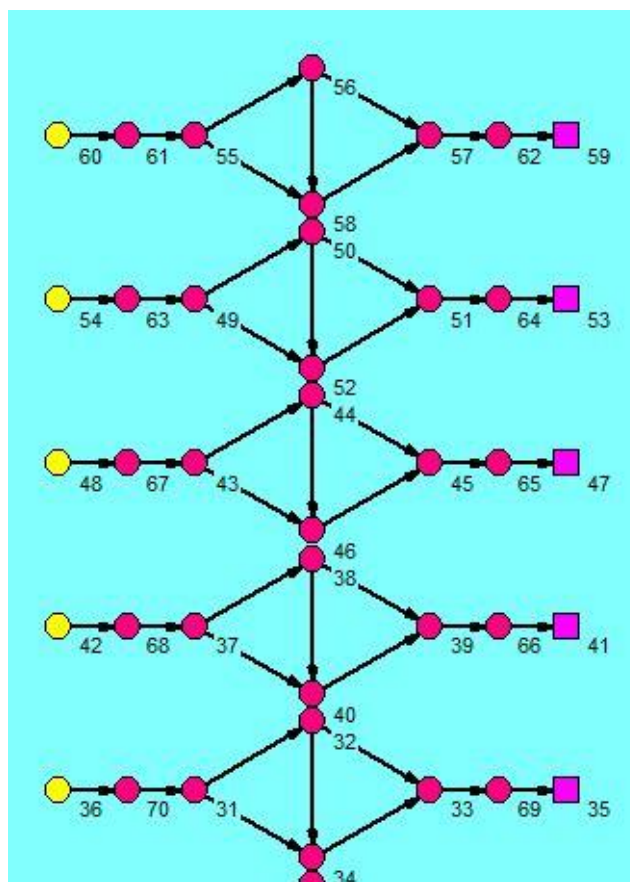
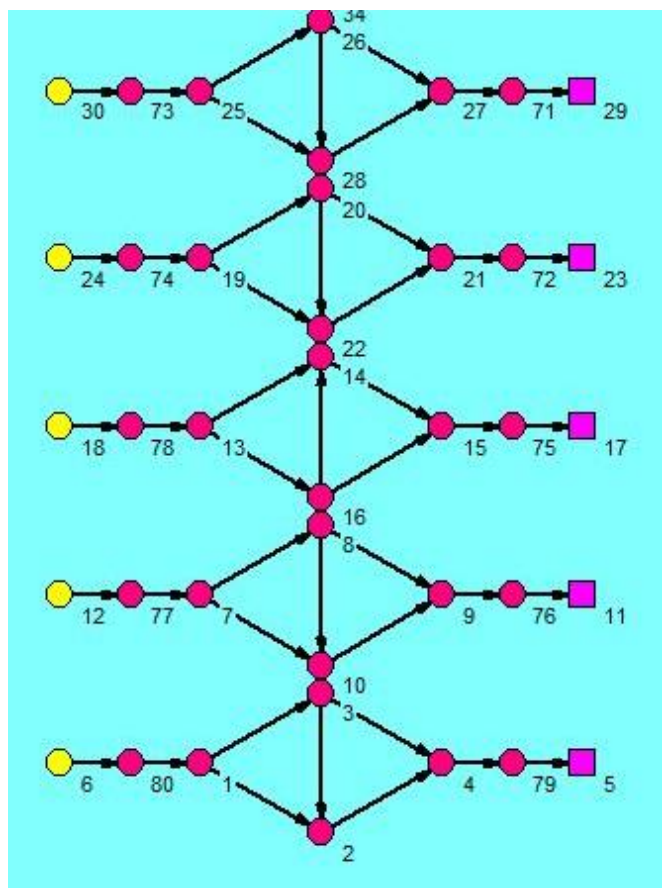
Uitwerkingen vergelijking:

Voor de validatie voor de werking van de gemalen, is gekeken naar de aan en uitslag punten van de gemalen.

Pomp	Put	Berging in gemaal (m3)	Qin (m3/s)	Qpomp (m3/s)	Qnetto (m3/s)	Analytisch leeg (min)	Analytisch vol (min)	Sobek leeg (min)	Sobek vol (min)	FM leeg 0.1(min)	FM vol 0.1(min)	FM leeg 0.01(min)	FM vol 0.01(min)
1	30	0.18	0.0005	0.0015	0.001	3	6	6	15	5	9	4	8
2	29	0.54	0.0015	0.0015	0	Nooit	6	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit
3	28	1.08	0.003	0.0015	-0.0015	Nooit	6	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen
4	27	0.54	0.0015	0.0005	-0.001	Nooit	6	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen	Blijft stijgen
5	26	0.54	0.0015	0.003	0.0015	6	6	13	25	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit
6	25	0.54	0.0015	0.0015	0	Nooit	6	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit
7	24	0.54	0.0015	0.0015	0	Nooit	6	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit
8	23	0.54	0.0015	0.0015	0	Nooit	6	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit
9	22	1.08	0.003	0.0015	-0.0015	Nooit	6	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit
10	21	0.54	0.0015	0.0015	0	Nooit	6	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit	Nooit

7. Diamant: uitleg, opbouw en vergelijking model

In de bijgevoegde figuren zijn de 10 verschillende testmodellen van de diamant weergegeven. De diamant is het eerste teststelsel waarmee onder andere de interactie tussen verschillende leidingen wordt getest. In de testmodellen is gevarieerd in het aanvoerdebiet, leidingdiameter, leidingtype en de weerstandconstante van de leiding.



De gegevens van de verschillende stelsels zijn in de onderstaande tabel toegelicht.

Diamant	Putten Sobek	Putten FM	Aanvoer debiet (m ³ /s)	Diameter (mm)	Weerstand (-)	Bijzonderheid
1	(6-5)	6-5-62	1	1000	0.003	Normaal
2	(12-11)	12-11-64	0.1	1000	0.003	
3	(18-17)	18-17-66	1	1000	0.003	Omgekeerde stroomrichting midden buis
4	(24-23)	24-23-68	3	1000	0.003	
5	(30-29)	30-29-70	1	1000	0.003	Rechtsboven diameter = 500 mm
6	(36-35)	36-35-72	1	1000	0.003	Rechtsboven diameter = 1500 mm
7	(42-41)	42-41-74	1	1000	0.003	Rechtsboven weerstand = White Colebrook 0,03
8	(48-47)	48-47-76	1	1000	0.003	Rechtsboven weerstand = White Colebrook 0,0003
9	(54-53)	54-53-78	1	500	0.003	Alleen middelste buis = 1000 mm
10	(60-59)	60-59-80	1	1m (hoog)	0.003	Alleen middelste buis rond rest is eivormig

Uitwerking analytische benadering

voor de analytische benadering is gebruik gemaakt van de Chézy-formule. Door middel van deze formule is het verhang over de leidingen berekent, waarna de waterstanden op de putten te berekenen zijn.

Formule van Chézy:

$$Q = C * A * R^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{\Delta H}{L}\right)$$

Omgebouwde formule voor het verhang:

$$\Delta H = \left(\frac{L}{C^2}\right) * \left(\frac{Q^2}{A^2 * R}\right)$$

Eenheden :

Q = Debiet (m³/s)

C = Chézy Coëfficiënt (m^{1/2}/s)

A = Oppervlakte van de leiding (m²)

R = Hydraulische straal (m)

ΔH = verhang (m)

L = lengte van de leiding (m)

D = Diameter (m)

k = ruwheidcoëfficiënt

s = verhang per meter (m)

Bijkomende formules :

$$A = \frac{1}{4}\pi * D^2$$

$$R = \frac{1}{4}D$$

$$C = 18 \text{ LOG}(3 * D/k)$$

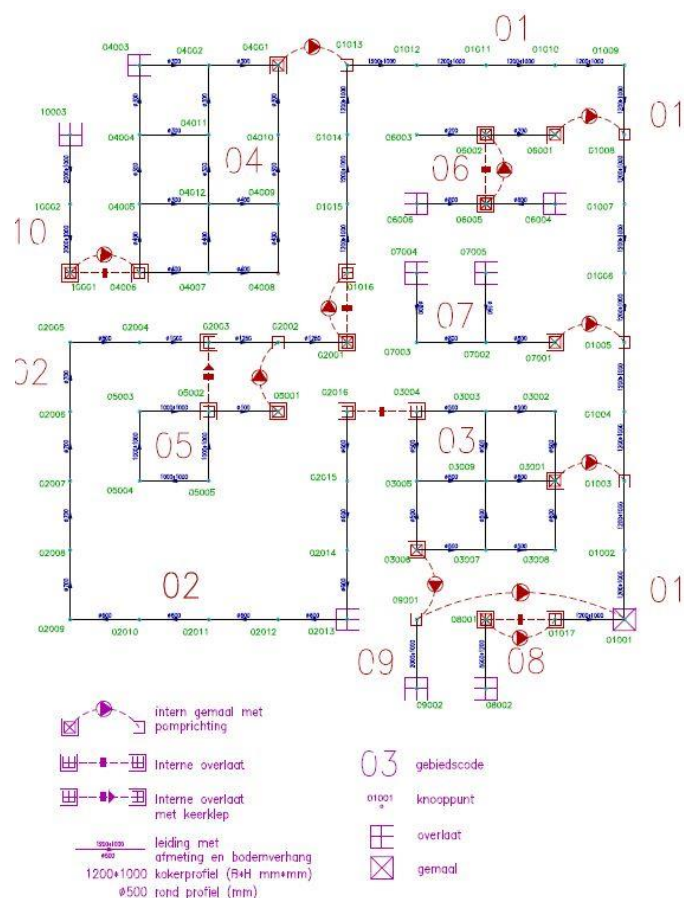
Resultaten:

Model	Put	Q	D	A	R	k	C	L	IF	Waterstand uitlaat	Analytisch	Sobek	FM	Afwijking A - FM	Afwijking A - Sobek	Qcheck	s
1	79	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.0556	1.056	1.0556	0%	0%	1	0.00222
1	3	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.1112	1.111	1.1112	0%	0%	1	0.00222
1	2	0.5	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.027797	1.000	1.1390	1.139	1.1390	0%	0%	0.5	0.00055
1	4	0.5	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.027797	1.000	1.1390	1.139	1.1390	0%	0%	0.5	0.00055
2	76	0.1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.000556	1.000	1.0006	1.001	1.0006	0%	0%	0.1	2.22E-05
2	9	0.1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.000556	1.000	1.0011	1.001	1.0011	0%	0%	0.1	2.22E-05
2	8	0.05	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.000278	1.000	1.0014	1.001	1.0006	0%	0%	0.05	5.55E-06
2	10	0.05	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.000278	1.000	1.0014	1.001	1.0011	0%	0%	0.05	5.55E-06
3	75	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.0556	1.056	1.0556	0%	0%	1	0.00222
3	15	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.1112	1.111	1.1112	0%	0%	1	0.00222
3	14	0.5	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.027797	1.000	1.1390	1.139	1.1390	0%	0%	0.5	0.00055
3	16	0.5	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.027797	1.000	1.1390	1.139	1.1390	0%	0%	0.5	0.00055
4	72	3	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.500352	1.000	1.5004	1.500	1.5010	0%	0%	3	0.0200
4	21	3	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.500352	1.000	2.0007	2.000	2.0020	0%	0%	3	0.0200
4	20	1.5	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.250176	1.000	2.2509	2.250	2.2520	0%	0%	1.5	0.00500
4	22	1.5	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.250176	1.000	2.2509	2.250	2.2520	0%	0%	1.5	0.00500
5	71	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.0556	1.056	1.0556	0%	0%	1	0.00222
5	27	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.1112	1.111	1.1112	0%	0%	1	0.00222
5	26	0.145	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	50	0.092426	1.000	1.2036	1.203	1.2030	0%	0%	0.145	0.00184
5	28	0.855	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.081282	1.000	1.1925	1.192	1.1930	0%	0%	0.855	0.00162
6	69	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.0556	1.056	1.0556	0%	0%	1	0.00222
6	33	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.1112	1.111	1.1112	0%	0%	1	0.00222
6	32	0.687	1.5	1.767	0.375	0.003	57.17	50	0.006166	1.000	1.1174	1.119	1.1190	0%	0%	0.687	0.00012
6	34	0.313	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.010893	1.000	1.1221	1.122	1.1220	0%	0%	0.313	0.00021
7	66	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.0556	1.056	1.0556	0%	0%	1	0.00222
7	39	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.1112	1.111	1.1112	0%	0%	1	0.00222
7	38	0.403	1	0.785	0.25	0.03	36	50	0.040631	1.000	1.1518	1.152	1.1520	0%	0%	0.403	0.00081262
7	40	0.597	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.039629	1.000	1.1508	1.151	1.1510	0%	0%	0.597	0.00079258

8	65	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.0556	1.056	1.0556	0%	0%	1	0.00222378
8	45	1	1	0.785	0.25	0.003	54	25	0.055595	1.000	1.1112	1.111	1.1112	0%	0%	1	0.00222378
8	44	0.569	1	0.785	0.25	0.0003	72	50	0.020249	1.000	1.1314	1.131	1.1320	0%	0%	0.569	0.00040499
8	46	0.431	1	0.785	0.25	0.003	54	50	0.020655	1.000	1.1318	1.132	1.1320	0%	0%	0.431	0.00041309
9	64	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	2.198007	1.000	3.1980	3.190	3.1990	0%	0%	1	0.08792028
9	51	1	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	25	2.198007	1.000	5.3960	5.368	5.3970	0%	0%	1	0.08792028
9	50	0.5	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	50	1.099004	1.000	6.4950	6.455	6.4960	0%	0%	0.5	0.02198007
9	52	0.5	0.5	0.196	0.125	0.003	48.58	50	1.099004	1.000	6.4950	6.455	6.4960	0%	0%	0.5	0.02198007
10	62	1	1.01	1.149	0.290	0.003	55.15	25	0.021481	2.000	2.0215	2.051	2.0390	-1%	0%	1	0.00085925
10	57	1	1.01	1.149	0.290	0.003	55.15	25	0.021481	2.000	2.0430	2.085	2.0610	-1%	0%	1	0.00085925
10	56	0.5	1.04	1.149	0.290	0.003	55.15	50	0.010741	2.000	2.0537	2.101	2.0710	-1%	1%	0.5	0.00021481
10	58	0.5	1.04	1.149	0.290	0.003	55.15	50	0.010741	2.000	2.0537	2.101	2.0710	-1%	1%	0.5	0.00021481

8. Didactisch stelsel: uitleg, opbouw en vergelijking model

In de figuur is een visualisatie van de verschillende deelgebieden binnen het didactisch stelsel weergegeven. Daarbij, is rechts de uitleg omtrent de tien verschillende deelgebieden van het didactisch stelsel weergegeven.



Tabel 5.1: Omschrijving rioleringsgebieden.

gebied	omschrijving	bijzonderheden
01	eigen gebied AWZI	rioolgemaal naar AWZI vlak gelegen grote koker relatief weinig afvoerend oppervlak relatief veel berging
02	onderbemalen stuwgebied	onderbemaling naar gebied 01 bovendrempelberging van gebied 01 externe hooggelegen overstort
03	hooggelegen gebied	interne overstort naar gebied 02 met lang afvoertraject naar AWZI extra pompcapaciteit naar bergingsvoorziening in gebied 09
04	laaggelegen vlak gebied	laaggelegen vlak gebied lozing op koker in gebied 01
05	vlak gebied	pendelende pomp t.g.v. kleine kelder interne drempel naar gebied 02 overstort voorzien van terugslagklep
06	verbeterd gescheiden stelsel	noodoverstort dwa - rwa systeem gem. dwa belasting 10 l/(m ² .h) dwa periode van 8 - 20 uur
07	industriegebied vlak uitgestrekt	2 overstordrempels ongelijkmatige vulling rioolstelsel dwa productie industrie 7 1/2 dwa belasting ma-vr van 8 - 16 uur
08	bergbezinkvoorziening	bergbezinkvoorziening van gebied 01
09	berging/overstortbemaling	berging gevuld met gestuurde pomp voor gebied 03
10	'groene' berging	bergingsvoorziening van circa 12 mm ten opzichte van afvoerend oppervlak gebied 04

Parameters achter de kunstwerken:

In de onderstaande tabellen zijn de belangrijkste parameters van de gemalen en overstorten binnen het didactisch stelsel weergegeven.

Tabel 5.2: Gegevens rioolgemalen.

identificatie verbinding gb=gebied, kn=knoop		pompcapaciteiten			
gb1.kn1	gb2.kn2	pomp cap. (m ³ /h)	niveau aan (m NAP)	niveau uit (m NAP)	schakel scenario (-)
01.001	-	234.0	0.00	-0.50	A
02.001	01.016	72.0	0.50	0.00	
03.001	01.003	18.0	2.00	1.50	
03.006	09.001	144.0	2.20	2.00	
04.001	01.013	18.0	-1.00	-1.50	
05.001	02.002	54.0	2.00	1.50	
06.001	01.008	14.4	1.00	0.50	
06.005	06.002	7.2	1.00	0.50	
07.001	01.005	32.4	1.50	1.00	
08.001	01.017	14.4	0.10	-0.40	
09.001	01.001	7.2	3.00	2.50	C
10.001	04.006	14.4	-1.00	-1.50	D

Tabel 5.4: Gegevens overstorten.

identificatie verbinding: gb = gebied, kn = knoop		overstortdrempel	
gb1.kn1	gb2.kn2	niveau (m-NAP)	breedte (m)
01.017	08.001	1.00	5.00
02.001	01.016	2.25	5.00
02.013	-	2.90	1.00
03.004	02.016	3.70	3.00
04.003	-	0.20	3.00
04.006	10.001	0.00	5.00
05.002	02.003	2.40	5.00
06.002	06.005	2.50	1.00
06.004	-	1.85	2.00
06.006	-	1.85	2.00
07.004	-	3.00	2.00
07.005	-	3.25	1.00
08.002	-	1.20	5.00
09.002	-	4.00	5.00
10.003	-	0.20	5.00

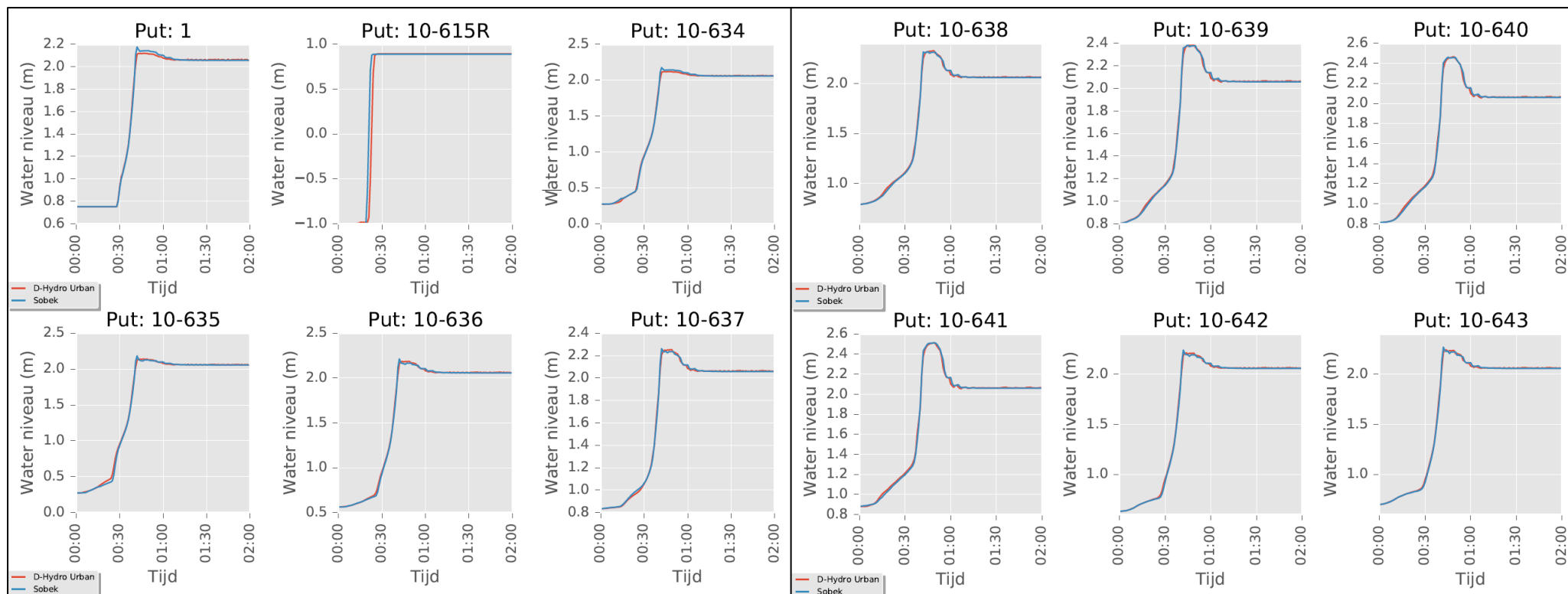
Maximale resultaten bij elke put:

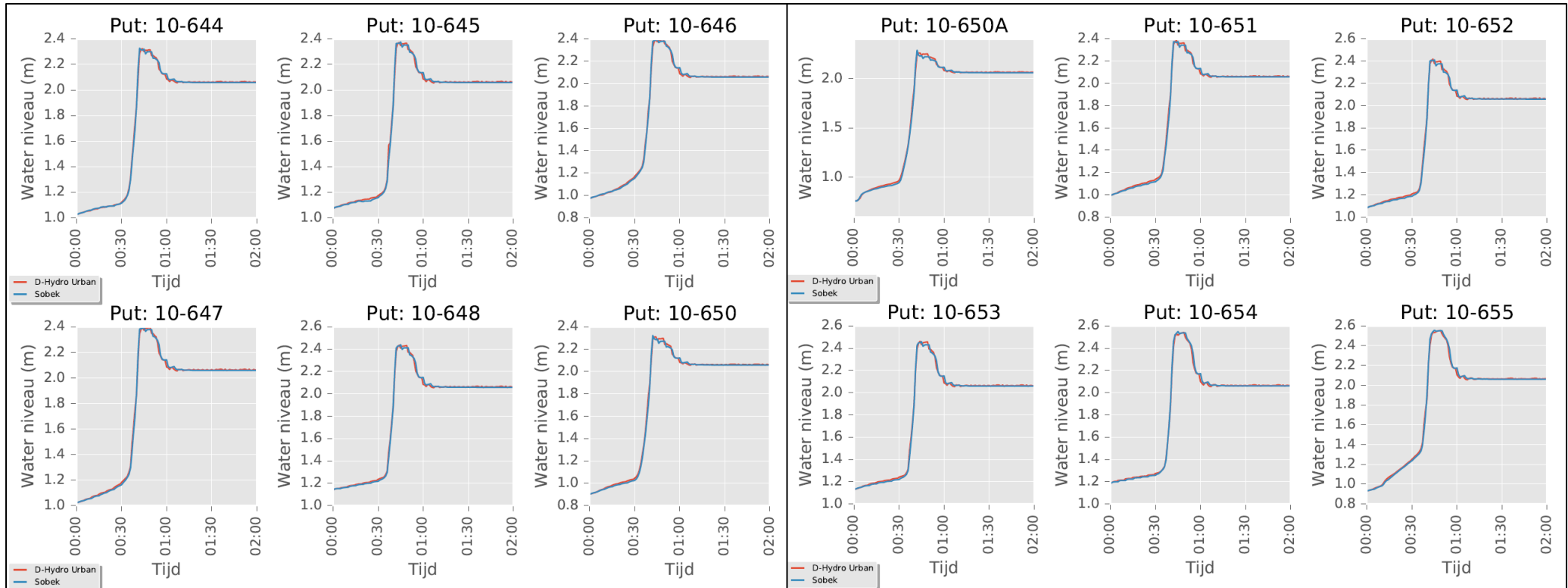
Put	Uit literatuur	Sobek	DFlow FM	Literatuur – Sobek afwijking	Literatuur – DFlow FM afwijking
1001	1.65	1.69	1.65	0.04	0.00
1002	1.74	1.79	1.75	0.05	0.01
1003	1.84	1.89	1.85	0.05	0.01
1004	1.93	1.99	1.95	0.06	0.02
1005	2.03	2.09	2.05	0.06	0.02
1006	2.12	2.18	2.15	0.06	0.03
1007	2.21	2.28	2.24	0.07	0.03
1008	2.31	2.38	2.34	0.07	0.03
1009	2.4	2.48	2.45	0.08	0.05
1010	2.49	2.57	2.55	0.08	0.06
1011	2.59	2.67	2.65	0.08	0.06
1012	2.68	2.78	2.75	0.10	0.07
1013	2.76	2.87	2.83	0.11	0.07
1014	2.84	2.95	2.91	0.11	0.07
1015	2.9	3.02	2.97	0.12	0.07
1016	2.96	3.07	3.03	0.11	0.07
1017	1.56	1.60	1.53	0.04	0.03
2001	2.97	3.08	3.10	0.11	0.13
2002	3	3.11	3.13	0.11	0.13
2003	3.02	3.13	3.15	0.11	0.13
2004	3.05	3.15	3.18	0.10	0.13
2005	3.13	3.21	3.26	0.08	0.13
2006	3.23	3.32	3.36	0.09	0.13
2007	3.3	3.40	3.42	0.10	0.12
2008	3.33	3.43	3.45	0.10	0.12
2009	3.34	3.44	3.46	0.10	0.12
2010	3.35	3.46	3.47	0.11	0.12
2011	3.35	3.46	3.47	0.11	0.12

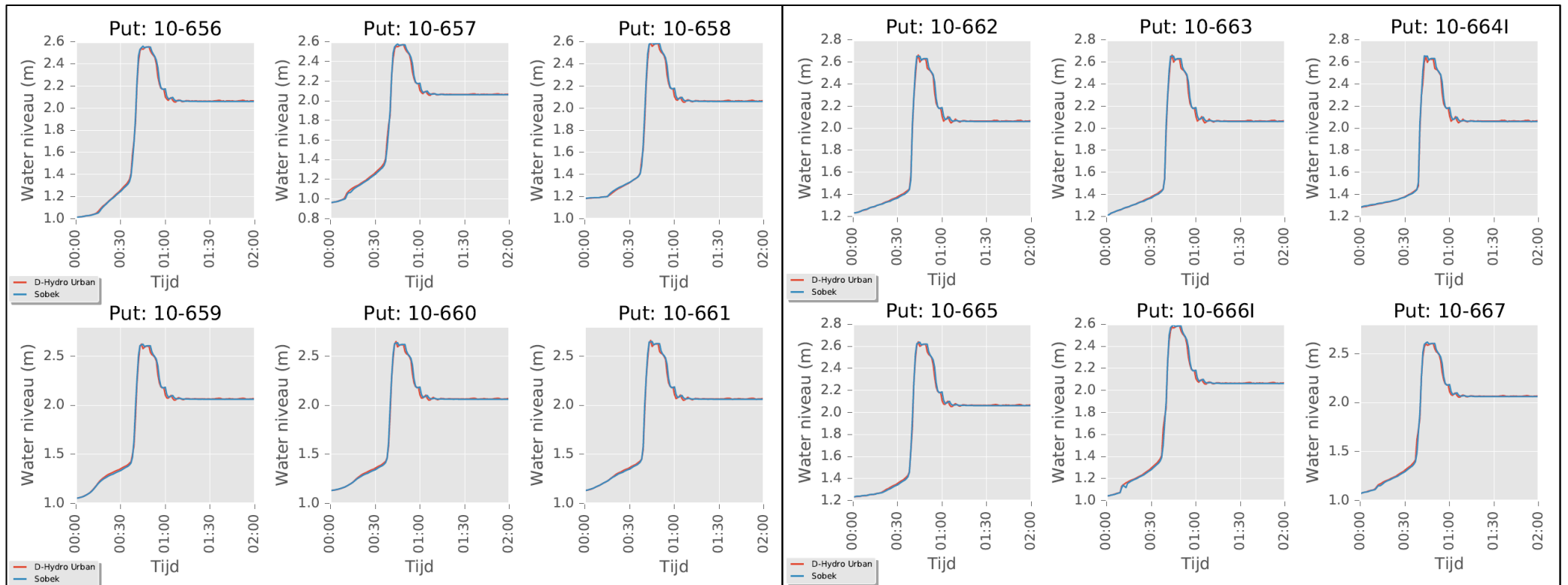
2012	3.34	3.46	3.47		0.12	0.13
2013	3.33	3.46	3.46		0.13	0.13
2014	3.5	3.64	3.64		0.14	0.14
2015	3.66	3.81	3.81		0.15	0.15
2016	3.81	3.96	3.96		0.15	0.15
3001	3.92	4.05	4.04		0.13	0.12
3002	3.92	4.05	4.04		0.13	0.12
3003	3.91	4.04	4.03		0.13	0.12
3004	3.85	3.97	3.97		0.12	0.12
3005	3.91	4.04	4.02		0.13	0.11
3006	3.91	4.04	4.06		0.13	0.15
3007	3.92	4.05	4.04		0.13	0.12
3008	3.92	4.05	4.04		0.13	0.12
3009	3.92	4.05	4.04		0.13	0.12
4001	0.25	0.42	0.42		0.17	0.17
4002	0.25	0.41	0.41		0.16	0.16
4003	0.24	0.38	0.37		0.14	0.13
4004	0.23	0.38	0.38		0.15	0.15
4005	0.14	0.33	0.32		0.19	0.18
4006	0.07	0.30	0.30		0.23	0.23
4007	0.15	0.34	0.34		0.19	0.19
4008	0.17	0.35	0.35		0.18	0.18
4009	0.17	0.36	0.35		0.19	0.18
4010	0.23	0.40	0.40		0.17	0.17
4011	0.23	0.39	0.38		0.16	0.15
4012	0.17	0.35	0.35		0.18	0.18
5001	1.97	2.04	2.12		0.07	0.15
5002	3.02	3.13	3.15		0.11	0.13
5003	3.02	3.13	3.16		0.11	0.14
5004	3.02	3.13	3.16		0.11	0.14
5005	3.02	3.13	3.15		0.11	0.13
6001	0.99	1.02	1.01		0.03	0.02

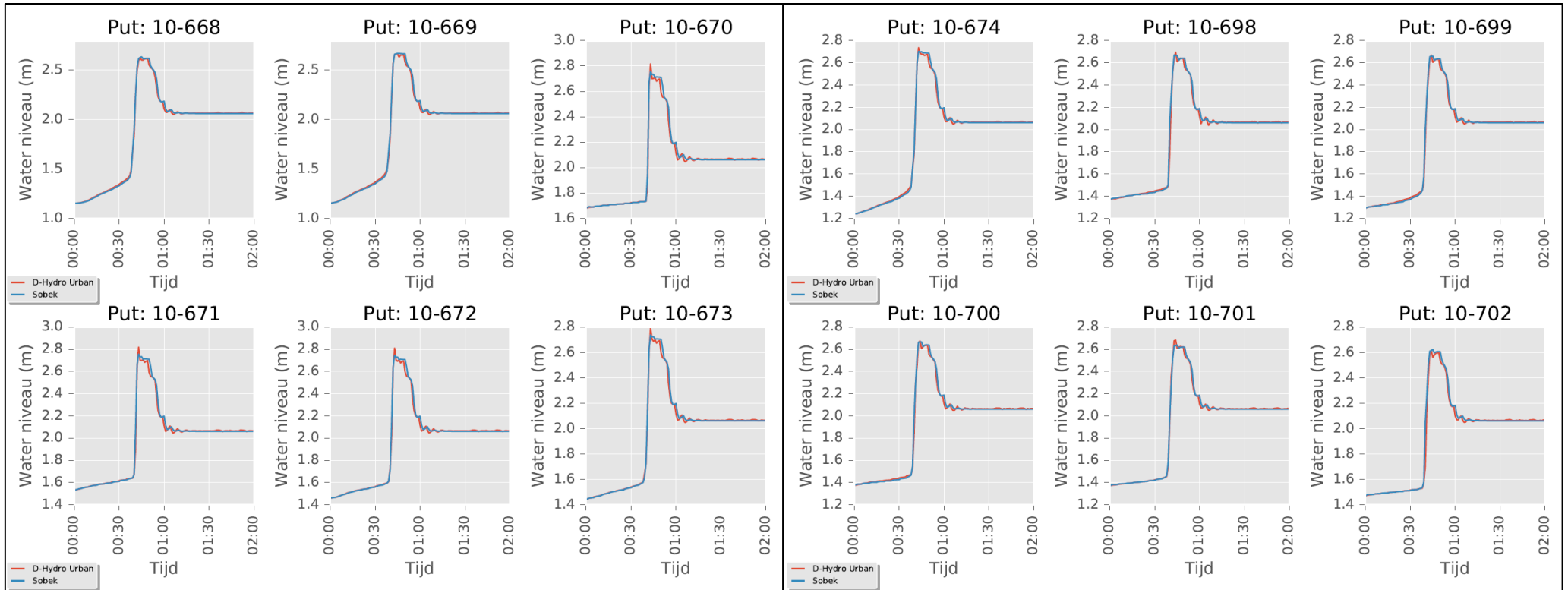
6002	1.13	1.11	1.09		0.02	0.04
6003	1.15	0.33	0.30		0.82	0.85
6004	1.94	1.96	1.94		0.02	0.00
6005	1.94	1.96	1.95		0.02	0.01
6006	1.94	1.96	1.94		0.02	0.00
7001	3.09	3.19	3.24		0.10	0.15
7002	3.09	3.19	3.16		0.10	0.07
7003	3.09	3.19	3.16		0.10	0.07
7004	3.09	3.17	3.15		0.08	0.06
7005	3.32	3.19	3.17		0.13	0.15
8001	1.53	1.64	1.54		0.11	0.01
8002	1.52	1.63	1.53		0.11	0.01
9001	3.96	4.04	4.16		0.08	0.20
9002	3.96	4.04	4.16		0.08	0.20
10001	-0.08	0.30	0.30		0.38	0.38
10002	-0.08	0.30	0.30		0.38	0.38
10003	-0.08	0.30	0.30		0.38	0.38

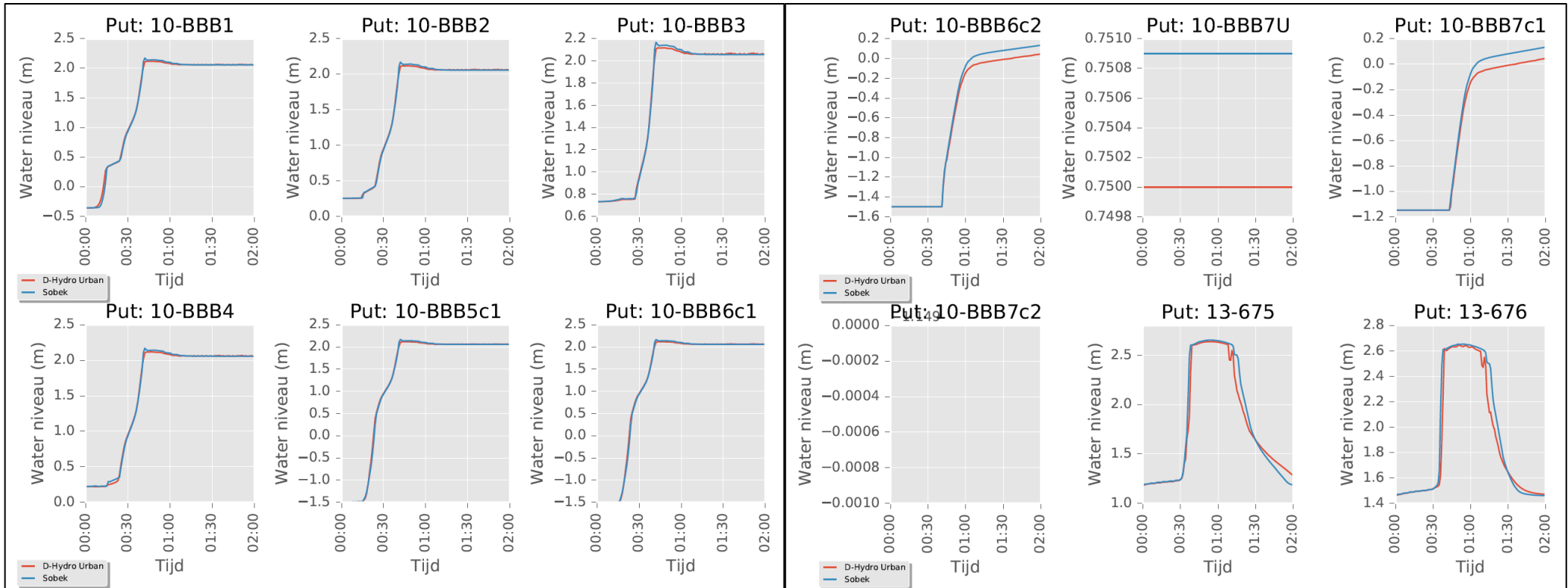
9. Grafieken Bui08:

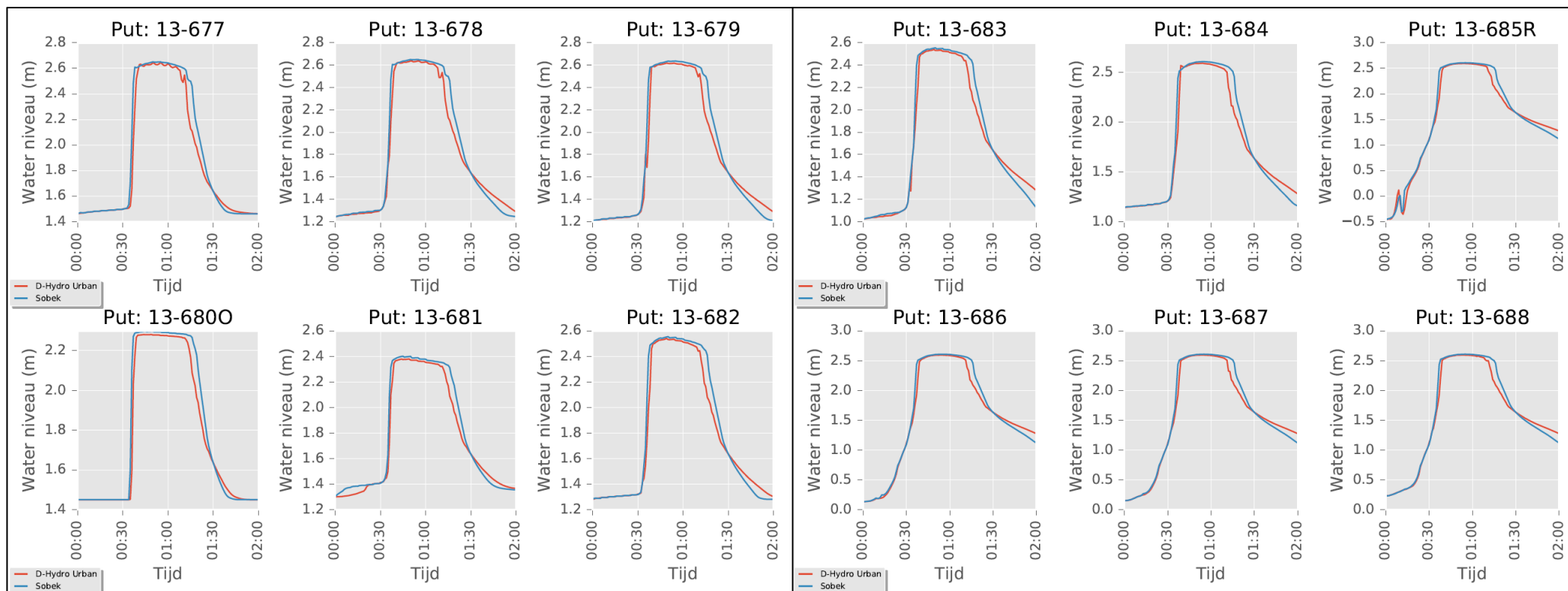


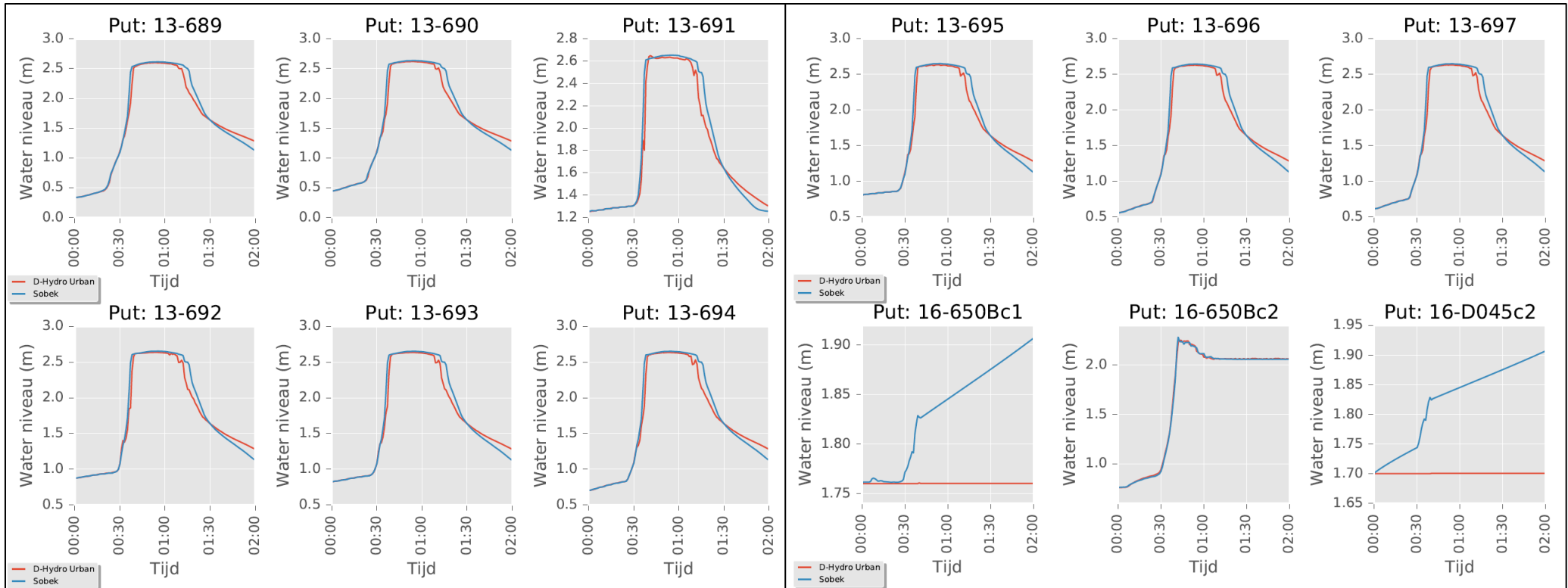




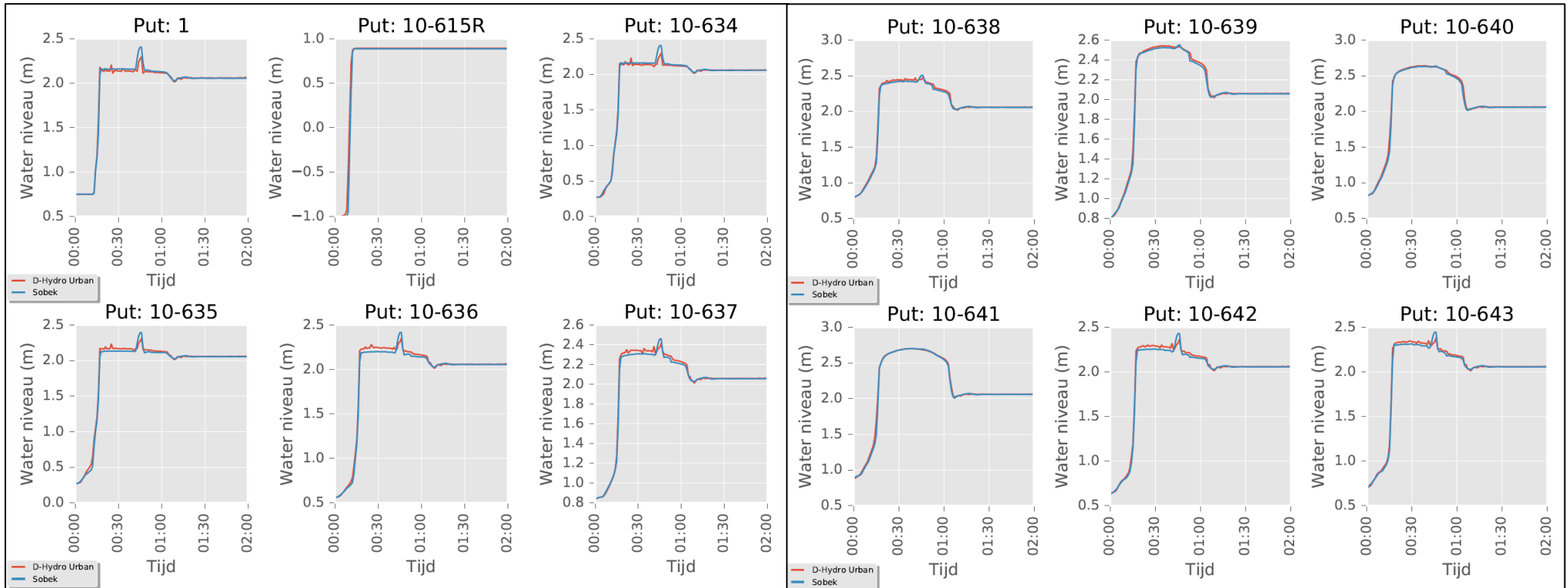


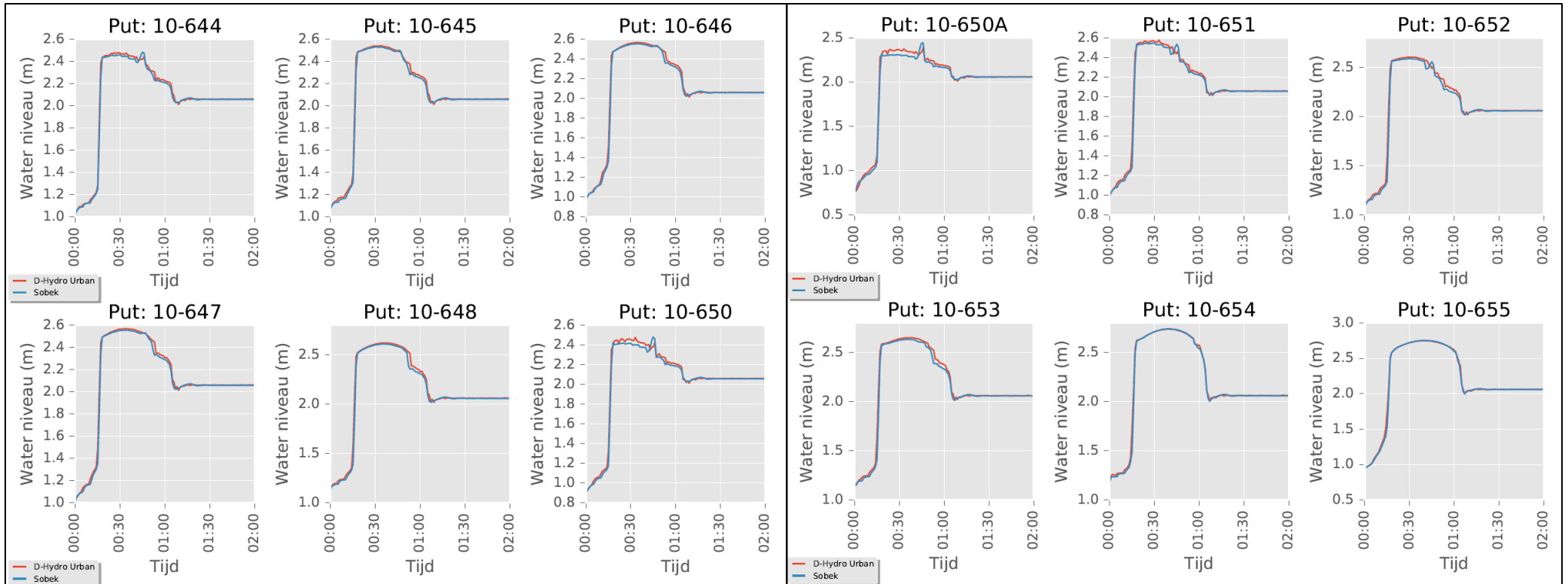


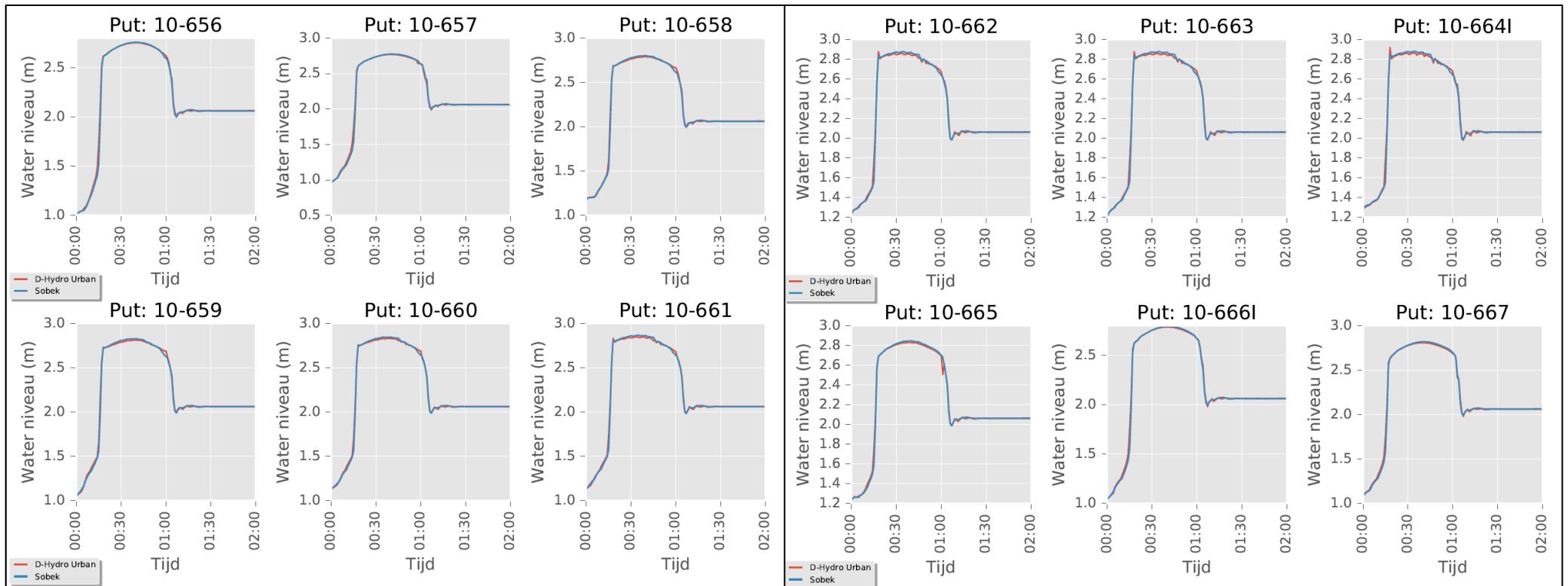


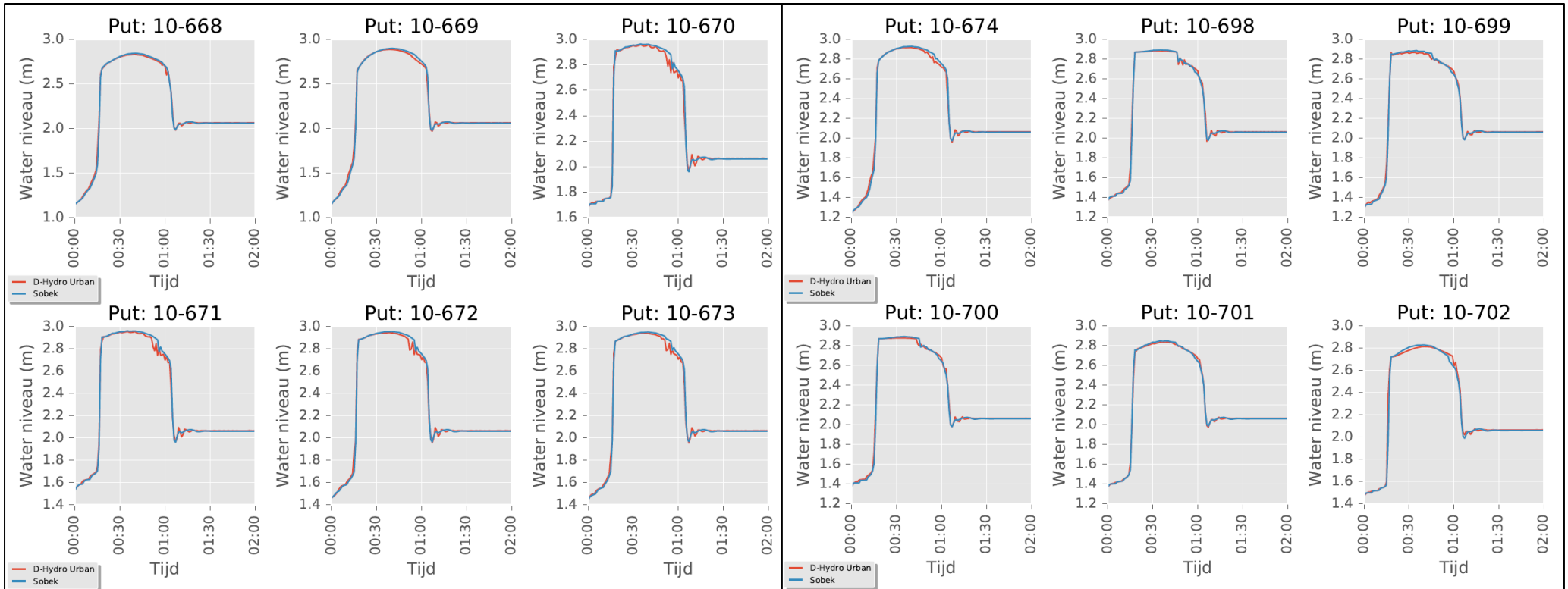


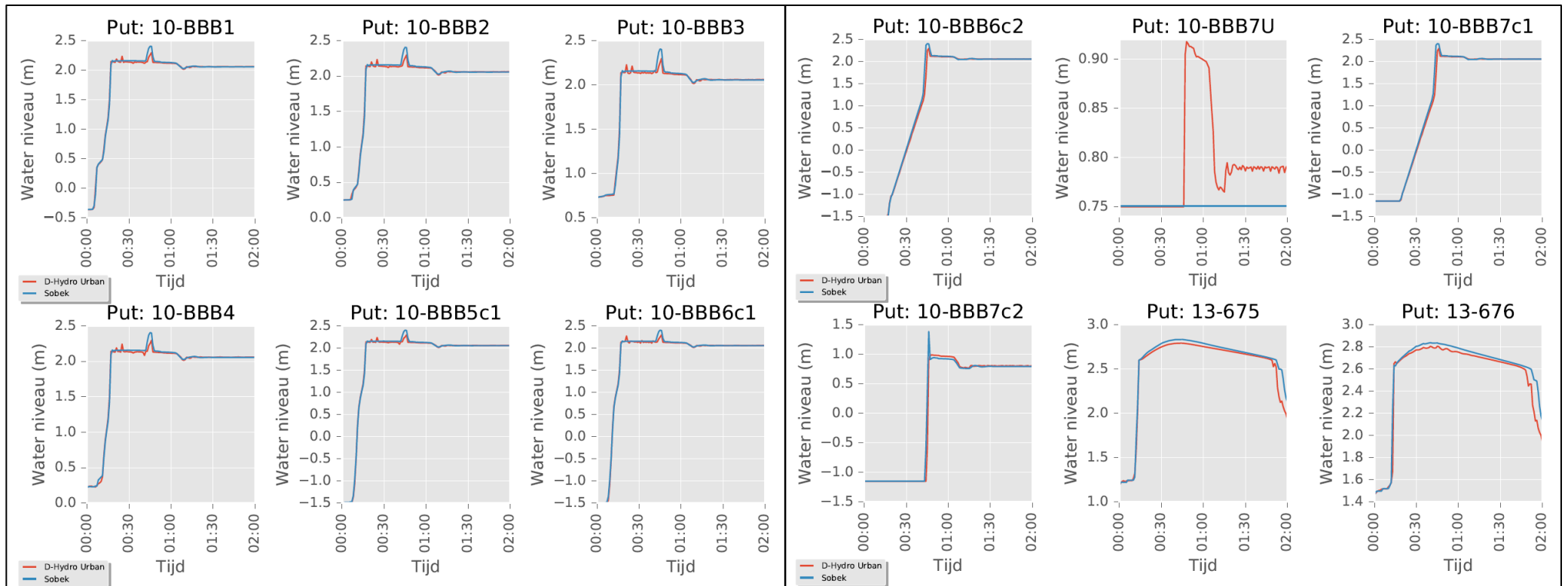
10. Grafieken T=10 bui:

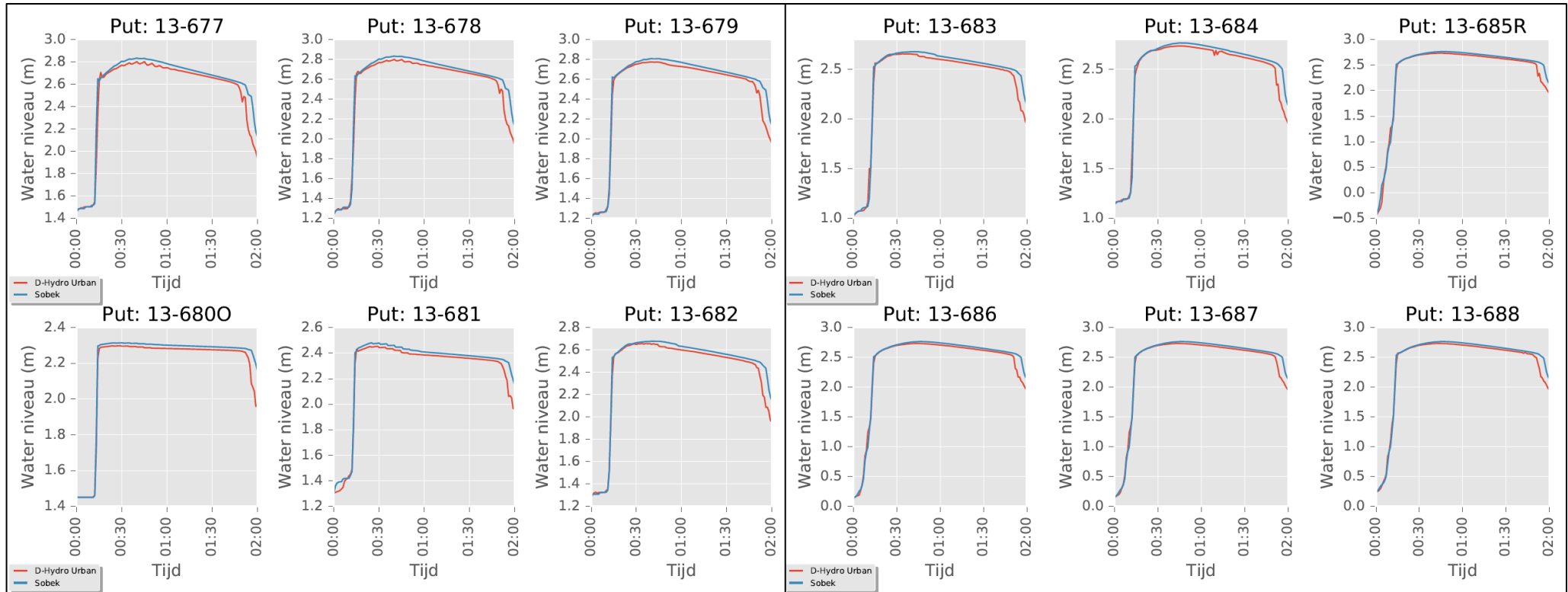


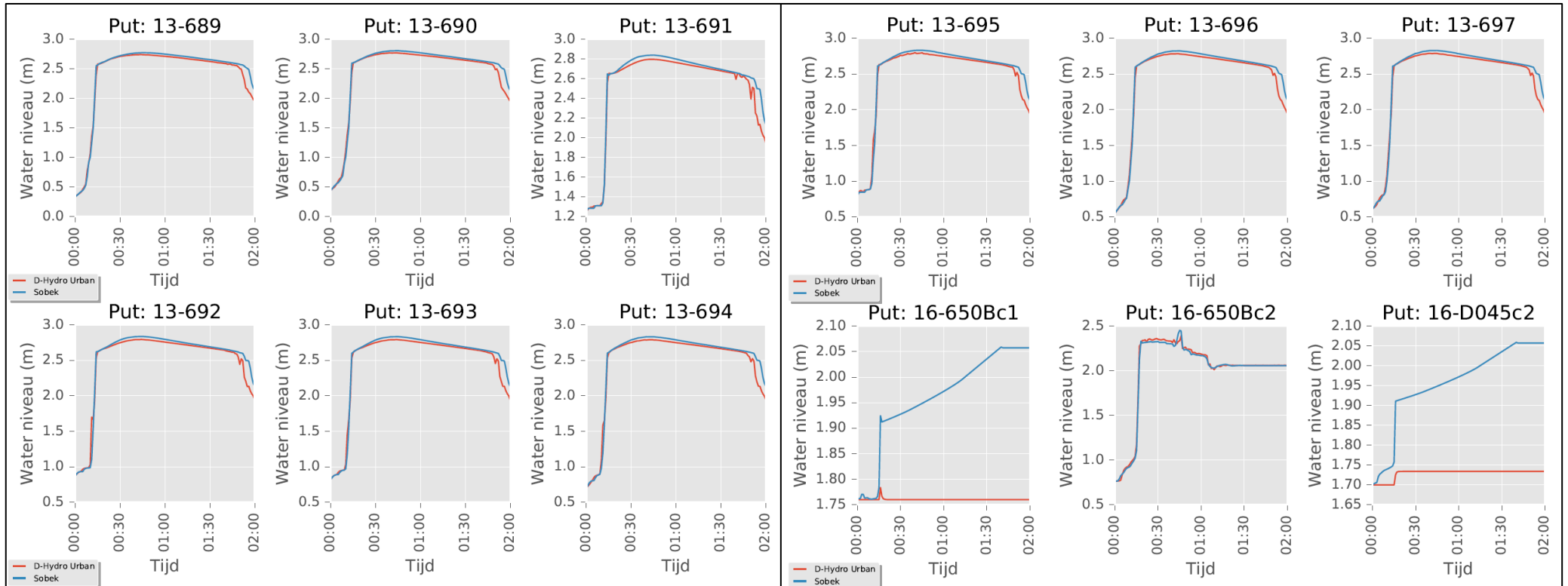












11. Grafieken T=100 bui:

