

BENCHMARK INUNDATIEMODELLEN

MODELFUNCTIONALITEITEN EN TESTBANK
BEREKENINGEN



2017
34



stowa

BENCHMARK INUNDATIEMODELLEN

MODELFUNCTIONALITEITEN EN TESTBANK
BEREKENINGEN



COLOFON

UITGAVE

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

KERNTEAM | Marc Bierkens, Universiteit Utrecht/NHV | *voorzitter* Hans van Leeuwen, STOWA | *secretaris*, Siebe Bos, Hydroconsult | Joost Heijkers, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden | Guy Henckens, Royal HaskoningDHV | Guus Stelling, Emeritus hoogleraar TU Delft | Michelle Talsma, STOWA | Govert Verhoeven, Deltares

AUTEURS | Guy Henckens, Royal HaskoningDHV | Wouter Engel, Royal HaskoningDHV

TOTSTANDKOMING | Ton Beenen, Stichting RIONED | Katrin Boden, Inneautech | Frank van der Bolt, Waterschap Aa en Maas | Marcel Boomgaard, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier | Ron Buitelaar, Sweco | Jurriaan Cok, Waterschap Limburg | Frank Fokkema, Waterschap Drents Overijsselse Delta | Marcel Glasbergen, Arcadis | Myrjam de Graaf, Waterschap Limburg | Henk van Hardeveld, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden | Martijn Heinhuis, Hoogheemraadschap van Delfland | Dirk van Helvoirt, Waterschap Aa en Maas | Bert Hendriks, Waterschap Drents Overijsselse Delta | Jeroen Hermans, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier | Peter Hollanders, Hoogheemraadschap van Delfland | Herman Kernkamp, Deltares | Duncan Kitts, Innovyze | Anne Leskens, Nelen en Schuurmans | Cor Lont, TAUW | Jos Moorman, Waterschap Aa en Maas | Rui Pina, Innovyze | Guus Rongen, HKV Lijn in Water | Marcel Tirion, Gemeente Den Haag | Maarten Spijker, Hydrologic | Patrick Swartenbroekx, Inneautech | Ab Veldhuizen, WUR | Eefje Vissers, TAUW | Nicolette Volp, Nelen en Schuurmans | Florian Witsenburg, Tygron | Anne de Weme, Arcadis

WEBSITE | www.stowa.nl

VORMGEVING | Vormgeving Studio B, Nieuwkoop

FOTOGRAFIE | Marcel van den Bergh p. 6 | Istock p. 24, 26 | Hollandse Hoogte: Kees van de Veen omslag | Nationale Beeldbank omslag, p. 28, 33, 37, 41 | BVBeeld/Stichting RIONED: Harry van Oosterhout p.10, 19, 51

STOWA | 2017-34 | **ISBN** | 978.90.5773.759.6

AMERSFOORT, OKTOBER 2017

COPYRIGHT | Teksten uit dit rapport mogen worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor rapporten in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER | Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

Een aantal modelinstrumenten voor het berekenen van de effecten van extreme neerslag geeft betrouwbare uitkomsten. Maar niet elk instrument/rekenmodel is bruikbaar voor alle vraagstukken die rond inundatie spelen. Dit blijkt uit de benchmark van deze instrumenten die STOWA samen met de ontwikkelende bedrijven en instellingen heeft uitgevoerd. De benchmark heeft inmiddels al geleid tot een verbetering van enkele onderzochte instrumenten.

De recente wateroverlastsituaties zijn voor waterschappen en gemeenten aanleiding om knelpunten in het watersysteem te analyseren en mogelijke maatregelen in beeld te brengen. Modellen kunnen hierbij een belangrijke rol spelen. Er zijn diverse modelinstrumenten beschikbaar op de Nederlandse markt. STOWA heeft een benchmark uitgevoerd tussen een tiental van deze instrumenten. De benchmark sluit goed aan bij het op Prinsjesdag gepresenteerde Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie dat aan gemeenten en waterschappen vraagt een stresstest uit voeren om de knelpunten bij o.a. wateroverlast in beeld te brengen. Hiervoor zullen zij modelberekeningen moeten doen.

De benchmark bestaat uit een functionaliteitenlijst waarmee bepaald kan worden voor de oplossing van welke vraagstukken een modelinstrument gebruikt kan worden. Ook zijn er zeven zogenoemde testbank berekeningen uitgevoerd waaruit blijkt of de instrumenten de berekeningen nauwkeurig uitvoeren. Deze testbank berekeningen simuleren situaties die ‘in het veld’ voorkomen. Niet in deze benchmark opgenomen zijn de kenmerken gebruiksvriendelijkheid, visualisatie, reksnelheid en kosten. Deze kenmerken zijn namelijk lastig objectiveerbaar.

Deze benchmark heeft bevestigd dat de kwaliteit van de bij de modellering betrokken modellers, hydrologen en rioleers, alsook de beschikbaarheid van goede data mede bepalend zijn voor de kwaliteit van de modeluitkomsten.

De uitkomsten van de benchmark helpen waterschappen en gemeenten bij de keuze van het instrument dat past bij hun behoefte.

JOOST BUNTSMA

Directeur STOWA

	Colofon	2
	Ten Geleide	3
<hr/>		
H1	INLEIDING	6
1.1	Doelstelling	7
1.2	Afbakening rapportage	8
1.2.1	<i>Inhoudelijke afbakening</i>	8
1.2.2	<i>Doelgroep</i>	8
1.3	Leeswijzer	8
1.4	Geteste modelcodes	9
<hr/>		
H2	OMSCHRIJVING BENCHMARK	10
2.1	Context benchmark	10
2.1.1	<i>Nederlandse context</i>	10
2.1.2	<i>Internationale context</i>	10
2.2	Proces benchmark	11
<hr/>		
H3	THEORETISCHE ONDERBOUWING MODELCODES EN ANALYSE	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Mathematisch model	12
3.3	Numeriek model	13
3.4	Overige aspecten	14
3.5	Analyse resultaten	16
<hr/>		
H4	GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN VAN DE MODELCODES	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Functionaliteiten modelcodes	18
4.3	Modelcodes geordend	20
<hr/>		
H5	TESTBANK RESULTATEN	23
5.1	Introductie testbank	23
5.2	Testcase 1: een enkele helling	23
5.2.1	<i>Omschrijving testcase 1</i>	23
5.2.2	<i>Doel testcase 1</i>	24
5.2.3	<i>Instellingen modelcodes testcase 1</i>	24
5.2.4	<i>Resultaten testcase 1</i>	25
5.2.5	<i>Conclusies testcase 1</i>	28
5.3	Testcase 2: Open boek	29
5.3.1	<i>Omschrijving testcase 2</i>	29
5.3.2	<i>Doel testcase 2</i>	29
5.3.3	<i>Instellingen modelcodes testcase 2</i>	29
5.3.4	<i>Resultaten testcase 2</i>	30
5.3.5	<i>Conclusies testcase 2</i>	31
5.4	Testcase 3: gekantelde V-vorm	31
5.4.1	<i>Doel testcase 3</i>	31
5.4.2	<i>Instellingen modelcodes testcase 3</i>	31
5.4.3	<i>Resultaten testcase 3</i>	32
5.4.4	<i>Conclusies testcase 3</i>	33

5.5	Testcase 4: wateraccumulatie	33
5.5.1	<i>Doel testcase 4A</i>	33
5.5.2	<i>Instellingen modelcodes testcase 4A</i>	34
5.5.3	<i>Resultaten testcase 4A</i>	34
5.5.4	<i>Conclusies testcase 4A</i>	35
5.5.5	<i>Doel testcase 4B</i>	35
5.5.6	<i>Instellingen modelcodes testcase 4B</i>	35
5.5.7	<i>Resultaten testcase 4B</i>	36
5.5.8	<i>Conclusies testcase 4B</i>	37
5.5.9	<i>Doel testcase 4C</i>	37
5.5.10	<i>Instellingen modelcodes testcase 4C</i>	37
5.5.11	<i>Resultaten testcase 4C</i>	38
5.5.12	<i>Conclusies testcase 4C</i>	38
5.6	Testcase 5: stroming in buizen	39
5.6.1	<i>Doel testcase 5</i>	39
5.6.2	<i>Instellingen modelcodes testcase 5</i>	39
5.6.3	<i>Resultaten testcase 5</i>	40
5.6.4	<i>Conclusies testcase 5</i>	41
5.7	Testcase 6: V-vorm met buis	41
5.7.1	<i>Doel testcase 6</i>	41
5.7.2	<i>Instellingen modelcodes testcase 6</i>	42
5.7.3	<i>Resultaten testcase 6</i>	42
5.7.4	<i>Conclusies testcase 6</i>	43
5.8	Testcase 7: 2D rooster	43
5.8.1	<i>Doel testcase 7</i>	44
5.8.2	<i>Instellingen modelcodes testcase 7</i>	45
5.8.3	<i>Resultaten testcase 7</i>	45
5.8.4	<i>Conclusies testcase 7</i>	47
5.9	Overkoepelende conclusies en observaties	47
5.9.1	<i>Inhoudelijke conclusies</i>	47
5.9.2	<i>Observaties testbank proces</i>	48
<hr/>		
H6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	50
6.1	Conclusies	50
6.2	Aanbevelingen	52
<hr/>		
H7	BIBLIOGRAFIE	53
<hr/>		
	BIJLAGEN	55
1	VRAGENLIJSTEN MODELFUNCTIONALITEITEN	55
2	NADERE BESCHRIJVING MODELCODES	80
2.1	Tygron	80
2.2	D-HYDRO	80
2.3	3Di	81
2.4	InfoWorks ICM	81
2.5	HEC-RAS	82
2.6	SOBEK2	83
<hr/>		
	STOWA IN HET KORT	84

H1 INLEIDING

De hydrologische wereld is in beweging door veranderende behoeftes en nieuwe aandachtsgebieden zoals de effecten van klimaatverandering. Dit vraagt om nieuwe manieren van denken en het maken van hydrologisch onderbouwde keuzes. Daarnaast zijn waterbeheer gerelateerde projecten meer integraal van aard, zijn er meer stakeholders betrokken en groeit de bestuurlijke en maatschappelijke aandacht en vaak ook de impact van de resultaten.

Deze ontwikkelingen zorgen ervoor dat modelleurs buiten de gebaande paden willen en moeten gaan. Hiervoor is innovatie nodig. Dit wordt positief ondersteund door de ontwikkelingen op het gebied van computer hardware en hydrologische en hydrodynamische software. Hierdoor heeft de modelleur meer modelleerkeuzes en modelcodes¹ tot zijn beschikking. Meer keuzes leidt echter ook tot meer vragen en onzekerheden. Het hydrologische instrumentarium in het Nederlandse waterbeheer lijkt zich langzaam maar zeker te consolideren rond een eenduidig flexibel pakket software en data (het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium). Dit is echter niet het geval voor hydrodynamische modelcodes die gebruikt worden voor wateroverlastmodellering.

De keuze hierin is erg divers, schijnbaar arbitrair of ingegeven door niet-inhoudelijke argumentatie. Er leeft daarom in het veld een sterke behoefte aan een *vergelijking van modelcodes waarmee aan wateroverlast kan worden gerekend*. Dit om op basis hiervan tot een objectieve en van deugdelijke argumenten voorziene keuze voor een bepaalde modelcode te komen.



¹ In deze rapportage wordt 'modelcode' als term gebruikt als we praten over de geanalyseerde software(pakketten).

1.1 DOELSTELLING

Elke hydrodynamische modelcode heeft sterke en zwakke punten, waardoor er geen enkele modelcode is die voor elk vraagstuk geschikt is. De Stichting Toegepast Onderzoek Water (STOWA) wil graag voor opdrachtgevers en adviesbureaus duidelijkheid verschaffen over de mate van bruikbaarheid van de verschillende modelcodes voor wateroverlastmodellering.

Bij 'wateroverlastmodellering' moet worden gedacht aan vraagstukken als (onderstaande lijst volgt uit een analyse van HDSR):

- I. Evaluatie daadwerkelijke wateroverlast situatie.
- II. Zoektocht naar (doelmatige) maatregelen.
- III. Watersysteemanalyse/systeembegrip.
- IV. Toetsing aan normen.
- V. Evalueren plannen van derden.
- VI. Meedraaien in Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie.
- VII. Preprocessing Waterschadeschatter en/of HIS-SSM, dus in beeld brengen van schade en/of slachtoffers.
- VIII. Operationele Sturing.
- IX. Calamiteitenzorg.
- X. Communicatie.
- XI. Afhandeling van schadeclaims.
- XII. Voorspellingen van overstromde gebieden.

De keuze voor een modelcode wordt gemaakt aan de hand van meerdere aspecten. Hierbij valt te denken aan:

1. Hoe compleet is het toepassingsgebied? Zijn er berekeningsmogelijkheden ten aanzien van
 - a. 1D open water (het oppervlaktewatersysteem)?
 - b. 1D gesloten leidingen (het rioolsysteem)?
 - c. 2D oppervlakkige afstroming (stroming over maaiveld)
 - d. Het grondwater?
 - e. De waterkwaliteit?
2. Hoe nauwkeurig zijn de resultaten?
3. Wat zijn de gebruikskennmerken ten aanzien van:
 - a. De rekensnelheid (tijdsduur berekening): hoe snel kom je tot de resultaten?
 - b. De gebruikersinterface?
 - c. De gebruiksvriendelijkheid?
 - d. De kosten?

Het doel van deze studie is om zoveel mogelijk informatie te verschaffen over de vergeleken modelcodes voor bovenstaande aspecten (waar objectief te beoordelen). Het is nadrukkelijk niet de bedoeling 'de beste' modelcode te kiezen. Deze benchmark maakt alleen de verschillen tussen de modelcodes inzichtelijk, zodat gebruikers een afgewogen keuze kunnen maken en de verschillende modelcodes optimaal kunnen gebruiken. De focus van de Benchmark ligt op aspect 1 (toepassingsgebied) en 2 (nauwkeurigheid) en minder op aspect 3 (gebruikskennmerken) omdat deze laatste moeilijk te objectiveren is.

Omdat in deze rapportage meerdere modelcodes naast elkaar zijn gezet en zijn vergeleken, gebruiken we voor dit onderzoek de naam 'benchmark' in deze rapportage.

1.2 AFBAKENING STUDIE

1.2.1 Inhoudelijke afbakening

In deze benchmark wordt met name gekeken naar de compleetheid en de nauwkeurigheid van de modelcodes.

De *compleetheid* van de modelcodes is geïnventariseerd middels een diepgravende enquête naar de functionaliteiten. Hierin is zo breed mogelijk naar de functionaliteiten van de modelcodes gekeken. Ook aspecten als import en export van data zijn hierin bijvoorbeeld meegenomen, alsmede andere aspecten die betrekking hebben op de *gebruikskennmerken*.

Voor het bepalen van de *nauwkeurigheid* van de resultaten van de modelcodes is er een testbank opgezet met meerdere casussen. Elke casus bekijkt hierbij één (nieuw) inhoudelijk aspect of een deel daarvan. In overleg met de achterban van de STOWA, en ook met het werkveld zelf, is er voor gekozen de volgende inhoudelijke aspecten mee te nemen in de testcases binnen deze benchmark:

1. Oppervlaktewater (1D of 2D);
2. Riolering (1D);
3. 2D stroming over maaiveld (inundatie en/of neerslag-afvoer).

Het meest intensief geanalyseerde aspect is hierbij de (ondiepe) 2D stroming over maaiveld. Dit is belangrijk voor inundatiemodellen, en dan vooral voor inundatie van stedelijk gebied. Een gebied van onderzoek waar veel aandacht voor is op dit moment. Niet elk model is in staat om deze drie aspecten te modelleren en waar dat niet het geval is, blijkt dit uit de testbank.

Inhoudelijke aspecten waar (onder andere) niet naar gekeken is, zijn:

- Drukriolering;
- Waterleidingen;
- Dijkbreuken;
- Stroming door niet volledig gevulde leidingen (rioolstelsels)
- Werking verschillende kunstwerken

1.2.2 Doelgroep

Deze benchmark is geschreven voor gebruikers van hydrodynamische modelcodes ('modelleers'), hydrologen en beleidsmedewerkers.

1.3 LEESWIJZER

Deze rapportage bestaat uit drie delen:

- Allereerst het theoretische deel. Hiervoor wordt in *hoofdstuk 2* kort ingegaan op de nationale en internationale context van deze benchmark. De theorie achter de gebruikte modelcodes wordt behandeld in *hoofdstuk 3*. Vervolgens worden in *hoofdstuk 4* de in deze benchmark bekeken modelcodes nader beschreven. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de specificaties van de verschillende modelcodes. Om deze te verkrijgen is een uitgebreide functionaliteitenlijst ingevuld door de deelnemende partijen. *Hoofdstuk 4* geeft antwoord op de vraag hoe compleet de modelcodes zijn.
- In het tweede deel van deze benchmark (*hoofdstuk 5*) worden de modelcodes getest met verschillende casussen; de testbank. De resultaten van de testbank worden met een aantal gestandaardiseerde grafieken weergegeven en de resultaten van de modelcodes worden vergeleken.
- Het laatste deel wordt gevormd door de conclusies die in *hoofdstuk 6* worden getrokken.

1.4 GEÏNVENTARISEERDE EN GETESTE MODELCODES

In deze studie zijn de volgende modelcodes meegenomen: TELEMAC, SIMGRO, WOLK, Tygron, D-HYDRO, 3Di, InfoWorks ICM, HEC-RAS en SOBEK2. In *bijlage 1* in staan alle geïnventariseerde functionaliteiten van de modelcodes. In *bijlage 2* staat een omschrijving van de modelcodes als verstrekt door de ontwikkelaars dan wel het betrokken bureau.

Tabel 1.1 toont de modellen die getest zijn in de testbank. Hierbij wordt opgemerkt dat de modelcodes TELEMAC, SIMGRO en WOLK wel meegenomen zijn in de de functionaliteitenbeschrijving maar niet in de testbank-berekeningen. Voor de eenduidigheid binnen deze rapportage zijn deze modelcodes niet opgenomen in *tabel 1.1*.

TABEL 1.1 Overzicht van de geteste modelcodes voor de benchmark

Modelsoftware	Versie	Korte omschrijving (door betrokken bureau of producent)	Producent	Betrokken bureaus*
Tygron	2017-3	Tygron creëert een virtuele 3D omgeving om planologische ontwerpen te maken. De state-of-the-art 3D omgeving geeft je directe virtuele feedback op je beslissingen, inclusief hydrologische en hydraulische effecten.	Tygron	Tygron
D-HYDRO	D-HYDRO SUITE 2017 RC1 (FM kernel 1.1.200.48641M)	De D-HYDRO suite is de opvolger van diverse software pakketten van Deltares. De kern van D-HYDRO is de D-Flow Flexible Mesh module, waarmee 1D, 2D en 3D hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde roosters.	DELTAIRES	DELTAIRES/HKV
3Di	2.32.0	3Di is een interactieve en integrale modelcode, speciaal ontwikkeld voor beslissingsondersteuning in het waterbeheer. 3Di kan zowel 1D als 2D simuleren en maakt gebruik van subgrids.	Stichting 3Di	Nelen & Schuurmans
InfoWorks ICM	8.0	Innovyze heeft InfoWorks ICM ontwikkeld om integrale 1D en 2D hydrodynamische simulaties uit te voeren in landelijk, stedelijk en riviergebieden. Deze integrale modelcode maakt het mogelijk om de interactie tussen oppervlaktewater en stedelijk water in 1 model te simuleren.	Innovyze	ARCADIS (in samenwerking met InneauTech en Innovyze)
HEC-RAS	5.03	De US Army Corps of Engineers heeft HEC-RAS ontwikkeld om 1D en 2D hydrodynamische simulaties uit te voeren op flexibele rekenroosters met gebruikmaking van subgrids.	USACE	Hydroconsult (in samenwerking met USACE)
SOBEK2	2.14.001	SOBEK2 is een integrale modelcode van kennisinstituut Deltares voor het simuleren van neerslag-afvoerprocessen, hydraulica in landelijk, stedelijk en riviergebieden en waterkwaliteit. Het simuleert waterbeweging zowel in 1D als 2D en kan beide modules gekoppeld doorrekenen.	DELTAIRES	Hydroconsult (in samenwerking met DELTAIRES)

* **Dik gedrukt:** de partij die verantwoordelijk is voor de uitvoer van de tests en de opgeleverde resultaten. Gestreefd werd om dit dezelfde partij te laten zijn als die de modelcode ontwikkeld heeft. Dit is niet altijd gelukt. In dit geval heeft een adviesbureau de tests uitgevoerd. Dit bureau heeft telkens de verbinding gelegd met de ontwikkelaar. Daarvoor is gekozen omdat niet elke ontwikkelaar een Nederlands rapport kan beoordelen.

H2 OMSCHRIJVING BENCHMARK

In dit hoofdstuk wordt de context beschreven waarbinnen de benchmark is uitgevoerd alsmede het benchmark-proces zelf.

2.1 CONTEXT BENCHMARK

2.1.1 Nederlandse context

Deze STOWA benchmark kan gezien worden als een vervolg van of aanvulling op de modelvergelijking die het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HDSR) heeft laten uitvoeren naar aanleiding van wateroverlast in Kockengen in 2014. De resultaten van die vergelijking zijn gepresenteerd tijdens het symposium 'Inundatie? Reken maar!' (op 22 november 2016).

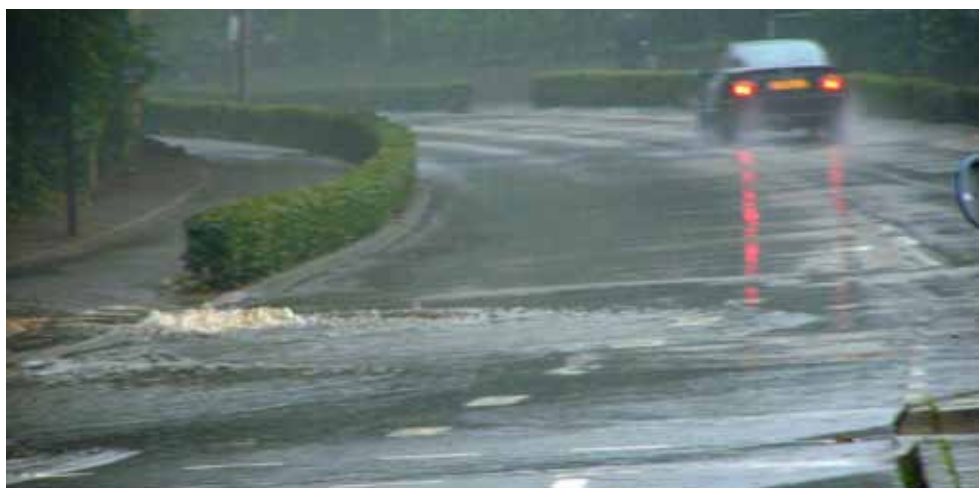
De HDSR vergelijking was gebaseerd op één werkelijke overstroming, waarbij de verschillende modelcodes konden tonen waartoe ze in staat zijn en hoe dat eruit ziet. De focus van de STOWA benchmark ligt op de inventarisatie van alle functionaliteiten van de modelcodes en op de vraag of de rekenharten eenvoudige, maar representatieve testcases goed kunnen verwerken.

2.1.2 Internationale context

Een aantal modelcodes, die onderdeel zijn van de benchmark, zijn niet in Nederland gemaakt en worden ook buiten Nederland gebruikt. De behoefte om de programma's te benchmarken is zeker internationaal gezien niet nieuw. Er zijn verschillende internationale benchmarks en vergelijkende onderzoeken uitgevoerd. Gezien het relatief recente verschijnen en de vergelijkbare vraagstelling wordt met name de Engelse benchmark 'Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages' (Environment Agency, 2013) als belangrijk referentie materiaal gezien.

Voor deze Nederlandse benchmark is kennis genomen van de relevante internationale benchmarks en artikelen. Ten opzichte van de beschikbare literatuur voegt deze benchmark het volgende toe:

- Enkele Nederlandse producten;
- GIS-gebaseerde producten;
- Een verbinding naar de Nederlandse klantvragen
- Een focus op ondiepe 2D-stroming (sheet-flow).



2.2 PROCES BENCHMARK

Aan de voorkant van het benchmark proces is beseft dat, ondanks het streven om 100% objectief te blijven, er altijd (deels subjectieve) duiding nodig is. Het proces van de benchmark is daarom dusdanig vormgegeven dat er zo veel mogelijk draagvlak voor de resultaten van deze benchmark bestaat. Het proces bestond uit de volgende stappen:

1. Samenstellen kernteam met (inter)nationaal erkende experts op het gebied van hydrologie en numerieke stromingsleer.
2. Aanstellen model-onafhankelijke schrijver (deelnemer kernteam).
3. Samenstellen klankbordgroep waarin alle deelnemende modelcodes vertegenwoordigd zijn, maar ook de waterschappen, gemeenten en stichting RIONED.
4. Samenstellen uitvraag functionaliteiten door het kernteam.
5. Reacties van de klankbordgroep op de functionaliteitenlijst verwerken.
6. Definitieve uitvraag functionaliteiten.
7. Opstellen concept testbank door het kernteam.
8. Reacties van de klankbordgroep op de testbank verwerken.
9. Gestandaardiseerd antwoorddocument maken voor testbank door kernteam.
10. Definitieve uitvraag testbank.
11. Eerste analyse resultaten berekeningen testbank door kernteam, inventarisatie ontbrekende resultaten en analyse waar mogelijk een foutieve interpretatie of modelleerfout de resultaten beïnvloeden.
12. Mogelijkheid tot aanvullen of verbeteren van resultaten.
13. Tweede analyse van de resultaten door kernteam.
14. Opstellen conceptrapportage door kernteam.
15. Verwerken commentaar van de klankbordgroep op conceptrapportage.
16. Definitief maken benchmark.

H3 THEORETISCHE ONDERBOUWING MODELCODES EN ANALYSE

3.1 INLEIDING

Het doel van hydrodynamisch modelleren is om een realistisch beeld te geven van de stroming van water. Hiervoor dienen 4 stappen te worden doorlopen (Engineers Australia, 2012):

1. Het fysieke systeem definiëren.
2. Een mathematisch model kiezen.
3. Een numeriek model kiezen.
4. Gebiedspecifieke kenmerken aanvullen.

Deze stappen worden weergegeven in [figuur 3.1](#).

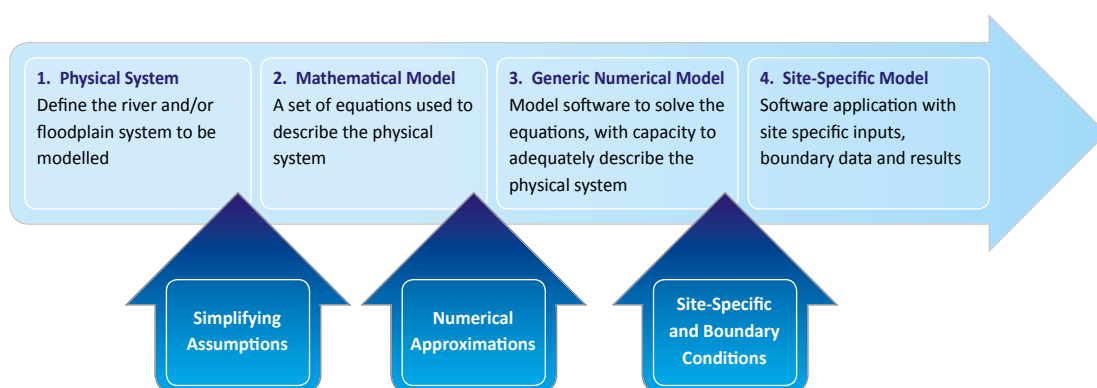


FIG 3.1 De vier stappen van hydrodynamisch modelleren (Engineers Australia, 2012)

In deze benchmark wordt de focus gelegd op stap 2 en 3. Dit betekent niet dat stap 1 en 4 onbelangrijk zijn. Integendeel! De resultaten van de benchmark zullen in de context van stap 1 en 4 moeten worden gelezen. Uiteindelijk is het immers de vraag welke modelcode voor welk vraagstuk geschikt is.

3.2 MATHEMATISCH MODEL

Er is veel onderzoek gedaan naar het modelleren van inundaties en stroming door leidingen (rioolbuizen, duikers). In deze rapportage zal niet (te) diep worden ingegaan op de verschillende gebruikte formules. Voor een volledige beschrijving wordt verwezen naar literatuur zoals het werk van Vreugdenhil (1994). Echter om de verschillen tussen de resultaten van de modelcodes te kunnen plaatsen, wordt hier enige achtergrondkennis gegeven.

In algemene zin kan worden gesteld dat de hydrodynamische rekenmethodes van de meeste modelcodes zijn afgeleid uit de volledige *Navier-Stokes* vergelijkingen. Met deze vergelijkingen kan de beweging van (onder andere) water worden berekend. De vergelijkingen gaan uit van 2 basisprincipes:

- Behoud van massa.
- Behoud van impuls.

De volledige Navier-Stokes vergelijkingen zijn complex en kunnen niet direct eenduidig worden opgelost. Het oplossen van deze vergelijkingen vergt een zogenaamde numerieke oplossingsmethode wat in dit geval zelfs met de moderne computer hardware veel rekentijd kan kosten. Dit is uiteraard afhankelijk van de omvang van het vraagstuk. Daarom worden er verschillende vereenvoudigde vergelijkingen gebruikt. De belangrijkste in deze context zijn:

- De *Shallow Water Equations (SWE)*, waarbij er vanuit wordt gegaan dat de verticale versnelingscomponent van de stroming verwaarloosbaar is. Dit zijn de meest gebruikte vergelijkingen om stroming over maaiveld (2D stroming) te berekenen.
- *Diffusive wave equations*; een methode om 2D stroming te berekenen waarbij er ten opzichte van de SWE wordt aangenomen dat het verhang exact in balans is met de bodemwrijving. Dit gaat op in situaties met dominante wrijving, het gaat dan meestal om stroming in dunne waterlagen. Men spreekt dan wel van 'overland flow'. In dit laatste geval neemt men soms ook aan dat de bodemhelling gelijk is aan de helling van de waterspiegel, dit heet kinematic wave equation.
- *1D Saint Venant* vergelijkingen; de standaard berekeningen in rioolbuizen, maar ook in kanalen en rivieren (zogenaamde 1D-elementen). Ook dit is een variant van de SWE waarbij de vergelijkingen langs de as van de waterloop worden opgesteld. Enerzijds is dit een vereenvoudiging omdat de richting van de stroming niet meer door het model berekend wordt, anderzijds kunnen de overblijvende 1D vergelijkingen er nog tamelijk ingewikkeld uitzien. De rekentijd echter zal bij toepassing van deze vergelijkingen aanzienlijk gereduceerd worden.

In de vakwereld wordt vaak gesproken over 1D, 2D of 3D berekeningen. Dit heeft te maken met de gebruikte formules. Welk type berekeningen de bekeken modelcodes kunnen uitvoeren, wordt besproken in [hoofdstuk 3](#).

Twee bekeken modelcodes gaan niet uit van de Shallow Water Equations (WOLK en Tygron). Deze modellen gaan respectievelijk uit van alleen de massabalans (WOLK) en van de diffusive wave equations (Tygron). Voor de bekeken testcases ([hoofdstuk 4](#)) en voor de meeste 'overland flow' berekeningen zouden de diffusive wave equations vrijwel gelijke resultaten moeten berekenen als de SWE. De keuze voor de diffusive wave equations zorgt er wel voor dat Tygron niet direct geschikt is voor bijvoorbeeld berekeningen aan dijkbreuken.

3.3 NUMERIEK MODEL

Het mathematische model wordt bij de Shallow Water Equations (of één van de vereenvoudigingen daarvan) opgelost met een numerieke modelcode. Bij hydrodynamische modelcodes wordt van oorsprong vooral gebruik gemaakt van de 'eindige-differentiemethode', 'eindige-elementenmethode' en de 'eindige-volumemethode'. Huidige ontwikkelingen gaan daarbij vooral uit van de eindige volumemethode. Er zijn vele numerieke methoden om deze vergelijkingen vervolgens op te lossen, te veel om ons hier te wagen aan een overzicht. Wij verwijzen hiervoor naar literatuur zoals: (Toro, 1999), (Battjes, 2017) en (Vreugdenhil, 1989).

De keuze van het numerieke model is modelmatig van groot belang en het heeft veel invloed op de rekentijd. In sommige situaties zoals een dijkbreuk kunnen verschillende numerieke modellen leiden tot zeer verschillende resultaten. Hoewel er verschil in nauwkeurigheid tussen numerieke modellen is, zouden de modellen van de gekozen modelcodes alle testbankvragen met een hoge nauwkeurigheid moeten kunnen beantwoorden. Wel is het zo dat bepaalde instabiliteit of beperkte afwijkingen in berekeningen kenmerkend zijn voor het gekozen numerieke model. Bijvoorbeeld het gebruikte algoritme voor droogvallen en onderlopen

(‘wetting and drying’) kan blijken uit kleine afwijkingen in berekende waterhoogtes. Daarnaast kunnen de keuzes voor het numerieke model randvoorwaarden opleggen aan bijvoorbeeld de minimale grootte van één roostercel.

3.4 OVERIGE ASPECTEN

Er spelen nog verschillende andere aspecten bij hydrodynamische berekeningen. Enkele belangrijke hiervan worden hieronder besproken.

Gebruikte type rooster

Het gebruikte numerieke model wordt toegepast op een gediscretiseerde weergave van de ruimte, het zogenaamde rooster. Dit rooster kan ongestructureerd zijn (figuur 3.2) of gestructureerd (figuur 3.3) en de vorm hebben van vierkantjes, driehoekjes of andersoortige polygoenen. Van belang is dat de rekentijd altijd afhangt van het aantal rooster-cellen. Daarom zou het aantal roostercellen zo klein mogelijk moeten worden gehouden. Echter; hoe groter de oppervlakte van de rooster cellen, hoe onnauwkeuriger de berekeningen.

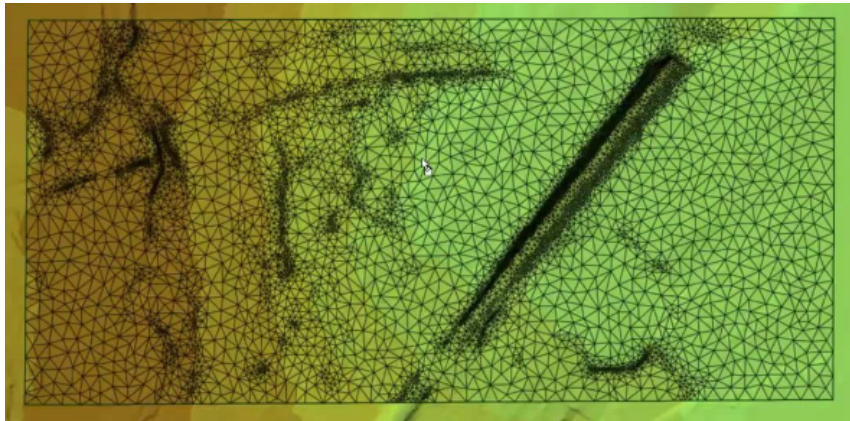


FIG 3.2 Ongestructureerd rooster met verfijningen waar variaties in maaiveld voor een fijner rooster zorgen (InfoWorks ICM)

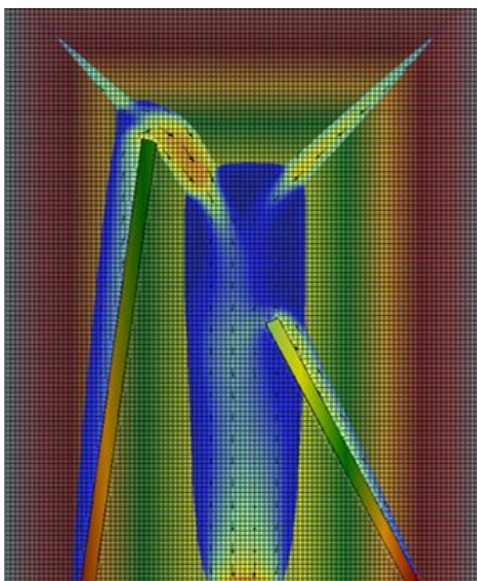


FIG 3.3 Gestructureerd rooster HEC-RAS (wat overigens ook in staat is om ongestructureerde roosters te maken)

De basis voor het rooster in een 2D hydrodynamische berekening is over het algemeen de hoogte van het maaiveld. In Nederland wordt hier vaak het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) voor gebruikt. Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) is een bestand met gedetailleerde hoogtegegevens voor heel Nederland. Van elk stukje grond van een halve bij een halve meter is bekend hoe hoog het ligt ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Gezien deze resolutie heeft het geen zin om een rekenrooster met een fijnere resolutie te gebruiken, tenzij er aanvullende gegevens bekend zijn (bijvoorbeeld de ligging van stoepranden). Met een grover rooster verlies je snel informatie, wat overigens voor sommige gebieden of modelleerdoelstellingen best toelaatbaar is.

Er dient dus een evenwicht gezocht te worden tussen de resolutie van het rooster en de acceptabele rekentijd. De laatste jaren zijn er methodieken ontwikkeld om met een grover rooster te kunnen rekenen zonder te veel informatie te verliezen. In Nederland is de bekendste techniek de subgrid techniek. Het gebruik van deze techniek heeft in principe vooral een positief effect als er gekeken wordt naar grotere gebieden (bijvoorbeeld stroomgebieden), waar een dekkend fijn rooster rekentechnisch (nog) niet realistisch is. Wanneer de hoogteverschillen in het maaiveld in een rooster te groot worden, zal om goede resultaten te krijgen, geschakeld moeten worden naar een fijner rooster (figuur 3.4). Het voordeel qua rekensnelheid neemt dan af ten opzichte van een fijn rooster. Voor informatie over het functioneren van subgrids verwijzen wij u naar (Casulli V. S., 2011) en (Stelling, 2012).

Mogelijke condities op de grensvlakken (van de berekening)

Elk model kent een begrenzing, de rand van het model. Op deze grenzen zullen randvoorwaarden moeten worden opgelegd zoals vrije afstroming en debiet of een vaste waterhoogte. Alle gebenchmarkte modellen hebben verschillende mogelijkheden hiervoor waartussen de modelleur moet kiezen.

Verbinding tussen 2D stroming over maaiveld en 1D elementen (bijvoorbeeld riolering)

Een integraal model bestaat normaliter uit 1D (bijvoorbeeld riolering en waterlopen) en 2D (rekenrooster voor stroming over maaiveld) elementen. De verbinding tussen 1D en 2D kan bij een rioolput worden gelegd (als water op straat optreedt), maar bijvoorbeeld ook over de volledige lengte van een in 1D gemodelleerde rivier. In alle gevallen kunnen 1D-2D verbindingen

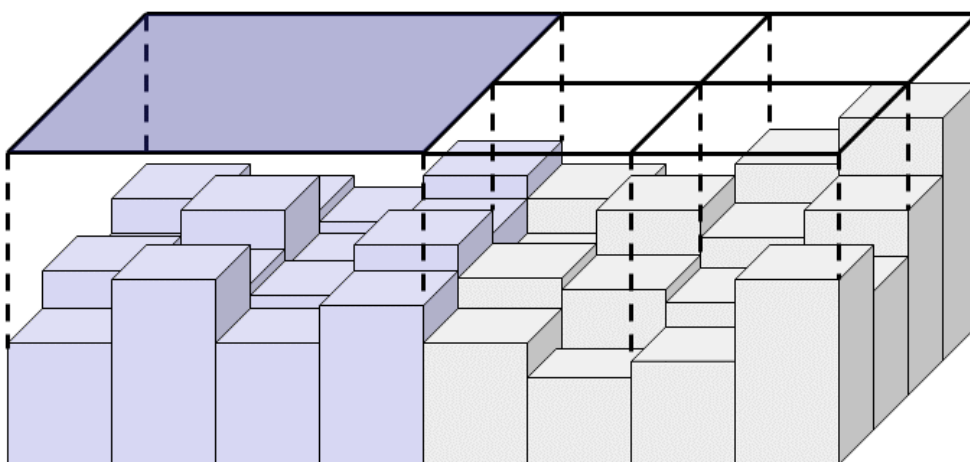


FIG 3.4 Subgrid methodiek met mogelijkheid tot lokaal een fijner rooster (Stelling, 2012)

zorgen voor instabiliteit, bijvoorbeeld als er meerdere 1D-2D verbindingen zijn binnen één (1) gridcel van het 2D-rooster (denk aan dicht bij elkaar gelegen kolken in een niet erg fijnmazig rooster). De kwaliteiten van een modelleur kunnen bij vele 1D-2D verbindingen op de proef worden gesteld. Dit aspect is in deze benchmark relevant omdat er in de testbank (*hoofdstuk 4*) overgangen tussen 1D en 2D zijn opgenomen.

Gebruik GPU en paralleliseerbaarheid

Er zijn verschillende technische oplossingen om berekeningen sneller te laten verlopen. Je kunt tegelijkertijd meerdere rekenkernen of meerdere computers inzetten of er kan gebruik worden gemaakt van de rekenkracht van een grafische kaart (GPU). Zeker dat laatste kan een enorme tijdsinstorting opleveren, met name bij het oplossen van de 2D SWE (zie *tabel 3.1* voor een voorbeeld van InfoWorks ICM met 3,3 miljoen 2D-elementen). Met de huidige generaties professionele kaarten (nieuwere TESLA kaarten dan genoemd in *tabel 3.1*), die gebouwd zijn in clusters, is de snelheidswinst nog vele malen groter.

Wel is het zo dat het pas recent mogelijk is om een berekening met een GPU in ‘double precision’ nauwkeurigheid te maken. Bij Tygron is het rekenen in double precision al mogelijk, bij InfoWorks ICM is deze optie aanwezig in het menu, maar nog niet te activeren.

TABEL 3.1 Rekensnelheid met en zonder GPU (InfoWorks ICM)

Model No.2 3.3 Million 2D Elements	Core i7-4970 (4 cores, 8 threads) CPU @ 3.60GHz, Windows 8.1Pro x64, 16Gb RAM	Twin Intel Xeon ES-2643 v3(12 cores, 24 threads) CPU @ 3.40GHz, Windows 8.1 x64, 32Gb RAM	Xeon ES-2687W v4 (10 cores, 20 threads) CPU @ 3.00HGz, Windows 7 Enterprise x64, 64Gb RAM
Normal CPU	3 hrs. 10 mins, 16 sec (11416s)	2 hrs. 24 mins, 46 sec (8686s)	2 hrs. 31 mins, 44 sec (9104s)
Geforce GTX 970	14 mins, 42 sec (882s)		
Geforce GTX 1080			8 mins, 45 sec (525s)
Quadro KS 200		16 mins, 41 sec (1001s)	
TESLA K20c		13 mins, 47 sec (827s)	

3.5 ANALYSE RESULTATEN

Of een modelcode voldoet aan de functionele eisen van de gebruiker hangt ten eerste af van het doel waarvoor de modelcode wordt gebruikt. Een model dat geschikt is voor een bepaald vraagstuk levert echter niet automatisch ‘perfecte’ rekenresultaten. Er zit in de meeste berekeningen een grote onzekerheid in de gebruikte data. Kleine afwijkingen in rekenresultaten tussen modellen kunnen in orde grootte daarom in het niet vallen ten opzichte van de onzekerheid in de gebruikte data om de fysieke omgeving te karakteriseren. In (Vanderkimpen, 2008) is bijvoorbeeld geconcludeerd dat ‘it can be stated that the choice of the modeling package is in no way predominant in flood risk evaluation’ of in het Nederlands: ‘de keuze van de modelcode is op geen enkele manier overheersend in het evalueren van overstromingsrisico’s’. Deze conclusie is getrokken naar aanleiding van een vergelijking tussen SOBEK2 1D/2D en Mike Flood en meerdere artikelen en benchmarks ondersteunen deze conclusie (Environment Agency, 2013)).

In *hoofdstuk 5* wordt gekeken of deze conclusie ook geldt voor de geanalyseerde modelcodes in deze benchmark. Ongeacht of dit het geval is, is het nuttig om ook analytisch te kijken naar de resultaten uit de testcases. Niet zozeer om ‘de beste modelcode’ te vinden, maar om grip te krijgen op het effect van de verschillen tussen de modelcodes en om te onderbouwen of deze verschillen relevant zijn in het dagelijks gebruik.

In deze benchmark worden de rekenresultaten van de modelcodes vergeleken met de analytische oplossing, waar deze beschikbaar is. Waar geen analytische oplossing beschikbaar is, is er niet voor gekozen een vergelijking te maken met het een multi-model gemiddelde. De reden hiervoor is dat SOBEK2, 3Di en D-HYDRO veel vergelijkbare keuzes hebben in het rekenhart, waardoor de verwachting is dat de andere modellen vrijwel per definitie slechter uit zo’n vergelijking gaan komen. In die casussen is geen rekenkundige analyse uitgevoerd.

De verschillen per testbankcasus worden geanalyseerd, zowel visueel als rekenkundig, waarbij gebruik wordt gemaakt van de in de hydrologie veelgebruikte NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) en de Kling-Gupta Efficiency index (voor een uitgebreide omschrijving van deze laatste index zie Kling, 2012). Voor beide indices geldt dat een perfect resultaat een waarde van exact 1 oplevert. Daarnaast is de genormaliseerde Root Mean Squared Error (NRMSE) meegenomen. Hiervoor geldt: hoe lager hoe beter.

De gebruikte formules zijn:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (x_{s,t} - x_{o,t})^2}{\sum_{t=1}^n (x_{o,t} - \mu_o)^2}$$

$$KGE = 1 - ED$$

$$ED = \sqrt{(r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2}$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o}$$

$$\gamma = \frac{\sigma_s/\mu_s}{\sigma_o/\mu_o}$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_{s,t} - x_{o,t})^2}{\frac{n}{\mu_o}}}$$

Waarin:

n = aantal tijdstappen

$x_{s,t}$ = berekende waarde op tijdstip t

$x_{o,t}$ = geobserveerde waarde op tijdstip t

μ_o = gemiddelde waarde observaties

μ_s = gemiddelde waarde simulatie

σ_o = standaard deviatie observaties

σ_s = standaard deviatie simulatie

r = correlatie tussen gesimuleerde en geobserveerde waarden

H4 GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN VAN DE MODELCODES

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag ‘wat kunnen de modelcodes?’. Hierbij is het zo dat dit een *momentopname* is. Alle modelcodes (met uitzondering van SOBEK2) zijn nog sterk in ontwikkeling. Dit kan betekenen dat in een volgende versie aanvullende functionaliteiten beschikbaar kunnen zijn.

Verskillende vragen kunnen leiden tot het gebruik van verschillende hulpmiddelen. De volgende aspecten spelen zoals gezegd een rol in de keuze tussen modelcodes:

1. Hoe compleet is het toepassingsgebied? Zijn er berekeningsmogelijkheden ten aanzien van:
 - a. 1D open water (het oppervlaktewatersysteem)?
 - b. 1D gesloten leidingen (het rioolsysteem)?
 - c. 2D oppervlakkige afstroming (stroming over maaiveld)
 - d. Het grondwater?
 - e. De waterkwaliteit?
2. Hoe nauwkeurig zijn de resultaten?
3. Wat zijn de gebruikskenmerken t.a.v.:
 - a. De rekensnelheid (tijdsduur berekening): hoe snel kom je tot de resultaten?
 - b. De gebruikersinterface?
 - c. De gebruiksvriendelijkheid?
 - d. De kosten?

Het tweede aspect (‘nauwkeurigheid’) wordt in deze benchmark bekeken voor enkele ‘standaard’ modelsituaties ([hoofdstuk 5](#)). Het eerste en deels het derde aspect zijn onderzocht door het invullen van een functionaliteitenlijst (zie [paragraaf 4.2](#)). Op basis van de geïnventariseerde functionaliteiten kunnen de modelcodes worden gesorteerd per onderwerp of voor een set aan onderwerpen. In [paragraaf 4.3](#) is dit gedaan voor de twee aspecten die het meest objectief zijn en minste gevoelig voor interpretaties: de compleetheit en de gebruikersinterface.

4.2 FUNCTIONALITEITEN MODELCODES

Functionaliteitenlijst

Modellen zijn een gereedschap om het functioneren van een systeem in beeld te brengen. Soms is diepgaande kennis van het functioneren nodig, maar soms is het genoeg om een globaal beeld te krijgen. De bekeken modelcodes bieden een scala aan mogelijkheden. Om een overzicht te krijgen van de mogelijkheden is er een vragenlijst opgesteld. Deze is verstrekt aan partijen die de code ontwikkeld heeft of de partij die de modelcode gebruikt heeft om de casus door te rekenen. Ook drie partijen die niet hebben meegedaan aan deze benchmark, maar wel aan de HDSR vergelijking, zijn gevraagd de functionaliteitenlijst in te vullen (WOLK, SIMGRO en TELEMAT). Behalve voor HEC-RAS en TELEMAT zijn de lijsten uiteindelijk door de leveranciers van de software zelf ingevuld. Bij HEC-RAS en TELEMAT is dit invullen wel in afstemming met de leveranciers gedaan.

Over de volgende onderwerpen zijn aan de verschillende bureaus vragen gesteld:

1. Algemene kenmerken;
2. Rekenhart;
 - Algemeen
 - Waterbeweging-hydrodynamica
 - 1D hydrodynamica
 - 2D hydrodynamica
 - Hydrodynamisch koppelen
 - Hydrologie
3. In- en uitvoer en databeheer;
4. User interface en visualisatie;
 - Algemeen
 - Modelopbouw en inspectie
 - Analyse modelresultaten
 - Speciale visualisatie opties
 - Scenario analyse
 - Automatische interpretatie van resultaten

De gehele vragenlijst, inclusief de beantwoording daarvan, is opgenomen in [bijlage 1](#). Voor een paar belangrijke aspecten zijn onderstaand samenvattende tabellen opgenomen.

Compleetheid toepassingsgebied

In [tabel 4.1](#) valt te zien welk model voor welk type modellering geschikt is. Voor de volledigheid: dat een bepaald pakket geen mogelijkheden heeft voor een bepaalde berekening, betekent niet dat dit absoluut onmogelijk is. Veel modellen zijn te koppelen aan andere modellen.



TABEL 4.1 Toepassingsgebied modelcode

Model- software Rekenhart	1D openwater	1D gesloten leidingen (lucht/vol): Riolering	2D openwater/ afstroming over maaiveld: Rooster	2D openwater/ afstroming over maaiveld: Vergelijking	Hydrologie	Grondwater	Koppeling	Water- kwaliteit
Tygron ²	Nee	Nee/Nee	Gestructureerd cartesisch	Diffusieve wave	Ja	Ja	Geen	Nee
D-HYDRO	Ja	Ja/Nee	Flexible mesh (gestructureerd en ongestructureerd)	SWE	Ja	Ja	0D – 1D 1D – 2D 2D – 3D	Ja
3Di	Ja	Ja/Ja	Gestructureerd cartesisch met quadtree verfijning	SWE	Ja	Ja	0D – 1D 1D – 2D	Nee
InfoWorks ICM	Ja	Ja/Ja	Ongestructureerde driehoeken	SWE	Ja	Nee	0D – 1D 1D – 2D	Ja
HEC-RAS	Ja	Ja/Nee	Flexible mesh (gestructureerd en ongestructureerd)	SWE	Nee	Nee	1D – 2D	Ja
SOBEK2	Ja	Ja/Nee	Gestructureerd cartesisch	SWE	Ja	Nee	0D – 1D 1D – 2D	Ja
TELEMAC	Ja	Nee/Nee	Ongestructureerde driehoeken	SWE	Ja	Nee (wel infiltratie)	1D – 2D 2D – 3D	Ja
SIMGRO	Nee	Nee/Nee	Nee	Nvt	Ja	Ja	Geen	Nee
WOLK	Nee	Nee/Nee	Gestructureerd cartesisch o.b.v. AHN.	GIS gebaseerd. Niet hydro- dynamisch*	Nee	Nee	Geen	Nee

* Verdeling van overstromend volume over het oppervlak via stroombanen resulterend in een geïnundeerd oppervlakte en diepte

Kosten en beschikbaarheid broncode

Op de kosten voor het gebruik van modelcodes wordt in deze benchmark niet expliciet ingegaan, omdat de werkelijke kosten van een keuze voor een model afhangen van veel locatie specifieke aspecten. Dat kostenafwegingen kunnen leiden tot het gebruik van een andere modelcode is evenwel evident. Een classificatie van mogelijke kosten per modelcode is gegeven in [tabel 4.2](#). Ook is weergegeven of een modelcode open source is of niet.

4.3 MODELCODES GEORDEND

Aan de hand van de functionaliteiten van de modelcodes kan een ordening worden aangebracht om de keuze te faciliteren. Uit de aard van de zaak is elke ordening weer een versimpeling van de werkelijkheid. Een ‘simpelere’ modelcode is daarbij ook niet per definitie slechter dan een complexere modelcode. Het is zoals gezegd zaak om voor een klus het juiste gereedschap uit te kiezen.

² Cartesisch: Het cartesisch coördinatenstelsel is de gebruikelijke manier om een punt in een vlak aan te duiden door middel van twee coördinaten ten opzichte van twee coördinaat-assen, die loodrecht op elkaar staan. (bron: wikipedia). Een cel in een cartesisch rooster is te vinden met zijn x- en y-coördinaat. Dit houdt in dat de vorm van de cellen vierkant (of rechthoekig) is.

TABEL 4.2 Kosten voor het gebruik van de modelcodes

Modelsoftware	Ontwikkelaar	Open Source	Kosten
Tygron Engine	Tygron (Nederland)	Nee	Ja, abonnementskosten van toepassing op draaien van de software en opslaan van de modelschematisaties, jaarlijkse beheerkosten
D-HYDRO	Deltares (Nederland)	Ja	Jaarlijkse beheerkosten
3Di	Stelling Hydraulics, Nelen & Schuurmans en Deltares (Nederland)	Nee	Ja, abonnementskosten van toepassing op draaien van de software
InfoWorks ICM	Innovyze (Zweden)	Nee	Ja, eenmalige licentiekosten en jaarlijkse beheerkosten
HEC-RAS	US Army Corps of Engineers (Verenigde Staten van Amerika)	Nee	Nee
SOBEK2	Deltares (Nederland)	Nee	Ja, eenmalige licentiekosten en jaarlijkse beheerkosten
TELEMAC	TELEMAC Mascaret community (diverse landen)	Ja	Nee
Simgro	Wageningen Environmental Research (Alterra)	Ja	Nee
WOLK	Tauw (Nederland)	Nee	Ja

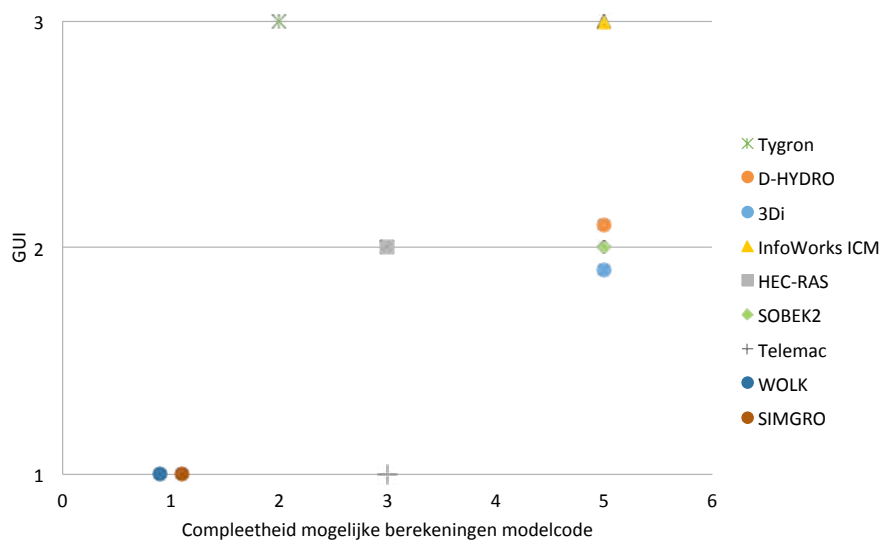


FIG 4.1 Ordening modelcodes op basis van compleetheid en Graphical User Interface (GUI)

Figuur 4.1 laat een plot zien van de compleetheid van het rekenhart (x-as) ten opzichte van de hoeveelheid mogelijkheden van de grafische schil (graphical user interface (GUI)) van de modelcode.

De achtergrond van deze grafiek is als volgt:

De compleetheid is gebaseerd op [tabel 4.1](#). Daarbij is voor elk toepassingsgebied één punt toegekend, te weten;

- 2D stroming.
- 1D open water.
- 1D gesloten leidingen (vol).
- 1D gesloten leidingen (deels gevuld).
- Grondwaterstroming.
- Waterkwaliteit.

Dit geeft een beeld van de breedte van de inzetbaarheid van de modelcode. Daarbij moet worden opgemerkt dat sommige modelcodes ook functionaliteiten bieden voor niet beschouwde aspecten, bijvoorbeeld bodemdaling (Tygron).

De Grafische Schil (GUI) is als volgt geordend (aantal punten):

- 1: geen eigen GUI.
- 2: eigen GUI, schakelen tussen modules merkbaar (losse schermen) of andere software gewenst of nodig.
- 3: volledige eigen GUI. De software hoeft niet verlaten te worden voor volledige analyses en grafische weergaves, geen schakeling tussen modules merkbaar.

Opgemerkt moet worden dat de 'scores' vooral een manier zijn om de modelcodes relatief ten opzichte van elkaar te ordenen, het zijn geen waardeoordelen. Het gescheiden houden van modules biedt bijvoorbeeld mogelijk meer flexibiliteit voor verbeteringen (denk aan gebruik van open sources software).

[Tabel 4.3](#) toont een overzicht waarin de modelcodes zijn geordend op basis van de resultaten van de functionaliteitenlijst op enkele belangrijke aspecten.

TABEL 4.3 Functionaliteiten modelcodes volgend uit de functionaliteitenlijst

		SOBEK2	3Di	D-HYDRO	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	Tygron	WOLK
Compleetheid	Weinig							●	●
	Redelijk					●	●		
	Veel	●	●	●	●				
GUI	Geen						●		●
	Modules	●	●	●		●			
	Integraal				●			●	
Helpdesk	Nee					●			●
	Ja	●	●	●	●		●	●	
Kosten	Nee					●	●		
	Ja	●	●	●	●			●	●
Open Source	Nee	●	●		●	●		●	●
	Ja			●			●		
Modelbouw en modelgebruik mogelijk door derden	Nee								●
	Ja	●	●	●	●	●	●	●	

H5 TESTBANK RESULTATEN

5.1 INTRODUCTIE TESTBANK

In de testbank worden de verschillende modelcodes onderworpen aan zeven testcases. De uitkomsten van de verschillende modelcodes worden daarna vergeleken met de analytische resultaten en elkaar. Op deze manier kan een objectief beeld gevormd worden van de onderlinge prestaties van de verschillende hydraulische modellen in termen van de nauwkeurigheid van het numerieke oplossingsalgoritme en de gekozen vergelijkingen.

De testcases zelf zijn zo gekozen dat een indruk verkregen kan worden van verschillende hydrologische en hydraulische aspecten die we tegenkomen bij met name inundaties in stedelijk gebied. De testbank bestaat uit zeven testcases. Voor deze zeven testcases is de parametrisatie zo goed mogelijk vooraf vastgelegd, ook de neerslagintensiteit is vooraf bepaald.

De analyse van de resultaten gebeurt op basis van (zie [paragraaf 3.5](#)):

- Een visuele analyse (expert judgement).
- Een rekenkundige vergelijking waar dit kan en aanvullende informatie biedt.

In de komende paragrafen wordt per testcase de case geïntroduceerd, wordt besproken naar welke aspecten is gekeken en worden de resultaten van de bekeken modelcodes geanalyseerd.

5.2 TESTCASE 1: EEN ENKELE HELLING

5.2.1 Omschrijving testcase 1

Een schematisatie van de testcase is weergegeven in [figuur 5.1](#).

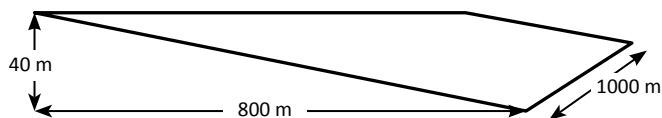


FIG 5.1 De lay-out van de helling voor testcase 1 (Di Giammarco, 1996)

Op deze helling wordt een afvoer van 10.8 mm/uur gedurende 90 minuten geïntroduceerd. De totale simulatie duurt 3 uur.

De gevraagde uitkomsten omvatten:

- Een afvoergrafiek.
- De waterverdeling over de helling met tijdsinterval van 30 minuten.
- Het tijdsafhankelijke bergingsvolume inclusief massabalans van alle in- en uitstroom debieten.

Het opgelegde rekenrooster heeft een resolutie van 20m bij 20m. De ruwheidscoëfficiënt is uitgedrukt in Manning, $n=0.015$. Als benedenstroomse randvoorwaarde wordt een waterverhang gehanteerd gelijk aan het bodemverhang. Voor de bodem wordt aangenomen dat deze ondoorlatend is. De analytische oplossing en numerieke resultaten voor deze casus zijn opgenomen in (Di Giammarco, 1996).

5.2.2 Doel testcase 1

Met de eerste testcase wordt bekeken of de modelcodes nauwkeurig overland (sheet) flow³ kunnen modelleren. Een vereenvoudiging van de Shallow Water Equations (zoals de Diffusive Wave en zelfs de Kinematic Wave) zou ook goede resultaten moeten leveren op deze test. Deze casus is gekozen omdat er een analytische oplossing voor bestaat (Di Giammarco, 1996) en er dus een ‘perfecte’ uitkomst bekend is.

5.2.3 Instellingen modelcodes testcase 1

Tabel 5.1 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waardes dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.1 Instellingen modelcodes testcase 1

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Geen
D-HYDRO	Geen
3Di	Sommerfeldrand (=normal)
InfoWorks ICM	2D Depth/momentum tolerance 0.00001 Boundary condition Normal 2D slope correction parameter used Rainfall smoothing off Average element size 306 m ²
HEC-RAS	Normal depth boundary met een friction slope van 0.05 (gelijk aan bodemverhang) Convergentiecriteria verkleind naar 0.1 mm Toleranties rekenrooster verkleind naar 1 mm
SOBEK2	Rekenrooster geschoven om een waterdiepte van 0 mogelijk te maken op de benedenrand. Rekenrooster uitgebreid omdat SOBEK2 neerslag niet toekend aan de buitenste rand van een raster



³ We hebben het hier over ondiepe waterstromen over het oppervlakte (sheet flow). Dit treedt bijvoorbeeld op bij neerslag-afvoer.

5.2.4 Resultaten testcase 1

Figuur 5.2 toont de resultaten van de bekeken modelcodes, alsmede de analytische oplossing van het vraagstuk. Figuur 5.3 toont de verschillen van de berekende debieten in de modelcodes ten opzichte van de analytische oplossing. Tabel 5.2 toont de rekenkundige analyse van de resultaten.

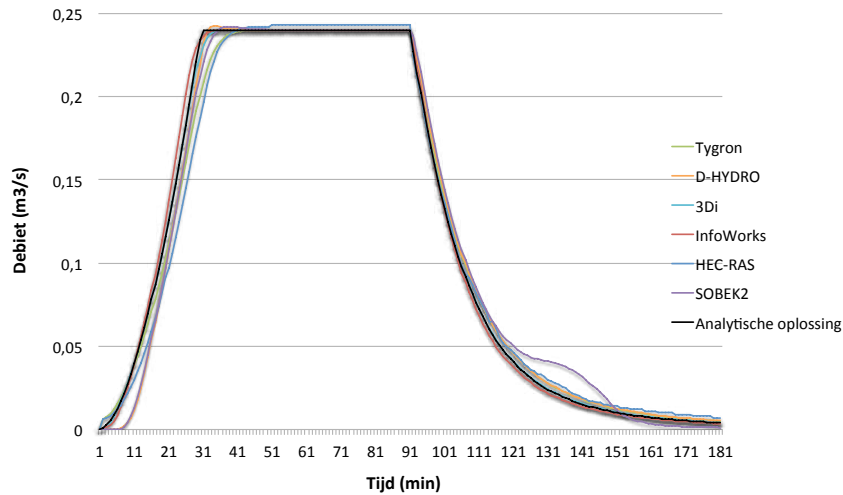


FIG 5.2 Testcase 1: hydrograaf. Resultaten modelcodes voor testcase 1, inclusief analytische oplossing

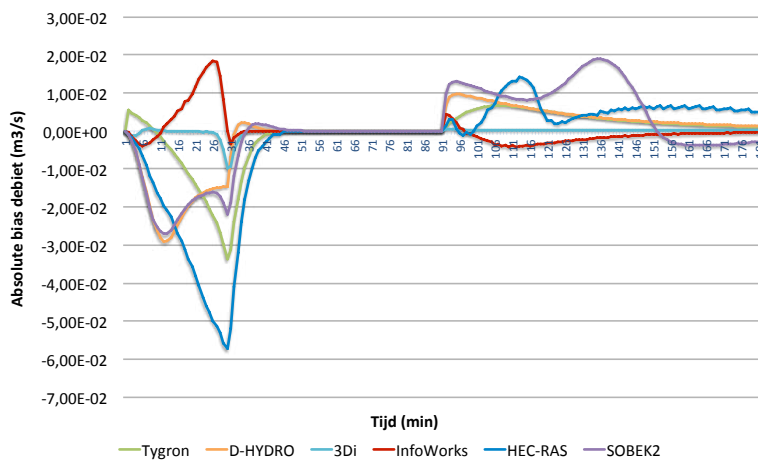


FIG 5.3 Bias modelcode ten opzichte van de analytische oplossing bij testcase 1

TABEL 5.2 Rekenkundige analyse testcase 1

	Tygron	D-HYDRO	3Di	InfoWorks ICM	HEC-RAS	SOBEK2
KGE (max=1)	0.9791	0.9889	0.9975	0.9896	0.9714	0.9893
NSE (max=1)	0.9948	0.9929	0.9999	0.9984	0.9772	0.9887
NRMSE (best=0)	6.2%	7.3%	1.0%	3.4%	12.8%	9.0%

Naast de hydrograaf zijn ook de waterhoogtes op langsdoorsnedes gevraagd. In eerste instantie waren de Z-waardes (waterhoogtes ten opzichte van een referentie) opgevraagd. [Figuur 5.4](#) toont het resultaat van twee modellen hiervan. Het verschil wordt veroorzaakt door de manier van het opbouwen van het rooster en de omrekening van de waterhoogtes naar een Z-waarde. De omrekening zou je als een grafische ‘fout’ kunnen omschrijven die geen invloed heeft op de hydraulische rekenresultaten. Als modelleur is het echter wel relevant dat je weet dat dit fenomeen kan spelen. De manier van opbouwen van het rooster heeft daadwerkelijk invloed op de rekenresultaten ([figuur 5.5](#)).

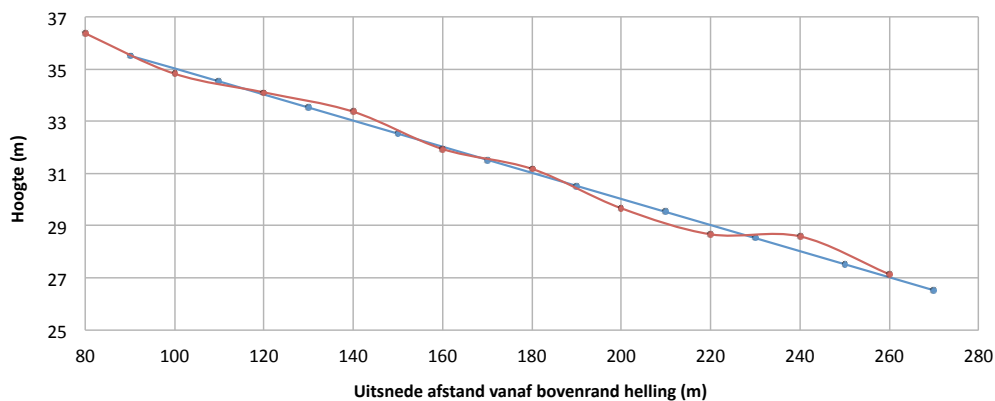


FIG 5.4 Z-waardes langsdoorsnede T=90 minuten. Bijzondere variaties in ‘waterhoogte’ als de Z-waarden (waarden ten opzichte van een referentie) worden opgevraagd

[Figuur 5.5](#) toont dezelfde langsdoorsnede maar nu met de waterdiepte ten opzichte van de bodem (in meters). Alle modellen behalve InfoWorks ICM vallen goed over elkaar. SOBEK2 vertoont ten opzichte van de andere modellen een kleine afwijking aan de bovenstroomse zijde; mogelijk te wijten aan de wetting threshold van 1 mm (er moet 1 mm water op een rooster cel staan voordat er stroming begint). HEC-RAS laat een klein verschil zien langs de benedenrand, wat waarschijnlijk een artefact is van de opgedrukte normal-depth-boundary en Tygron geeft een lichte overschatting van de waterdiepte. Alle verschillen zijn echter klein en liggen in de orde van tienden van millimeters.

Alleen bij InfoWorks ICM zien de diepteprofielen in deze casus er nogal schokkerig uit: dit is het gevolg van het onregelmatige grid, waardoor horizontale stroming niet meer één unieke afstromingsrichting heeft. De resulterende dieptevariatiaties worden dan ook veroorzaakt door het toegepaste grid in deze testcase; op macroschaal hebben ze geen invloed op de kwaliteit van de resultaten in praktijktoepassingen. In werkelijkheid is een helling nooit gelijkmatig en kan een ongestructureerd grid ook voordelen opleveren ten opzichte van een gestructureerd grid.

D-HYDRO heeft niet de benodigde functionaliteit om de benodigde gegevens te exporteren op dit moment.

De balansfouten van casus 1 zijn opgenomen in [figuur 5.6](#). Hierbij dient te worden opgemerkt dat HEC-RAS alleen een totale balansfout als output kan leveren. Deze balansfout is gedeeld door de duur van de berekening, 180 minuten en als één rechte lijn geplot. Verder moeten we vermelden dat HEC-RAS de waterdieptes plot als ware het totale volume water in een cel geaccumuleerd in het laagste punt. Om de uitkomsten vergelijkbaar te maken met die van de andere modellen hebben we dit volume gedeeld door het celoppervlak.

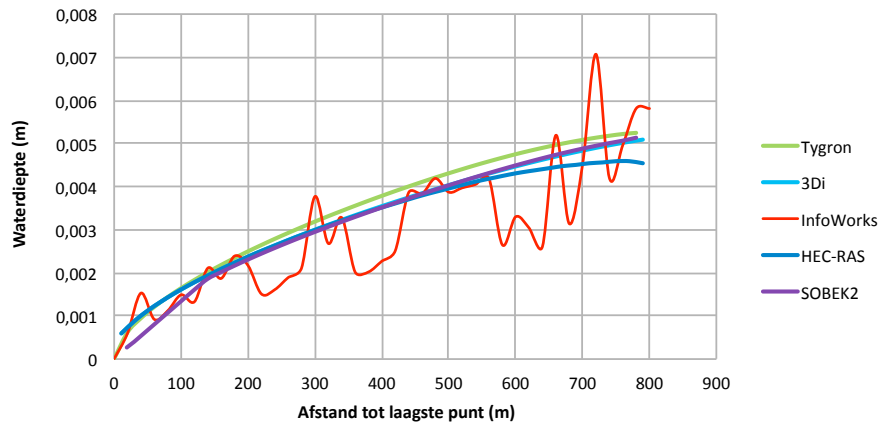


FIG 5.5 Langsdoorsnede casus 1 na 30 minuten

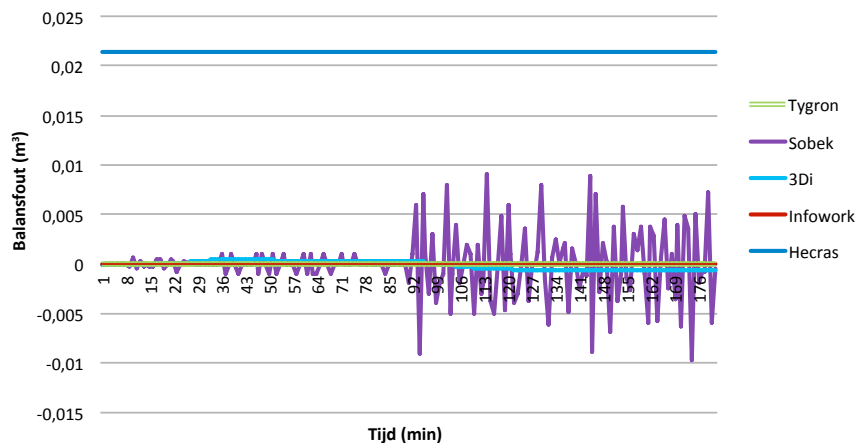


FIG 5.6 Balansfout (m³). Fout in waterbalans testcase 1

Visuele analyse resultaten testcase 1

Visueel valt het volgende op aan de getoonde grafieken:

- Alle modellen vertonen in de opgaande curve een afwijking in de tijd en sommige een afwijkende richtingscoëfficiënt. Voor het grootste deel van de afgaande lijn komt dit beeld niet terug.
- InfoWorks ICM is de enige modelcode die in de opgaande curve een hoger debiet berekent dan de analytische oplossing.
- SOBEK2 en HEC-RAS vertonen vanaf $t=100$ minuten een afwijkend verloop. Bij HEC-RAS is het laatste deel van de berekening niet helemaal stabiel (schokkerig). Ook valt op dat er een 'hobbel' optreedt in SOBEK2 aan het einde van de som.
- Na afloop van de neerslag toont 3Di de perfecte analytische oplossing.
- Doordat InfoWorks ICM als enige pakket een ongestructureerd rooster gebruikt (in combinatie met de aanzienlijke omvang van het opgelegde rooster) ontstaat er een schokkerig beeld in vergelijking met de vloeiende lijnen van de andere pakketten in de langsdoorsnede.
- HEC-RAS vertoont een relatief grote balansfout en in de langsdoorsnede relatief zeer grote waterdieptes.
- In de waterbalans blijkt dat SOBEK2 moeite krijgt bij het leeglopen met relatief grote balansfouten.

Rekenkundige analyse resultaten testcase 1

Alle modellen vertonen goede tot zeer goede resultaten met waarden voor de NSE en KGE $\gg 0.95$ (zie [paragraaf 3.5](#)). Dit geldt ook voor HEC-RAS, ondanks de NRMSE van $>10\%$. Tygron 'scoort' met een Diffusive Wave Equation als rekenhart zoals verwacht in dezelfde orde van nauwkeurigheid als de andere pakketten.

Interpretatie analyses

Zoals blijkt uit [figuur 5.2](#) komt in HEC-RAS de afvoer iets vertraagd op gang, wat consistent is met de iets geringere waterdiepte na 30 min. Op basis van de verschillen met de overige modellen vermoeden we dat de gebruikte randvoorwaarde (normal depth) op de benedenrand hier de veroorzaker van is. Vanuit de leverancier is daarnaast gecommuniceerd dat HEC-RAS eigenlijk niet voor dit type zeer ondiepe surface runoff bedoeld is. Als benedenstroomse randvoorwaarde (langs de rechterzijde) is bij HEC-RAS gekozen voor een *Normal Depth Boundary* met een friction slope van 0.05, dus gelijk aan het bodemverhang.

De afvoer in SOBEK2 begint ca. 6 minuten na aanvang van de bui. Dit is te wijten aan de wetting threshold van 1 mm die het programma standaard hanteert. Ook de 'hobbel' in het staartverloop van SOBEK2 is hier waarschijnlijk aan te wijten.

Tygron en InfoWorks ICM rapporteren een balansfout van 0, wat waarschijnlijk wil zeggen dat er geen fout binnen de numerieke of rapporteer precisie is.

Zowel D-HYDRO (start berekening) als Tygron laten een vertraging zien richting de evenwichtssituatie. De afwijkingen worden mogelijk veroorzaakt door een afwijking in de opgelegde randvoorwaarde.

5.2.5 Conclusies testcase 1

Alle modelcodes tonen het verwachte resultaat in termen van maximaal debiet. Kleine afwijkingen kunnen worden veroorzaakt door het gebruik van een wetting treshold en de verwerking van de benedenstroomse boundary.



5.3 TESTCASE 2: OPEN BOEK

5.3.1 Omschrijving testcase 2

Net als bij casus 1 komt deze cases uit (Di Giammarco, 1996). De neerslagintensiteit is gelijk aan die in casus 1. Voor de buitenste en binnenste taluds wordt een Manning van $n=0.015$ gehanteerd. Voor meer detail zie (Di Giammarco, 1996). Hierin wordt ook de analytische oplossing beschreven. *Figuur 5.7* laat de vorm van het open boek zien.

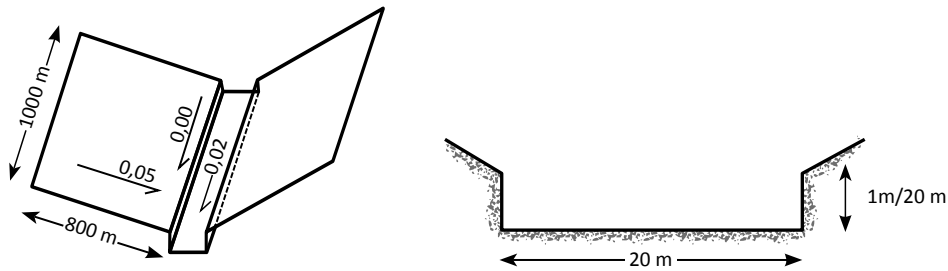


FIG 5.7 De lay-out van het open boek voor testcase 2

5.3.2 Doel testcase 2

Testcase 2 voegt ten opzichte van testcase 1 de volgende aspecten toe:

- Stroming vanuit 2 richtingen die in het midden bij elkaar komen.
- Diepere oppervlaktewaterstroming.

Ook voor deze case bestaat gedeeltelijk een analytische oplossing. Testcase 2 is daarmee een iets gecompliceerdere versie van testcase 1. De conclusies uit testcase 1 zouden ook voor testcase 2 moeten opgaan. De invloed van de grens (boundary) is in testcase 2 kleiner.

5.3.3 Instellingen modelcodes testcase 2

Tabel 5.3 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard standaardwaarden dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.3 Instellingen modelcodes testcase 2

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Geen
D-HYDRO	Regen valt ook op het kanaal (in tegenstelling tot het ondersteunende artikel)
3Di	Sommerfeldrand
InfoWorks ICM	2D Depth/momentum tolerance 0.0001 Ds boundary channel: normal Rest boundary: vertical wall 2D slope correction parameter used Rainfall smoothing off
HEC-RAS	Full momentum Normal boundary, friction slope 0.02 Convergentiecriteria verkleind naar 0.1 mm Toleranties rekenrooster verkleind tot 1 mm
SOBEK2	Geen

5.3.4 Resultaten testcase 2

Figuur 5.8 toont de resultaten van de bekeken modelcodes, alsmede de (gedigitaliseerde) analytische oplossing van het vraagstuk in testcase 2. Tabel 5.4 toont de rekenkundige analyse van de resultaten.

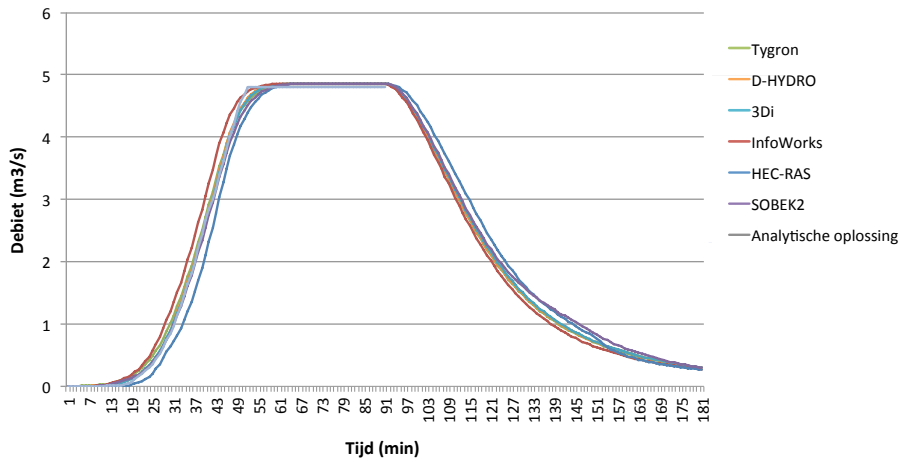


FIG 5.8 Hydrograaf casus 2

TABEL 5.4 Rekenkundige analyse testcase 2

	Tygron	D-HYDRO	3Di	InfoWorks ICM	HEC-RAS	SOBEK2
KGE (max=1)	0.9669	0.9861	0.9911	0.9306	0.9259	0.9975
NSE (max=1)	0.9983	0.9994	0.9994	0.9893	0.9904	0.9987
NRMSE	3,0%	1,9%	1,9%	7,0%	8,0%	2,7%

Visuele analyse resultaten testcase 2

Alle pakketten gaan naar het verwachte evenwichtsdebiet toe. De spreiding in de tijd valt met name bij InfoWorks ICM enigszins op. InfoWorks ICM heeft in meerdere casussen de neiging de afstroomsnelheid iets te overschatten. Bij SOBEK2 en HEC-RAS ontbreken de onvolkomenheden uit testcase 1 grotendeels. De ‘hobbel’ aan het einde van de simulatie bij SOBEK2 is bijvoorbeeld veel minder duidelijk zichtbaar.

Rekenkundige analyse resultaten testcase 2

Alle modelcodes vertonen goede (InfoWorks ICM, HEC-RAS) tot zeer goede (SOBEK2, 3Di, D-HYDRO, Tygron) scores op de KGE en de NSE. De verschillen worden vrijwel uitsluitend veroorzaakt door een tijdsverschuiving. Alle modellen hebben een correlatie van >0.99 met de analytische oplossing.

Interpretatie analyses

Het ontbreken van de onvolkomenheden uit testcase 1 bij HEC-RAS en SOBEK2 vallen op. Bij HEC-RAS ondersteunt dit de eerdere conclusie dat er mogelijk een onvolkomenheid is bij de randvoorwaarde aan de grens (boundary). Bij HEC-RAS moesten wel diverse numerieke instellingen worden aangepast om het model deze ondiepwatersituatie adequaat te kunnen laten simuleren. Voor SOBEK2 zijn geen aanvullende conclusies te trekken, hoewel mogelijk de voorwaarden aan de rand ook kunnen meespelen.

InfoWorks ICM laat een iets versnelde afstroming zien, dit is hetzelfde beeld als casus 1. Deze beperkte afwijking zou gerelateerd kunnen zijn aan het numerieke oplossingschema. De berekende afwijking is in de praktijk wel van een lagere orde van grootte dan de onzekerheden in de invoer (bijvoorbeeld wrijvingswaarden).

5.3.5 Conclusies testcase 2

Alle modellen geven goede resultaten voor testcase 2. Vooral D-HYDRO, SOBEK2, Tygron en 3Di benaderen de analytische oplossing zeer nauwkeurig, maar alle modellen zijn geschikt voor dit type berekeningen.

5.4 TESTCASE 3: GEKANTELTE V-VORM

Deze casus is bijna helemaal gelijk aan testcase 2. Het verschil is echter dat in testcase 3 ook de taluds een verhang hebben (figuur 5.9). Voor de rest blijft de parametrisatie gelijk aan testcase 2.

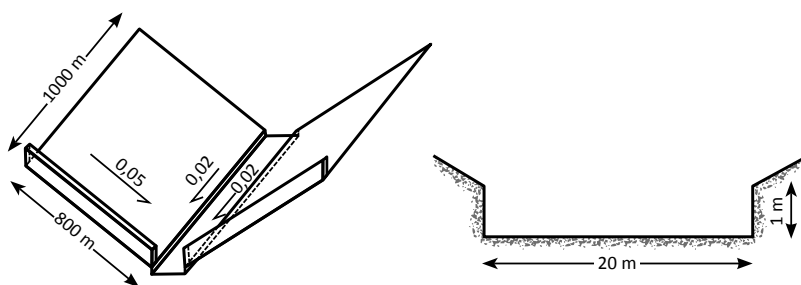


FIG 5.9 De lay-out van de gekantelde V-vorm voor testcase 3

5.4.1 Doel testcase 3

Doordat de taluds in testcase 3 ook een verhang hebben zal de afstroming niet meer loodrecht op de randen van het rooster plaatsvinden. Het doel van testcase 3 is om te controleren of de modelcode hiermee om kan gaan. Voor testcase 3 is geen analytische oplossing beschikbaar.

5.4.2 Instellingen modelcodes testcase 3

Tabel 5.5 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waarden dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.5 Instellingen modelcodes testcase 3

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Geen
D-HYDRO	Regen valt ook op het kanaal (in tegenstelling tot in paper)
3Di	Sommerfeldrand
InfoWorks ICM	2D Depth/momentum tolerance 0.0001 Ds boundary channel: normal Rest boundary: vertical wall 2D slope correction parameter used Rainfall smoothing off
HEC-RAS	Full momentum Normal boundary, friction slope 0.02 Convergentiecriteria verkleind naar 0.1 mm Toleranties rekenrooster verkleind tot 1 mm
SOBEK2	Geen

5.4.3 Resultaten testcase 3

Figuur 5.10 toont de resultaten van de bekeken modelcodes in testcase 3.

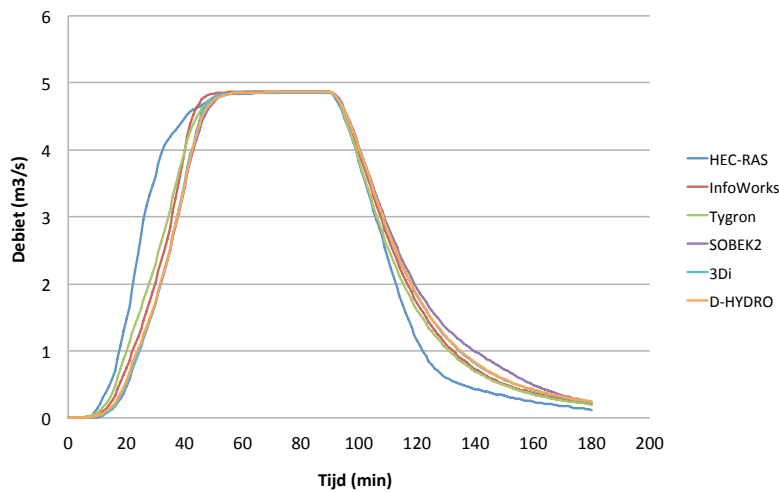


FIG 5.10 Hydrograaf casus 3

Visuele analyse resultaten testcase 3

De modellen volgen in grote lijnen elkaars resultaten. De opvallendste verschillen komen van HEC-RAS en in mindere mate SOBEK2, InfoWorks ICM en Tygron. HEC-RAS laat resultaten zien die veel afwijken van de andere modellen. Bij SOBEK2 en InfoWorks ICM komen eerdere observaties terug van respectievelijk een vertraging in de leeglooppfase (SOBEK2) en een iets te snelle afvoer (InfoWorks ICM). Tygron heeft in deze casus een wat versnelde afvoer.

Interpretatie analyses

De analyse vanuit de HEC-RAS ontwikkelaars is als volgt:

- 'I think the problem is given we have a sub-grid approach, we had to come up with an equation that could be used for very shallow water over a plain. Looks like the equation works well when the slope is in one direction, but not so good when it is in multiple directions for the same cell. We are evaluating this and will hopefully come up with a solution that works well in all cases. As I said before, we have not concentrated on shallow flow rainfall runoff problems in any great detail so far. So there is definitely room for improvement.'

In een telefonische toelichting stellen de makers van HEC-RAS dat dankzij deze benchmark een fout aan het licht is gekomen in hun afhandeling van zeer ondiepe stroming diagonaal over het rekenrooster. Bij zeer geringe waterdieptes wordt namelijk afgestapt van de subgrid-methodiek en hanteert het programma een andere oplossingsmethode, waar een fout in blijkt te zitten. De makers verwachten dat het probleem in versie 5.1 verholpen zal zijn.

De iets versnelde afvoer van Tygron wordt mogelijk ook veroorzaakt door de numerieke oplossingsmethode. Het feit dat Tygron gebruik maakt van een diffusieve wave vergelijking zou in deze casus in theorie niet tot een afwijking moeten leiden. Omdat in casussen 2 en 4 geen afwijkingen zijn geconstateerd qua afvoer kan het zijn dat de grotere waterdiepte in de watergang (ten opzichte van de oppervlakkige afstroming) het verschil veroorzaakt.

5.4.4 Conclusies testcase 3

Testcase 3 laat duidelijk zien dat in het rekenhart van HEC-RAS nog een onvolkomenheid zit als het gaat om zeer ondiepe stroming die niet loodrecht op het rooster plaatsvindt. De overige modellen kunnen dit vraagstuk goed aan.

5.5 TESTCASE 4: WATERACCUMULATIE

Deze testcase bevat een wateraccumulatiegebied/waterplas (ponding). Om dit goed te onderzoeken zijn drie sub-testcases nodig. Deze zijn ieder apart beschreven. [Figuur 5.11](#) laat de schematisatie van testcase 4 zien. Alle oppervlakten hebben dezelfde ruwheidscoëfficiënt, een Manning van $n=0.05$.

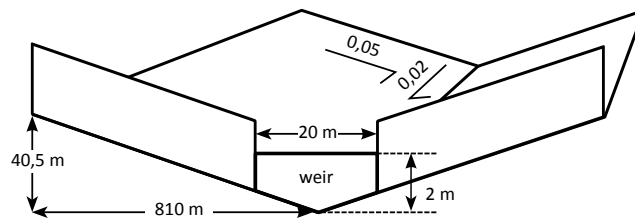


FIG 5.11 De lay-out van de wateraccumulatie voor testcase 4

Het resultaat is:

- een afvoerlijn bij de stuw
- tijdreeks met het geïnundeerde volume
- het water niveau bovenstrooms van de stuw.

Zoals in alle casussen wordt er ook een massabalans gegeven.

➤ TESTCASE 4A

Hier wordt de eerdere neerslagintensiteit (testcase 3) voorgesteld maar stationair (stopt dus niet). De bodem is ondoorlatend. De stuw is een perfecte stuw.

5.5.1 Doel testcase 4A

Het doel van testcase 4A is om te testen of de modellen in staat zijn om te komen tot een goede ponding (het vormen van een waterplas).



5.5.2 Instellingen modelcodes testcase 4A

Tabel 5.6 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waardes dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.6 Instellingen modelcodes testcase 4A

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Geen
D-HYDRO	Geen
3Di	Geen
InfoWorks ICM	Maximum triangle size 400 m ² (geen minimum verstrekt) 2D Depth/momentum tolerance 0.0001 Ds boundary channel: base linear structure weir Rest boundary: vertical wall 2D slope correction parameter used Rainfall smoothing off
HEC-RAS	Stuw geschematiseerd als kunstwerkobject op de celwand Convergentiecriteria verkleind naar 0.1 mm Toleranties rekenrooster verkleind tot 1 mm
SOBEK2	Geen

5.5.3 Resultaten testcase 4a

Figuur 5.12 toont de resultaten van de bekeken modelcodes in testcase 4A. In de tijd zijn respectievelijk het debiet, het totaal geborgen volume en de waterhoogte bovenstrooms van de stuw weergegeven.

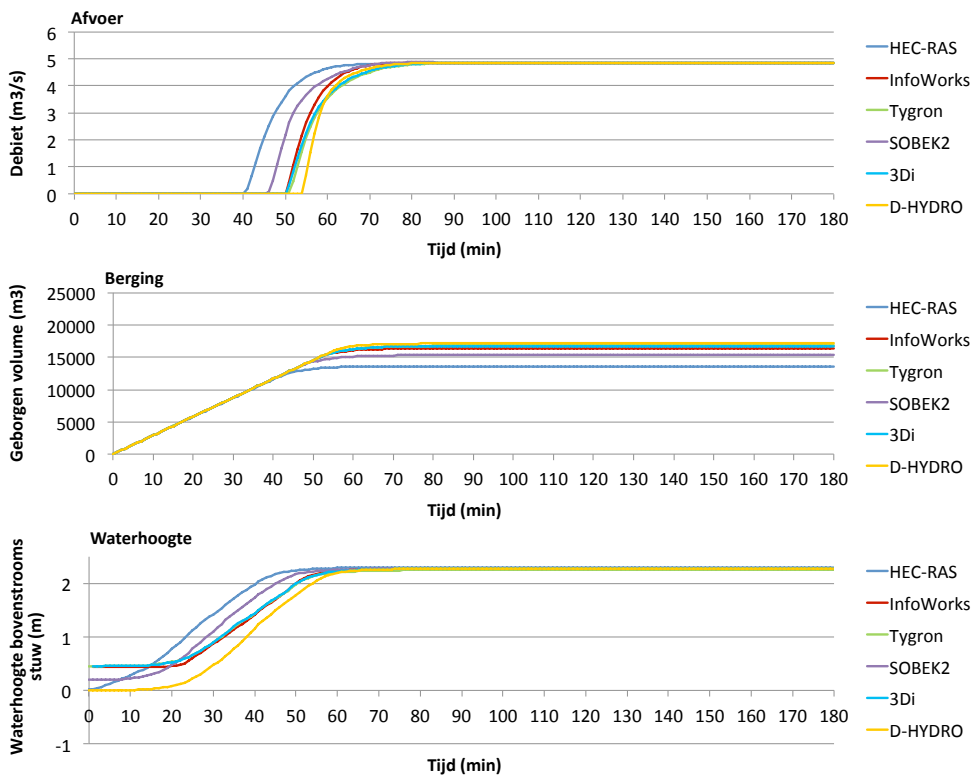


FIG 5.12 Resultaten testcase 4A

De balansfouten voor de modellen zijn in alle gevallen verwaarloosbaar. 3Di en SOBEK2 rapporteren balansfouten in de orde van grootte 10^{-6} m^3 , de overige modellen voeren balansfouten niet in dit soort kleine grootheden uit.

Visuele analyse resultaten testcase 4A

De volgende aspecten vallen op bij testcase 4A:

- Alle modellen gaan (logischerwijs) naar hetzelfde evenwichtsdebiet toe.
- Er is wel enig verschil in het moment waarop dit debiet bereikt wordt.
- Er zijn kleine verschillen bij de berekende overstorthoogte. Aangezien het overstortende debiet wel overal gelijk is, worden deze dus veroorzaakt door verschillen in de gehanteerde overstortformule of overstortcoëfficiënt.
- Er zijn verschillen in geborgen volume.
- De waterhoogte op $t=0$ is niet overal gelijk.

Interpretatie analyses

Casus 4 is niet geheel eenduidig te analyseren met de beschikbare gegevens. Wat we wel kunnen zeggen:

- De reden van de afwijkende bergingsvolumes is onduidelijk, maar is mogelijk gerelateerd aan de manier waarop dit geborgen volume wordt berekend en/of de verschillen in overstorthoogte. Mogelijk is er in sommige modellen sprake van een (onterechte) voorvulling. 3Di, D-HYDRO, InfoWorks ICM en Tygron geven vrijwel een identiek resultaat.
- HEC-RAS laat als enige model de verwachte stijging van de waterhoogte zien vrijwel vanaf $t=0$. Mogelijk heeft dit te maken met de manier waarop de stuw in de verschillende modelcodes is gemodelleerd (1D) en of het mogelijk is om een variërende bodemhoogte te hebben bij de stuw (of dat de bodem horizontaal is). 3Di, Tygron en InfoWorks ICM lijken een bodemhoogte van de stuw te hebben van +0.5 meter boven de bodem van de watergang.

In het proces bleek dat in casus 4 veel modelleerfoutjes werden gemaakt. Gezien de resultaten is het niet onmogelijk dat er nog steeds onvolkomenheden in de modellen zijn die de verschillen verklaren. Alle modellen laten echter een logische relatie zien tussen waterhoogte, afvoer en berging, wat de vraag was in deze casus.

5.5.4 Conclusies testcase 4A

Alle modellen zijn geschikt voor berekeningen met ponding. Als modelleur moet je bedacht zijn op verschillen (in standaardwaardes) van overstortformules.

➤ TESTCASE 4B

In deze case is de neerslagintensiteit 21,6 mm/uur en stopt hij na 90 minuten. De bodem heeft een infiltratiecapaciteit van 10,8 mm/uur. De berekening loopt door totdat het waterniveau bovenstrooms van de stuw +/- 2 cm onder de kruin is gedaald. De grondwaterstand is verwaarloosbaar.

5.5.5 Doel testcase 4B

Het doel van testcase 4B is bekijken of de modelcodes kunnen omgaan met een bodeminfiltratie.

5.5.6 Instellingen modelcodes testcase 4B

Tabel 5.7 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waardes dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

5.5.7 Resultaten testcase 4B

Figuur 5.13 toont de resultaten van de bekeken modelcodes in testcase 4B.

TABEL 5.7 Instellingen modelcodes testcase 4B

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Geen
D-HYDRO	Geen
3Di	Geen
InfoWorks ICM	Maximum triangle size 400 m ² (geen minimum verstrekt) 2D Depth/momentum tolerance 0.0001 Ds boundary channel: base linear structure weir Rest boundary: vertical wall 2D slope correction parameter used Rainfall smoothing off
HEC-RAS	Niet uitgevoerd (geen functionaliteit voor infiltratie)
SOBEK2	Niet uitgevoerd (geen functionaliteit voor infiltratie)

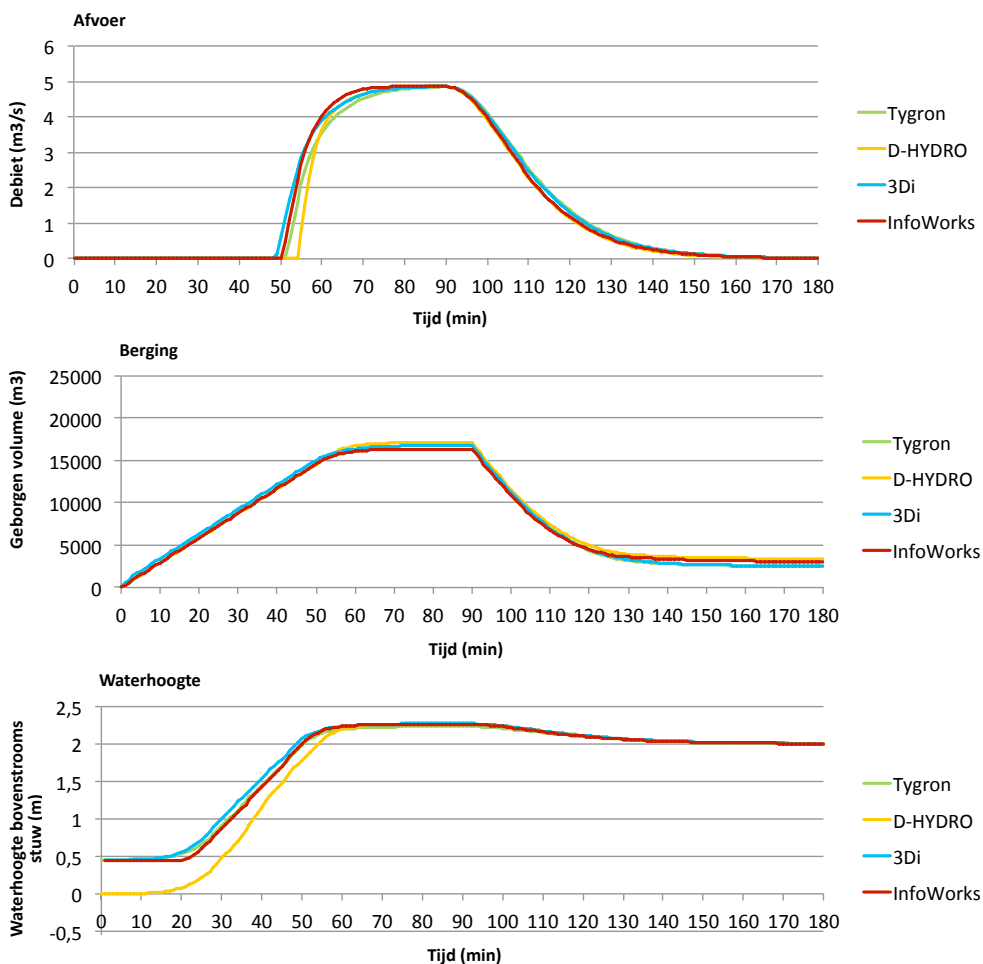


FIG 5.13 Resultaten testcase 4B

Visuele analyse resultaten testcase 4B

De resultaten van casus 4B komen volledig overeen met de resultaten van casus 4A.

Interpretatie analyses

Uit testcase 4B komt geen aanvullende informatie ten opzichte van casus 4A. De infiltratie heeft geen invloed op de correctheid van de resultaten.

5.5.8 Conclusies testcase 4B

Tygron, InfoWorks ICM, D-HYDRO en 3Di kunnen infiltratie op een goede manier meenemen. De overige pakketten bieden deze functionaliteit niet.

➤ TESTCASE 4C

Neerslag is gelijk aan case 4B, net als de infiltratiecapaciteit. De porositeit van de bodem is 0.25. De ondoorlatende laag is strikt horizontaal en 10 m onder het laagste maaiveld. De grondwaterstand bij T0 is horizontaal en 50 cm onder de kruinhoogte van de stuw. De initiële oppervlaktewaterstand is gelijk aan de initiële grondwaterstand. De hydraulische conductiviteit is 5×10^{-5} terwijl het geïnfiltreerde water zich bij het grondwater toevoegt. De berekeningsperiode is gelijk aan testcase 4B.

5.5.9 Doel testcase 4C

Testcase 4C bekijkt het vermogen van de modelcodes om stroming van grondwater mee te nemen.

5.5.10 Instellingen modelcodes testcase 4C

Tabel 5.8 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waardes dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.8 Instellingen modelcodes testcase 4C

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Geen
D-HYDRO	Geen
3Di	Geen
InfoWorks ICM	Niet uitgevoerd (geen grondwaterstroming in modelcode)
HEC-RAS	Niet uitgevoerd (geen grondwaterstroming in modelcode)
SOBEK2	Niet uitgevoerd (geen grondwaterstroming in modelcode)



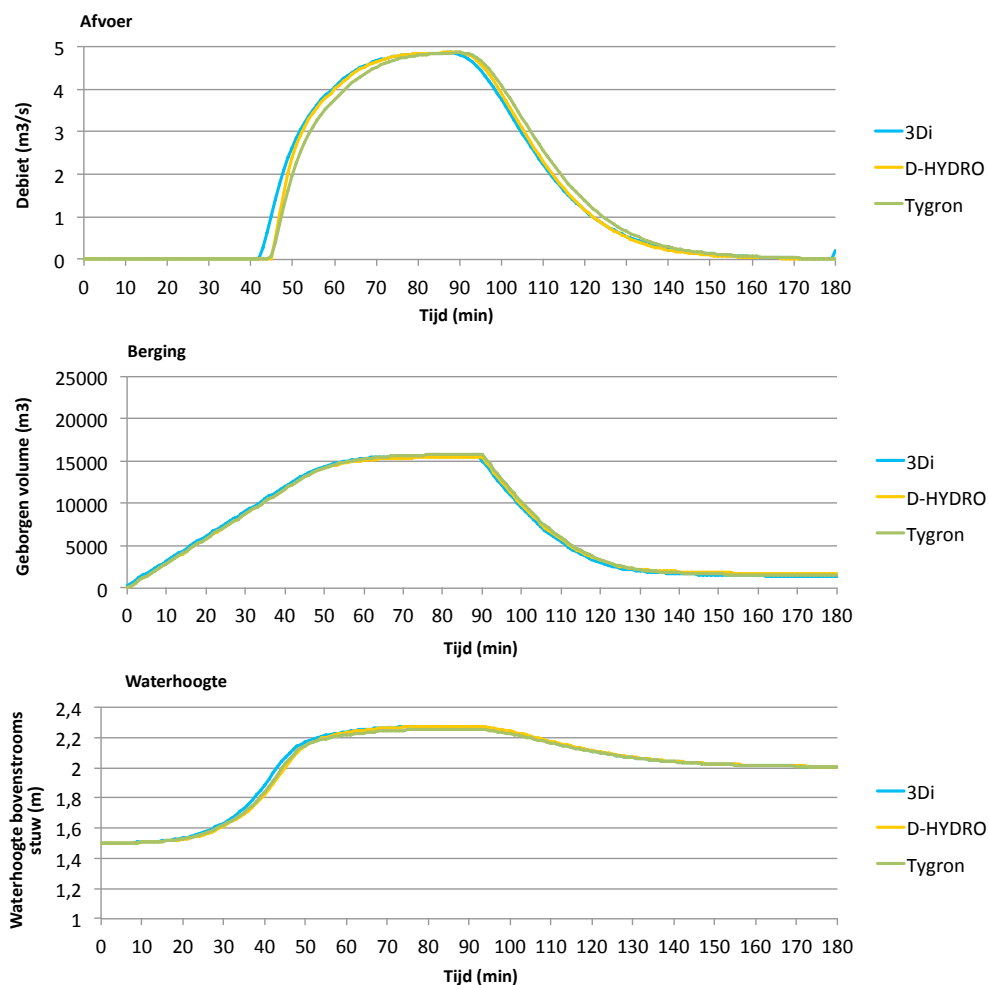


FIG 5.14 Resultaten testcase 4C

Naast bovenstaande drie grafieken is er ook gevraagd naar de ontwikkeling van de grondwaterstand. Omdat alleen 3Di en Tygron hier resultaten voor aanleverden en omdat deze sterk uit elkaar lagen (waarschijnlijk van verschillende locaties), is dit aspect niet verder bekeken uit tijdsoverwegingen.

Visuele analyse resultaten testcase 4C

De resultaten van casus 4C komen volledig overeen met de resultaten van casus 4A en 4B.

Interpretatie analyses

Uit testcase 4C komt geen aanvullende informatie ten opzichte van casus 4A.

5.5.12 Conclusies testcase 4C

Tygron, D-HYDRO en 3Di kunnen grondwaterstroming meenemen. De overige pakketten bieden deze functionaliteit niet. De testcasus en de resultaten geven onvoldoende basis om een absolute uitspraak te doen of grondwaterstroming ook correct wordt berekend.

5.6 TESTCASE 5: STROMING IN BUIZEN

Deze testcase gaat over stroming in buizen onder druk. Deze testcase is een opmaat voor case 6. Het volgt het voorbeeld van Casulli en Stelling (2013). Een drukleiding verbindt twee grote reservoirs met elk een constant waterniveau: zie [figuur 5.15](#).

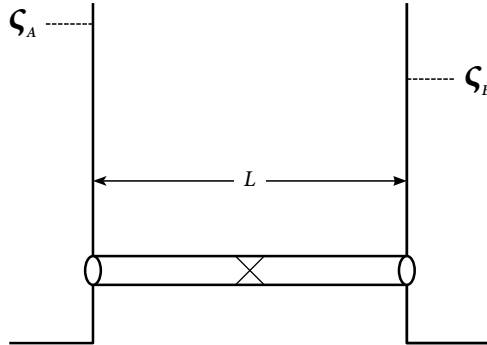


FIG 5.15 Schematisatie van testcase 5, stroming in buizen

Bij $t=0$ gaat de klep in de wrijvingsloze buis in een keer open. Elk reservoir heeft een waterniveau dat constant wordt gehouden, zodanig dat er een meter waterstandsverschil is. De lengte (L) van de buis is 400m en zijn rechthoekige vorm heeft een oppervlak van 1m^2 . In het midden van de buis zit een afsluiter die dicht staat. Bij $t=0$ opent de afsluiter helemaal onder de aanname dat de buis weerstandsloos is en weerstandsverliezen alleen optreden bij de uitstroom van de buis richting het reservoir.

De details van testcase 5 komen uit (Casulli V. S., 2013).

5.6.1 Doel testcase 5

Het doel van deze casus is inzicht te krijgen in het verloop van de afvoer richting de stationaire toestand (Bernoulli) die zich moet instellen. Uit dit verloop kan mogelijk worden afgeleid hoe de modelcode numeriek de gegeven problematiek oplost, bijv. met een Preissmann-slot.

5.6.2 Instellingen modelcodes testcase 5

[Tabel 5.9](#) toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waarden dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.9 Instellingen modelcodes testcase 5

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Niet uitgevoerd (geen functionaliteit voor 1D leidingen)
D-HYDRO	Geen
3Di	Waterstandsrand gebruikt
InfoWorks ICM	$N=0.00001$ gebruikt (minimum) Boundary constant level 1m difference na 1 uur.
HEC-RAS	2 bassins van 2ha
SOBEK2	2 bassins van 4 ha Rekenpunt elke 10 m Contractie-coëfficiënt onderlaat 999. Chezy 10000

5.6.3 Resultaten testcase 5

Figuur 5.16 en figuur 5.17 tonen de resultaten van de bekeken modelcodes in testcase 5.

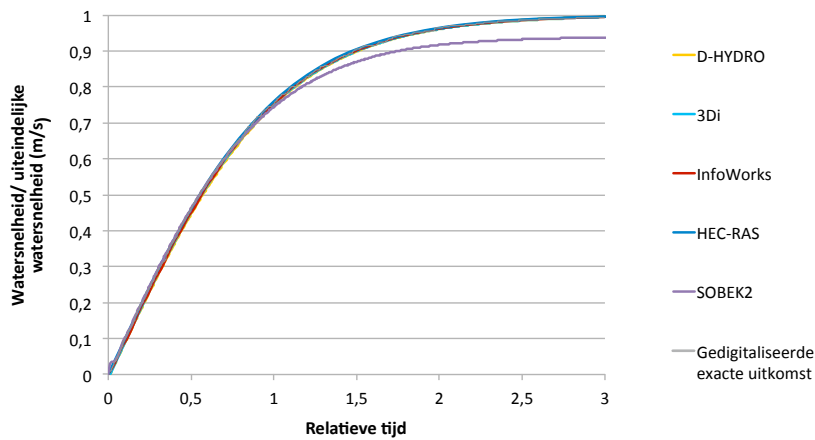


FIG 5.16 Resultaten testcase 5, watersnelheid

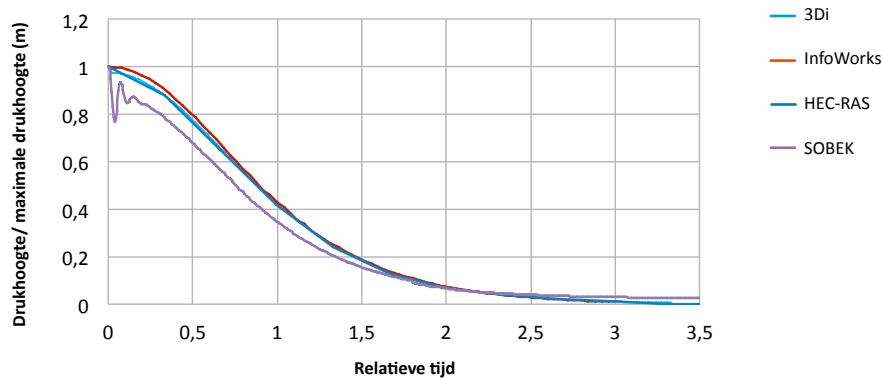


FIG 5.17 Resultaten testcase 5, drukhoogte

NB D-HYDRO heeft (nog) niet de functionaliteit om de benodigde gegevens voor [figuur 5.17](#) direct uit het model te halen. Tygron heeft deze casus niet uitgevoerd omdat stroming door leidingen nog niet in het programma zit.

Visuele analyse resultaten testcase 5

3Di, D-HYDRO, HEC-RAS en InfoWorks ICM lossen testcase 5 op het oog foutloos op. InfoWorks ICM en HEC-RAS hebben ervoor gekozen om de som te maken zonder Preismannslot, iets wat kan als een leiding altijd gevuld blijft. Het verschil in beginhoogte is omdat in InfoWorks ICM op $x=0\text{m}$ de resultaten zijn geëxporteerd, terwijl dit eigenlijk op $x=10\text{m}$ had moeten zijn. SOBEK2 kan deze testcase niet volgen omdat het onmogelijk blijkt te zijn weerstandsloos te rekenen aan de instroomkant van de buis. Dit is volgens DELTARES een onvolkomenheid in de numerieke solver en die hangt samen met de manier waarop de advectieve termen worden afgehandeld wanneer een groot doorstroomd oppervlak sprongsgewijs verkleint.

Interpretatie analyses

Alle pakketten functioneren zoals verwacht. Alleen in SOBEK2 is een beperking gevonden in de afhandeling van de instroomverliezen.

5.6.4 Conclusies testcase 5

InfoWorks ICM, HEC-RAS, 3Di en D-HYDRO hebben geen problemen met het uitvoeren van deze testcase. Bij SOBEK2 is een onvolkomenheid in de numerieke solver aan het licht gekomen. Of dit in de praktijk tot foutieve resultaten kan leiden, kan over worden gediscussieerd (hoe vaak verkleint een groot doorstroomd oppervlak sprongsgewijs zonder weerstandsverliezen?), maar is niet uitgesloten.

5.7 TESTCASE 6: V-VORM MET BUIS

Voor deze casus gaan we terug naar [figuur 5.7](#), de V-vorm zonder helling/knik. Alleen de uitstroomopening verschilt van testcase 2. Het diepste punt op het eind is verbonden met een buis, zie [figuur 5.18](#).

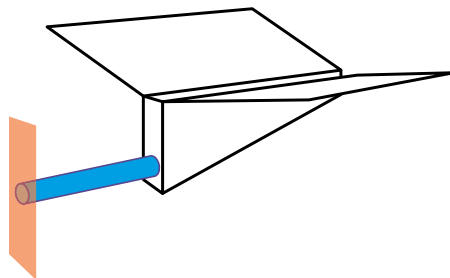


FIG 5.18 Schematisatie hydraulisch model voor testcase 6

De buis heeft dezelfde parameters als in de testcase 5, maar in dit geval met een Manning van $n=0.01$. Het instroomniveau van de buis is 0.5m boven de bodem. Benedenstrooms ligt de kruin van de buis 1 meter onder het wateroppervlak dat constant wordt gehouden. De afsluiter wordt geopend als het bovenstrooms waterniveau 0.5m boven het benedenstroomse waterpeil ligt. De afsluiter gaat dicht wanneer het waterniveau 0.1m boven het benedenstroomse waterniveau komt. Het bodemoppervlak wordt beschouwd als ondoorlatend.

5.7.1 Doel testcase 6

Het doel van deze casus is om aan te tonen of de modelcode in staat is een gekoppelde 1D/2D-modelschematisatie met succes en numeriek stabiel door te rekenen. Daarnaast wordt bekeken of de modelcode de gevraagde sturing juist kan toepassen.



5.7.2 Instellingen modelcodes testcase 6

Tabel 5.10 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaard waardes dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.10 Instellingen modelcodes testcase 6

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Niet uitgevoerd (geen functionaliteit voor 1D leidingen)
D-HYDRO	Niet uitgevoerd (geen functionaliteit voor de gevraagde sturing)
3Di	Waterstandsrand gebruikt
InfoWorks ICM	Maximum triangle size 400 m ² (geen minimum verstrekt) 2D Depth/momentum tolerance 0.0001 Boundaries: vertical wall 2D slope correction parameter used Rainfall smoothing off Conduit uses forcemain solution Maximum space step 10m Link 1D and 2D Calculations at minor timesteps selected 2D outfall, 1D-2D linkage set to 'Elevation' Inflow based node 2d-link option deselected Drop inertia in pressure pipes deselected Sluice discharge coefficient: 10
HEC-RAS	Buis geschematiseerd als een peilgestuurde gate met afvoercoëfficiënt van 0.55. De buis bevat dus geen lengte in de schematisatie Convergentiecriteria verkleind naar 0.1 mm Toleranties rekenrooster verkleind tot 1 mm
SOBEK2	1D tak toegevoegd aan case 2 Interval controller gebruikt (RTC) met dode band

5.7.3 Resultaten testcase 6

Figuren 5.19A en B tonen de resultaten van de bekeken modelcodes in testcase 6.

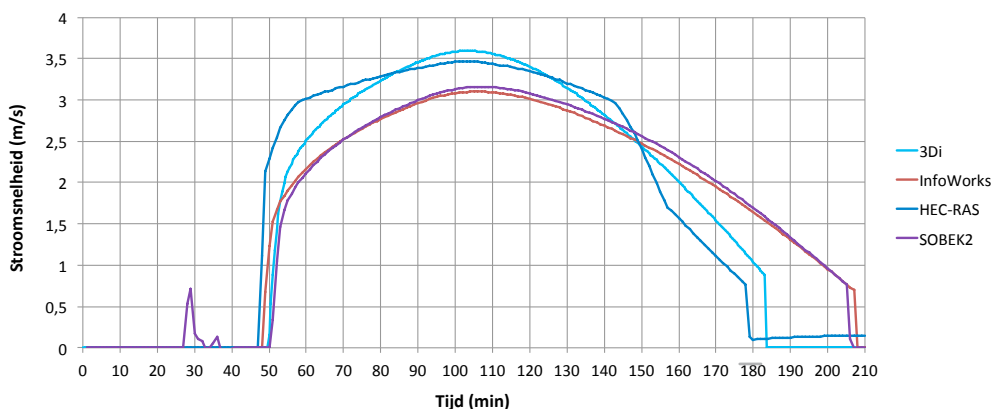


FIG 5.19^A Resultaten testcase 6. Stroomsnelheid in de buis

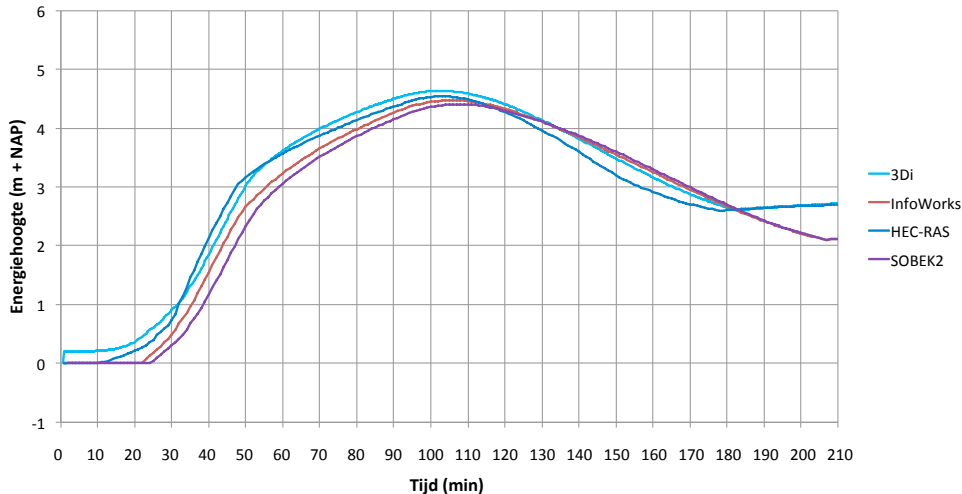


FIG 5.19^B Resultaten testcase 6. Energiehoogte instroomzijde buis

Visuele analyse resultaten testcase 6

Er is een duidelijk (verwacht) verband tussen de energiehoogte aan de instroomzijde en de stroomsnelheid in de buis. De energiehoogte aan de uitstroomzijde wordt immers constant gehouden. Bij alle modellen is de sturing duidelijk te zien. Opvallend is het feit dat SOBEK2 al stroming laat zien direct op het moment dat de waterstand gaat stijgen. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat de afsluiter op $t=0$ open staat in plaats van dicht.

Een ander opvallend aspect is dat de resultaten van SOBEK2 en InfoWorks ICM sterk op elkaar lijken, maar dat die van 3Di en HEC-RAS afwijken. HEC-RAS vertoont daarnaast een wat schokkerig verloop.

Interpretatie analyses

Duidelijk is dat er verschillende weerstanden over leiding en afsluiter worden berekend. Het is daarnaast zeer waarschijnlijk dat er verschillen optreden in de afhandeling van een overgang tussen 1D en 2D elementen van de modelcodes. Niet geheel onverwachts, elke modelleur weet dat deze overgangen kritiek zijn ook in een goed model. Pijnpunt daarbij is dat in berekeningen in stedelijk gebied bijvoorbeeld het energieverlies in kolken zeer relevant is. Hoe deze verschillen geïnterpreteerd moeten worden, vraagt een nadere analyse en beschikbaarheid van meer informatie dan in deze benchmark voorhanden is.

5.7.4 Conclusies testcase 6

Er zijn onvoldoende gegevens op dit moment om sluitende conclusies te trekken wat betreft casus 6. Hiervoor zouden de bronbestanden van de berekeningen bestudeerd moeten worden.

In alle pakketten is te zien dat de gate (schuif) wordt geopend en gesloten. Het openen kan worden geconcludeerd aan de hand van een knik in de stijgsnelheid van de waterhoogte, en het sluiten aan de hand van de weer oplopende waterhoogte in de staart van de grafiek. Alle vier de pakketten zijn in staat om met realtime control te werken.

5.8 TESTCASE 7: 2D ROOSTER

Testcase 7 is gebaseerd op (Cea, 2015). De testcase is gebaseerd op een experiment met een bathymetrie als gepresenteerd in *figuur 5.20*. De wanden zijn 5 centimeter breed. In deze test wordt het ondiepe water gebruikt om de hydrograaf gebaseerd op een uniforme neerslaghoe-

veelheid op een simpel 2D rooster te simuleren. Het numerieke resultaat wordt vergeleken met experimentele data afkomstig uit een laboratoriumtest. Deze test is speciaal uitgevoerd voor de validatie van het 2D model. Het modelresultaat van drie verschillende neerslagintensiteiten over dezelfde geometrie zijn gepresenteerd in het artikel van (Cea, 2015).

De geometrie bestaat uit een rechthoekig bassin gemaakt van drie platen roestvrij staal, elk met een verhang van 0.05 m/m (figuur 5.20). De dimensies van het bassin zijn 2 bij 2,5 meter. Er zijn twee wanden die de tijd van concentratie verhogen van het bassin en daarmee de lengte van de uitstroom hydrograaf beïnvloeden. Neerslag is gesimuleerd met een rooster evenredig verspreid over het bassin. De enige variatie die is gemeten in het experiment is de uitstroom hydrograph en wordt gebruikt om het numerieke resultaat te valideren.

Voor de testcase 7 zijn drie cases gemodelleerd, die corresponderen met drie verschillende neerslagintensiteiten. In testcase 7A is de neerslagintensiteit 317 mm/uur gedurende 45 seconden. In case 7B heeft de neerslag een intensiteit van 320 mm/uur gedurende 25 seconden, deze stopt 4 seconden en dan start hij weer voor 25 seconden met dezelfde intensiteit. Case 7C is gelijk aan 7B, maar de neerslag stopt voor 7 seconden en de intensiteit van de neerslagintensiteit is 328 mm/uur.

5.8.1 Doel testcase 7

Het doel van het gevolgde onderzoek is, zoals gezegd, om het 2D model te valideren. Er treden verschillende veranderingen in stromingsrichting op (zie als voorbeeld figuur 5.21).

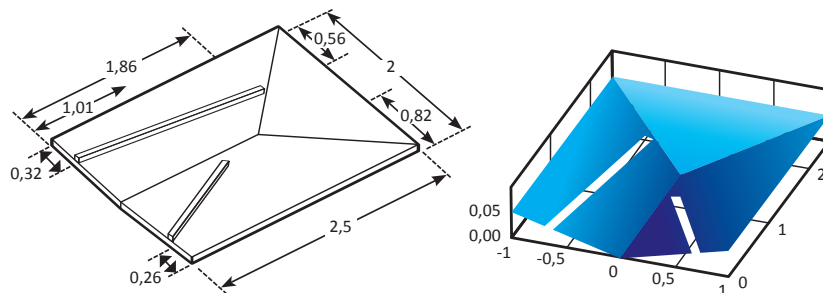


FIG 5.20 Opzet van de 2D experimenten met drie platen (Cea, 2015)

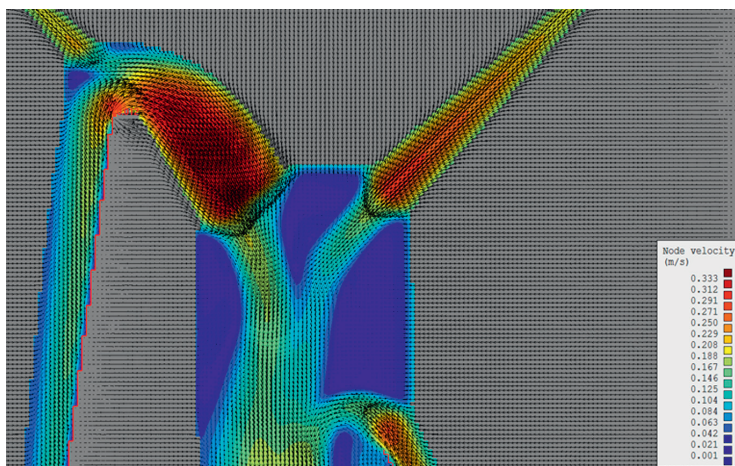


FIG 5.21 Snelheidsveld case 7C na 50 s, op een ogenblik dat het regent (D-HYDRO)

5.8.2 Instellingen modelcodes testcase 7

Tabel 5.11 toont de instellingen in de modelcodes afwijkend aan de standaardwaardes dan wel dusdanig belangrijk dat deze gemeld zijn.

TABEL 5.11 Instellingen modelcodes testcase 7

Pakket	Afwijkende parameters/ gemelde parameters
Tygron	Niet uitgevoerd (in theorie zou dit wel met Tygron kunnen omdat het experiment te schalen is, maar Tygron stelt dat de modelcode niet voor dit soort detailberekeningen is bedoeld)
D-HYDRO	Geen
3Di	Sommerfeld rand Threshold voor stroming laag gezet.
InfoWorks ICM	Terrain sensitive meshing used. Walls represented as void polygons. 2D Depth/momentum tolerance set to 0.0001m. Boundary condition for 2D zone: Normal Condition 2D Slope Correction parameter used
HEC-RAS	Rooster resolution: 2 cm Initial water depth: 0 cm Governing equations - Shallow Water Equations Time step 0.025 s Implicit weighting factor 0.6 Water Surface Tolerance 1×10^{-5} m Volume Tolerance 1×10^{-5} m Mixing coefficient (SWE only) 0.2
SOBEK2	Aangepaste wetting threshold van 0.0001 m

5.8.3 Resultaten testcase 7

Figuur 5.22, figuur 5.23 en figuur 5.24 geven de resultaten van respectievelijk de testcases 7A, 7B en 7C.

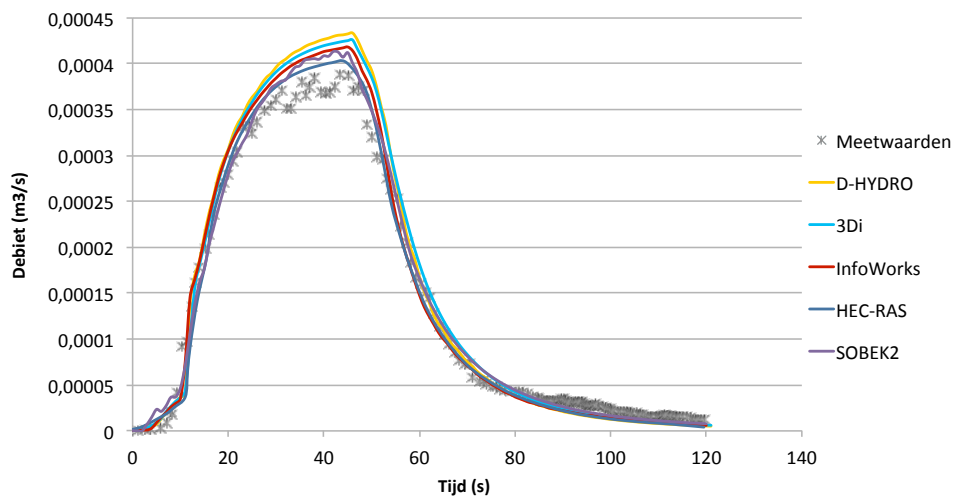


FIG 5.22 Resultaten testcase 7A

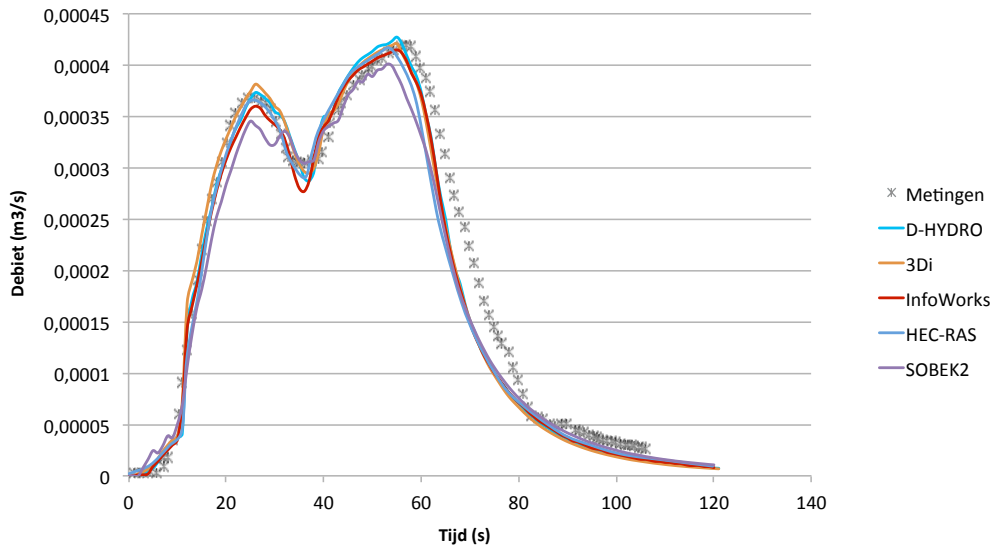


FIG 5.23 Resultaten testcase 7B

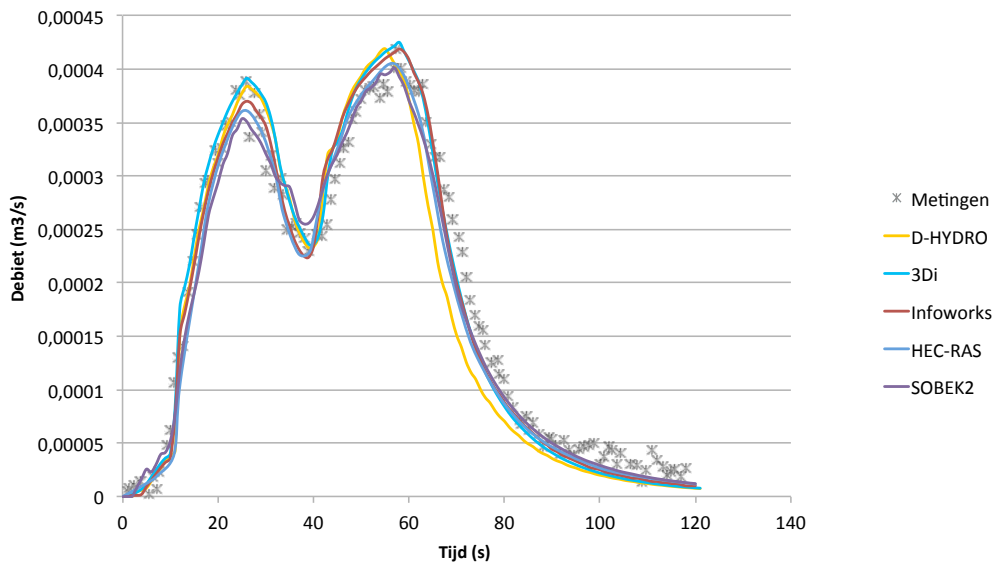


FIG 5.24 Resultaten testcase 7C

Visuele analyse resultaten testcase 7

Vrijwel alle modelcodes leveren vergelijkbare resultaten. Zowel in casus 7B als 7C zijn de metingen enigszins beïnvloed door het achterblijven van druppels in de sproeiinstallatie die op het einde nadruppelden. Dit verklaart waarom in alle modellen de waterstand na de 'bui' sneller daalt. Drie aspecten vallen erop:

- SOBEK2 lijkt lastig om te kunnen gaan met de beperkte schaalgrootte. Er zijn geen absolute afwijkingen, maar het model oogt niet helemaal stabiel ('schommelingen').
- HEC-RAS vertoont op het oog geen afwijkende resultaten, in tegenstelling tot de eenvoudigere casussen.
- In casus 7C heeft D-HYDRO een tijdsverschuiving bij de tweede piek.

Interpretatie analyses

SOBEK2 heeft moeite met de gegeven schaalgrootte vanwege de standaard gebruikte wetting threshold die significant wordt op deze schaal. De cellen 'laden' zich op tot een waterdiepte van 1 mm en geven daarna het water in één keer af. Dit kan leiden tot instabiliteiten. In de praktijk zal dit aspect echter een ondergeschikte rol spelen. De verschillen tussen de overige pakketten zijn zeer klein, met uitzondering van casus 7C waar D-HYDRO een kleine tijdsverschuiving laat zien. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een foutje in de invoer van de neerslag.

5.8.4 Conclusies testcase 7

Alle modellen die meededen aan testcase 7 vertonen een goed functionerend 2D-model.

5.9 OVERKOEPELENDE CONCLUSIES EN OBSERVATIES

5.9.1 Inhoudelijke conclusies

In de testcases is heel specifiek uitgezocht of de deelnemende modellen op een goede, numeriek stabiele, manier ondiepe stromingen over maaiveld kunnen uitrekenen. Alleen HEC-RAS voldoet hieraan op dit moment niet geheel, waarbij het aannemelijk is dat de onvolkomenheid die dit veroorzaakt in de volgende update wordt gecorrigeerd. Tygron functioneert goed voor het doel waarvoor het gemaakt is (snelle 2D-berekeningen van inundatie voor een eerste indruk van risico's of gevolgen, niet voor ontwerpen). In SOBEK2 zijn enkele onvolkomenheden gevonden, waarvan het onwaarschijnlijk is dat deze in dagelijks gebruik een beperking gaan vormen. [Tabel 5.12](#) toont welke modelcodes zich hebben bewezen voor de verschillende geteste aspecten.

➤ Overkoepelend kan worden gezegd:

De bekeken modelcodes geven dusdanig gelijkwaardige resultaten in de testbank dat het rekenhart qua nauwkeurigheid over het algemeen niet de doorslag zal geven bij het maken van een keuze.

NB: De uitgevoerde testcasussen geven een goed beeld van de geschiktheid van de rekenharten voor verschillende type berekeningen. Hoe deze geschiktheid zich vertaalt naar meer complexere berekeningen waar verschillende aspecten worden gecombineerd valt echter minder goed uit de casussen te halen. Altijd blijft gelden dat de modelleur kritisch naar de resultaten moet blijven kijken.



TABEL 5.12 Geteste functionaliteiten

Modelcode	2D stroming (sheet-flow)	Ponding	Infiltratie	Grondwater -stroming	1D-stroming volledig gevulde leiding	Real Time Control
HEC-RAS	Met aandacht voor sheetflow	Ja	Nee	Nee	Ja (met omweg)	Ja
InfoWorks ICM	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja
Tygron	Voor algemene indruk, niet voor ontwerp	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
SOBEK2	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja (met aandacht voor intreeverliezen)	Ja
3Di	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
D-HYDRO	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee (niet voor onder- zochte sturing)

In [tabel 5.13](#) is een overzicht gegeven van de casussen en of de modelcodes de casus (goed) hebben uitgevoerd.

TABEL 5.13 Overzicht uitgevoerde casussen

Model-/casus	Getest:	Tygron	D-HYDRO	3Di	InfoWorks ICM	HEC-RAS	SOBEK2
1	Ondiepe 2D-stroming vanuit 1 richting	●	●	●	●	●	●
2	Ondiepe 2D-stroming samenkomend uit 2 richtingen + diepere 2D-stroming	●	●	●	●	●	●
3	Ondiepe 2D-stroming niet loodrecht op grid	●	●	●	●	▼	●
4a	Wateraccumulatie	●	●	●	●	●	●
4b	Infiltratie	●	●	●	●	■	●
4c	Grondwaterstroming	●	●	●	■	■	■
5	1D-stroming volledig gevulde buis	■	●	●	●	●	●
6	1D-2D koppeling	■	■	●	●	●	●
7a	Ondiepe 2D-stroming met richtingsveranderingen	■	●	●	●	●	●
7b	Idem met andere neerslag	■	●	●	●	●	●
7c	Idem met andere neerslag	■	●	●	●	●	●

● Goed uitgevoerd
 ▼ Uitgevoerd met significante afwijkingen
 ■ Niet uitgevoerd

5.9.2 Observaties testbank proces

Het proces om te komen tot een bruikbare testbank bleek verschillende haken en ogen te kennen. Gedurende de tijd kwamen partijen telkens met nieuwe rekenresultaten waarbij de resultaten van de verschillende modelcodes steeds dichterbij elkaar kwamen te liggen. In het proces bleek daarnaast zeer duidelijk dat onvolkomenheden bij het modelleren tot fouten kunnen leiden die (veel) groter zijn dan de verschillen in de rekenharten van de modelcodes.

De inspanningen door de verschillende partijen om te komen tot goede resultaten in de testbank bleken onderschat. Dit had zijn invloed op de doorlooptijd van het project.

Iets anders wat genoemd moet worden is dat de testbank niet naar alle aspecten van inundatieberekeningen kijkt. Bijvoorbeeld de geschiktheid voor het doorrekenen van een dijkdoorbraak is niet geanalyseerd.

Verder is gebruik gemaakt van een 'theoretische testbank' en niet naar een praktijksituatie waarbij wateroverlast opgetreden is.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

De Stichting Toegepast Onderzoek Water (STOWA) wil graag voor opdrachtgevers en adviesbureaus duidelijkheid verschaffen over de mate van bruikbaarheid van de verschillende modelcodes voor wateroverlast-modellering. In deze rapportage 'Modelfunctionaliteiten en testbank berekeningen' zijn verschillende modelcodes die in Nederland gebruikt worden voor het maken van inundatiemodellen met elkaar vergeleken. Dit is op twee manieren gedaan:

- 1) Er is gekeken naar de functionaliteiten van de modelcodes op basis van een uitgebreide functionaliteitenlijst.
- 2) De nauwkeurigheid van de modelcodes is getoetst op basis van een testbank, d.w.z. de resultaten van de modelcodes zijn geëvalueerd voor een aantal eenvoudige en nauwkeurig beschreven voorbeelden waarvan de uitkomsten bekend of voorspelbaar zijn.

Op basis van de testcasussen toont [tabel 6.2](#) de geschiktheid van de modelcodes voor verschillende aspecten van inundatieberekeningen.

TABEL 6.1 Ordening modelcodes op basis van enquêteresultaten

		SOBEK2	3Di	D-HYDRO	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	Tygron	WOLK
Compleetheid	Weinig							●	●
	Redelijk					●	●		
	Veel	●	●	●	●				
GUI	Geen						●		●
	Modules Integraal	●	●	●	●	●		●	
Helpdesk	Nee					●			●
	Ja	●	●	●	●		●	●	
Kosten	Nee					●	●		
	Ja	●	●	●	●			●	●
Open Source	Nee	●	●		●	●		●	●
	Ja			●			●		
Modelbouw en modelgebruik mogelijk door derden	Nee								●
	Ja	●	●	●	●	●	●	●	

TABEL 6.2 Functionaliteiten modelcodes volgend uit de testbank cases

Modelcode	2D stroming (sheet-flow)	Ponding (plasmvorming)	Infiltratie	Grondwater -stroming leiding	1D-stroming volledig gevulde	Real Time Control
HEC-RAS	Grotendeels	Ja	Nee	Nee	Ja (met omweg)	Ja
InfoWorks ICM	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja
Tygron	Deels	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
SOBEK2	Ja	Ja	Nee	Nee	Grotendeels	Ja
3Di	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
D-HYDRO	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee (niet voor gevraagde sturing)

In iets meer detail zijn de bevindingen dat:

- 3Di, InfoWorks ICM en D-HYDRO vergelijkbare, nauwkeurige resultaten opleveren;
- SOBEK2 nog een paar onvolkomenheden kent, die zich manifesteren op het kleine schaalniveau van de testbank, maar verder nauwkeurig functioneert;
- HEC-RAS in deze versie een onvolkomenheid bij zeer ondiepe waterstromen vertoont;
- Het rekenhart van Tygron goed functioneert, met de aantekening dat dit rekenhart niet bedoeld is om perfecte resultaten te leveren voor complexe 2D-berekeningen met lokaal sterke hoogteverschillen. Om deze reden heeft Tygron ook niet meegedaan in testcasus 7.

Het feit dat er onvolkomenheden in modelcodes zijn gevonden in deze benchmark, waaraan leveranciers kunnen werken voor een volgende update of in de communicatie is een belangrijke bijvangst.

De resultaten van de testbank geven, behalve wellicht voor HEC-RAS, geen directe aanleiding om één modelcode boven de andere te verkiezen. Deze conclusie volgde overigens ook uit de benchmark die was uitgevoerd in opdracht van de UK Environmental Agency in 2013 en is daarmee niet onverwacht. Hieruit blijkt ook dat de nauwkeurigheid waarmee een werkelijke wateroverlast-situatie wordt gemodelleerd niet zozeer afhangt van de gebruikte modelcode, maar van:

- 1) de kwaliteit van de gegevens die er van het gemodelleerde gebied aanwezig zijn;
- 2) de kwaliteiten van de modelleur.

Wat bij de vergelijking opvalt is dat de modelcode van Tygron zich onderscheidt van de andere modelcodes. Dit heeft zowel te maken met de compleetheid als de gebruikskenmerken. De modelcode van Tygron biedt namelijk (op dit moment) geen functionaliteiten voor 1D open water, 1D gesloten leidingen, waterkwaliteit en complexe stromingen over oppervlak, maar heeft wel een geavanceerde grafische gebruikersinterface en biedt het de mogelijkheid instantaan rekenresultaten te genereren.

Verder valt op dat er meerdere modelcodes zijn die een zeer compleet palet aan rekenmogelijkheden bieden. Met name 3Di, SOBEK2 en InfoWorks ICM zijn op dit moment geschikt voor integrale berekeningen aan riolering en oppervlaktewater. D-HYDRO werkt er aan om ook deze functionaliteiten op korte termijn te gaan bieden.



6.2 AANBEVELINGEN

De conclusies uit deze benchmark leiden tot de aanbevelingen om bij inundatiemodellering altijd:

- 1) te zorgen voor gegevens van een goede kwaliteit. Het is dus zaak om als waterschap/opdrachtgever een database te hebben met daarin goede informatie over o.a. maaiveldhoogten, waterlopen (dimensies en ligging), kunstwerken, bodemgebruik en bodemopbouw, neerslaggegevens en afvoeren;
- 2) bij een aanbesteding de kwaliteit van de beoogde modelbouwer/modelleur in het project mee te wegen, door te kijken naar ervaring, publicaties etc.

De keuze van een modelcode zal met name afhangen van de functionaliteiten die gewenst zijn. De gewenste functionaliteiten op hun beurt hangen weer af van het specifieke doel van het inundatiemodel.

Tot slot: de resultaten van de enquête en de testbank zijn een momentopname (juni 2017). De functionaliteit en de nauwkeurigheid van de modelcodes veranderen in de tijd. Het ligt daarom voor de hand om de testbank en de spreadsheet met functionaliteiten tot levende documenten te maken, opdat nieuwe modelcodes kunnen participeren en bestaande modelcodes de resultaten kunnen updaten. STOWA kijkt naar de mogelijkheden om dit te realiseren.

7. BIBLIOGRAFIE

- Ajami, N.D. (2005). Multi-Model Combination techniques for Hydrological Forecasting: Application to Distributed Model Intercomparison Project Results. *Journal of Hydrometeorology*.
- Battjes, J.L. (2017). *Unsteady flow in open channels*. Cambridge University Press.
- Casulli, V.S. (2011). Semi-implicit subgrid modelling of three-dimensional free-surface flows. *INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS*, 67:441–449.
- Casulli, V.S. (2013). A semi-implicit numerical model for urban drainage systems. *INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS*, 73:600–614.
- Cea, L.P. (2015). HYDROLOGIC FORECASTING OF FAST FLOOD EVENTS IN SMALL CATCHMENTS WITH A 2D-SWE MODEL. NUMERICAL MODEL AND EXPERIMENTAL VALIDATION. *Urban Water Journal*.
- Di Giammarco, P.T. (1996). A Conservative Finite Elements Approach To Overland Flow: The Control Volume Finite Element Formulation. *Journal of Hydrology*, 175: 267-291.
- Engineers Australia (2012). AUSTRALIAN RAINFALL AND RUNOFF, REVISION PROJECT 15: TWO DIMENSIONAL MODELLING IN URBAN AND RURAL FLOODPLAINS. Barton: Engineering House.
- Environment Agency (2009). *Desktop review of 2D hydraulic modelling packages*. Bristol: Environment Agency.
- Environment Agency (2013). *Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages*. Bristol: Environment Agency.
- Kling, H.F. (2012). Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 424–425: 264–277.
- Stelling, G. (2012). Quadtree flood simulations with sub-grid DEMs. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Management* 165, pp. 567-580.
- Toro, E. (1999). *Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics*. Springer.
- Vanderkimpen, P.M. (2008). Flood modeling for risk evaluation - a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study. *Proceedings of the European Conference on Flood Risk Management Research into Practice* (pp. 77-84). Oxford, Engeland: Taylor & Francis: London.
- Vreugdenhil, C. (1989). *Computational Hydraulics*. Springer.
- Vreugdenhil, C. (1994). *NUMERICAL METHODS FOR SHALLOW WATER FLOW*. Dordrecht: Springer Science+Business Media.

BIJLAGE 1 VRAGENLIJST MODELFUNCTIONALITEITEN

STOWA BENCHMARK 2017

Specificatielijst per softwarepakket / Product Suite

	Onderdelen	aantal vragen
1	Algemene kenmerken	31
2	Rekenharteigenschappen & rekenhartfunctionaliteiten	60
3	Invoer, uitvoer en databeheer	25
4	User interface & visualisatie	47
	Totaal	163

De vragenlijst modelfunctionaliteiten staat in de bijlage bij dit rapport. De meest recente ervan zijn als excel sheet te vinden op stowa.nl bij de publicatie 2017-34 'Benchmark inundatiemodellen'.

1. ALGEMENE KENMERKEN VAN HET SOFTWAREPAKKET

Nr	Vraag	SOBEK 2 Suite	3Di	D-HYDRO Suite
1,01	Wat is de naam van het softwarepakket?	SOBEK 2 Suite	3Di	D-HYDRO Suite
1,02	Wat is het huidige versie- of releasesnummer?	2.15.003	3.29.0	D-HYDRO Suite 2016.2 (FM kernel 1.1.198.48807)
1,03	Welke versie- of releasesnummer is gebruikt bij de STOWA benchmark studie?	2.14.001	2.32.0 ¹	D-HYDRO SUITE 2017 RC1 (FM kernel 1.1.200.48641M)
1,04	Wat is de naam van de ontwikkelorganisatie(s)?	Deltares	Stelling Hydraulics, Nelen & Schuurmans, Deltares	Deltares
1,05	Wat is het land van herkomst?	Nederland	Nederland	Nederland
1,06	Binnen ca. hoeveel organisaties wordt het toegepast?	1000+ ¹	30	1000+ ¹
1,07	In welk jaar is het voor het eerst op de markt gebracht?	1993 ²	2013	2015 ²
1,08	Wordt het ook buiten Nederland toegepast?	ja	ja	ja
1,09	zo ja, in ca. hoeveel verschillende landen wordt het toegepast?	50	10	140
1,10	Is het Open Source?	nee	nee ²	ja
1,11	In geval van Open Source, onder welke licentie?		GPL	GNU AGPL
1,12	Is het gratis beschikbaar?	nee	nee	ja
1,13	Bestaat het softwarepakket uit verschillende los verkrijgbare modules?	ja	nee	ja
1,14	Zijn eenmalige licentiekosten van toepassing?	ja	nee	nee
1,15	Zijn abonnementskosten van toepassing op draaien van de software?	nee	ja	nee
1,16	Zijn abonnementskosten van toepassing op opslaan van de modelschematisaties?	nee	nee	nee
1,17	Is er een verplicht support & maintenance contract?	ja ³	nee	nee ³
1,18	is het installeerbaar als lokale desktop applicatie?	ja	nee	ja
1,19	Is het beschikbaar als web of cloud toepassing?	nee	ja	ja ⁴
1,20	Is er technische documentatie beschikbaar?	ja	ja	ja
1,21	- zo ja, in welke talen is deze beschikbaar?	Engels	Nederlands	Engels
1,22	- uit hoeveel pagina's bestaat deze documentatie?	1112	47	162
1,23	Is er een gebruikershandleiding beschikbaar?	ja	ja	ja
1,24	- zo ja, in welke talen is deze beschikbaar?	Engels	Nederlands	Engels
1,25	uit hoeveel pagina's bestaat deze documentatie?	853	45	410
1,26	Zijn er standaard tutorials beschikbaar voor een gebruiker?	ja	ja	ja
1,27	Is er een validatiedocument?	ja ⁴	ja ³	ja
1,28	- zo ja, uit hoeveel pagina's bestaat deze documentatie?	42	nvt (digitale testbank)	308
1,29	- hoeveel validatie cases zijn opgenomen in het validatiedocument?	474	237	53

InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
v7.5.2	5,03	V7p2	46570	2017	nvt
ICM 7.0.2 of later	5,03	v7p2	46570	2017-test	nvt
Innovyze	US Army Corps of Engineers	TELEMAC Mascaret community (diverse organisaties)	WEnR en Deltares	Tygron	Tauw
UK	Verenigde Staten	'Diversen; Frankrijk, Engeland, Duitsland - open source ontwikkeling'	Nederland	Nederland	Nederland
Wereldwijd waren er op 7/6/2017 2931 actieve licenties voor ICM	500	onbekend	10	6	1
2010 ¹	1995	1991	1989	2017	2012
ja	ja	ja	ja	nee	ja
48	50	over de hele wereld, onbekend in welke landen	10		10
nee	nee	ja	nee	nee	nee
nee		GPL & BIEF Library under LGPL			
nee	ja	ja	ja	nee	nee
ja ²	nee	ja	ja	ja	nee
ja	nee	nee	nee	nee	nee
nee	nee	nee	nee	ja	nee
nee	nee	nee	nee	ja	nee
ja ³	nee	nee	nee	ja	nee
ja	ja	ja	ja	nee	nee
ja	nee	nee	nee	ja	nee
ja	ja	ja	nee	ja	nee
Engels ⁴	Engels	Engels, Frans, soms Nederlands (niet alles)		Engels	nvt
nvt ⁵	2000	er is een forum en diverse bestanden		200	nvt
ja ⁶	ja	ja	ja	ja	nee
Engels	Engels	Engels	Engels	Engels	nvt
Indien geprint naar PDF, beslaat de handleiding 3625 pagina's	960	diverse, afhankelijk van pakket	300	22	nvt
ja ⁷	ja	ja	nee	nee	nee
nee ⁸	nee	ja	ja	nee	nee
nvt		178	116		nvt
nvt ⁹		23	21		nvt

VERVOLG VOLGENDE PAGINA

VERVOLG ALGEMENE KENMERKEN VAN HET SOFTWAREPAKKET

Nr	Vraag	SOBEK 2 Suite	3Di	D-HYDRO Suite
1,30	Is er een helpdesk of support desk vanuit de ontwikkelaar beschikbaar?	ja	ja	ja
1,31	Is er een online user community?	nee	nee ⁴	ja

InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
ja ⁹	nee	ja	ja	ja	nee
ja ¹⁰	ja	ja	nee	ja	nee

Commentaar

- SOBEK 2 Suite ¹ o.b.v. supportcontracten. Free Trial Copy wordt door 10.000+ gebruikt.
² SOBEK (sinds 1993) is de opvolger van ZWENDL en WENDY.
³ Eerste jaar verplicht, daarna niet.
⁴ Voor intern gebruik m.b.t. automatisch testen (TeamCity)
- 3Di ¹ Dit is een beta release.
² De interface is wel open source, aan eind van het jaar komt er een open source versie van het rekenhart.
³ In de vorm van een testbank die continu wordt gemonitord.
⁴ Er is wel een gebruikersgroep.
- D-HYDRO Suite ¹ o.b.v. supportcontracten. Binnen open source community 14000+ gebruikers.
² De D-HYDRO Suite (sinds 2015) is de opvolger van (1) Simona (Waqua, Triwaq), (2) Delft3D 4, (3) Duflow, (4) SOBEK-Rural/Urban/River en (5) SOBEK-RE voor toepassing op de Nederlandse markt. Deze suite is gebaseerd op een rijke historie sinds de eerste Rijkswaterstaat (RWS) modellen uit 1968.
³ Niet verplicht, wel beschikbaar: voor gevalideerde software releases.
⁴ Via het MyDeltares platform Bij Amazon, Azure en andere providers (beta)
- InfoWorks ICM ¹ Voortbouwend op equivalente software die onder ander merknamen werden verdeeld door dezelfde organisatie sinds 1990: Sphyda, Spida, Hydroworks, Infoworks CS
² Er is zowel een ICM Viewer, ICM Sewer Edition en ICM Full Edition beschikbaar.
³ Enkel voor het eerste jaar van aankoop. Na 1 jaar kan het onderhoudscontract verlengd worden.
⁴ Basic support in het Nederlands en Frans door Inneautech, certified Benelux distributor
⁵ Dit is in de vorm van een Webpage
⁶ Er zijn helppagina's beschikbaar
⁷ Enkel bij het volgen van een opleiding
⁸ Er zijn interne testregimes, die regelmatig plaatsvinden gedurende elke ontwikkelingscyclus. Op dit moment bestaat de testdatabank uit 379 runs, maar dit aantal groeit regelmatig.
⁹ support@innovyze.com
¹⁰ http://forums.innovyze.com en http://blog.innovyze.com

HEC-RAS

TELEMAC

SIMGRO

Tygron Engine

WOLK

2. REKENHARTEIGENSCHAPPEN & FUNCTIONALITEITEN

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
	ALGEMEEN			
2,01	Is het systeem geparalleliseerd?		nee	ja
2,02	- zo ja, wat is de (maximale) schaalbaarheid van deze parallelisatie?			implementatie afhankelijk
2,03	Ondersteunt het pakket rekenen op GPU's		nee	nee
2,04	Ondersteunt het pakket koppelingen van het rekenhart via open standaarden?		ja	ja
2,05	- zo ja, welke open standaarden?		OpenMI 1.4	MMI, BMI
2,06	Ondersteunt het rekenhart het draaien van (pauze/interactieve simulaties aanpassen/doorgaan)?		nee	ja ¹
	WATERBEWEGING - HYDRODYNAMICA			
2,07	Zijn de bewegingsvergelijkingen gebaseerd op de hydrostatisch drukaanname?		ja	ja
2,08	Is de numerieke methode massabehoudend?		ja	ja ²
2,09	Is de numerieke methode momentumbehoudend?		ja	ja
2,10	Is er een volledige beschrijving van de gebruikte numerieke methode?		ja	ja
2,11	- zo ja, wat is de referentie van deze beschrijving?		Stelling, G. S.; Duinmeijer, S. P. A. (2003). A staggered conservative scheme for every Froude number in rapidly varied shallow water flows. International Journal for Numerical Methods in Fluids 43 (12), 1329-1354	Casulli 2009, Stelling 2013, Volp et al. Stelling 2015
2,12	Kan de dynamisch druk met de 'pressure Poisson vergelijking' opgelost worden?		nee	nee
2,13	Kunnen dichtheidsverschillen in water meegenomen worden in de bewegingsvergelijkingen?		ja ¹	nee
2,14	In welke dimensies kunnen de hydrodynamische processen worden berekend?	1D (Saint Venant vergelijking) 2D (ondiep water vergelijking) 3D (ondiep water vergelijking)	● ●	● ●
2,15	Welke vereenvoudigde hydrodynamische vergelijkingen kunnen worden toegepast?	Diffusive wave vergelijking Kinematic wave vergelijking routing d.m.v. Q-h relaties Overige (geef nadere toelichting)	● ²	●
	1D HYDRODYNAMICA			
2,16	Welke open profieltypen worden ondersteund?	rechthoekig trapezium YZ (asymetrische vormen) getabelleerd	● ● ● ●	● ● ● ●
2,17	Worden gesloten leidingen ondersteund?		ja	ja ¹
2,18	Kunnen gesloten leidingen doorgerekend worden zonder 'Preissmann slot'?		nee	ja

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
ja	ja	nee	ja	ja	ja	nee
getest tot 100-1000 cores	Enkel een vertraging door het parallel systeem, dewelke afhankelijk is van de pc karakteristieken		- onbekend -	onbekend	oneindig binnen de grenzen van logisch aantal servers dat te koppelen is	
nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
ja	nee	ja	- onbekend -	nee	nee	nee
NetCDF (CF+UGRID), BasicModelInterface		OpenMI			de data die het rekenhart in gaan wel, het rekenhart zelf niet	
ja	ja	nee	nee	nee	ja	nee
ja	ja	ja	ja	ja	nee	nee
ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee
ja	ja	ja	ja	ja	nee	nee
D-Flow Flexible Mesh Technical Reference, Deltares, 2017	Various - Cunge et al (1980) for 1d modelling	Brunner, Gary W., HEC-RAS River Analysis System (februari 2016)	TELEMAC Modelling System: TELEMAC-2D Software Version 3.0 PRINCIPLE NOTE	P.E.V. van Walsum, A.A. Veldhuizen and P. Groenendijk, 2016. SIMGRO 7.2.27, Theory and model implementation. Alterra Report 913.1		
nee	nee	nee	ja	nee	nee	nee
ja	nee	nee	nee	nee	nee	nee
● ● ●	● ●	● ●	● ●	¹	● ¹	● ¹
●		●	●	●		
● ● ● ●	● ●	●	- onbekend - - onbekend - - onbekend - - onbekend -	● ² ● ²		
ja	ja	ja	nee	nee		
nee ¹	ja ¹	nee		nee		

VERVOLG VOLGENDE PAGINA

VERVOLG REKENHARTEIGENSCHAPPEN & FUNCTIONALITEITEN

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
2,19	Welke gesloten profieltypen worden ondersteund?	rond rechthoekig ei-vorm arch YZ (asymetrische vormen) getabelleerd	● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ●
2,20	Voor welk type stroomcondities kunnen ruwheidsbeschrijvingen worden toegepast?	Laminaire stroming Turbulente stroming	● ●	● ●
2,21	Welke ruwheidstyperingen zijn standaard opgenomen?	Chézy Manning Nikuradse Strickler (ks & kn) Bos en Bijkerk-formule White-Colebrook	● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ●
2,22	Wordt voor de conveyance berekening de 'divided channel approach' ondersteund voor samengestelde profielen?		ja	nee ⁴
2,23	Welke type randvoorwaarden kunnen worden toegepast?	waterstand debiet Q-h Overige (geef nadere toelichting)	● ● ●	● ● ● Rieman en sommerfeld rand
2,24	Welke open water kunstwerken worden ondersteund?	pomp stuw duiker brug onderlaat sifon sluis	● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ●
2,25	Is er een aparte functionaliteit om een algemene typering van kunstwerk (general structure) te beschrijven?		ja	ja
2,26	Is er een aparte functionaliteit voor samengestelde (composite) kunstwerken?		ja	ja
2,27	Wordt sturing op kunstwerken o.b.v. eenvoudige sturingsregels ondersteund?		ja	ja
2,28	Welke sturing control types zijn er standaard beschikbaar?	Time controller / tijdserie PID controller Overige (geef nadere toelichting)	● ● hydraulic controller, interval controller	● ● Tabellen voor kunstwerken gedrag
2,29	Is er een aparte functionaliteit voor het opgeven van pompkarakteristieken?		ja	nee
2,30	Ondersteunt het pakket complexe Real Time Control (RTC)-sturing?		ja	ja
2,31	Kan de aandrijvende kracht van wind worden meegenomen in de 1D hydrodynamica?		ja	ja ⁵
2,32	Kan laterale instroom (laterals) worden meegenomen in de 1D hydrodynamica?		ja	ja
2,33	Is regenval direct op het 1D netwerk mogelijk?		nee ³	ja ⁶

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ●	●				
● ●	● ●	●	● ●			
● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ●	●	● ● ●			
ja	ja ²	ja	nee	nee		
● ● ● snelheid (tangentiëel en normaal), stof-transport (zout, tracers), Neumann open rand	● ● ● huiselijk afvalwater, industriëlelozing, regenval	● ● ●	● ● ●	● ●		
● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ●			
ja	ja ³	nee	nee	nee		
ja	ja ⁴	ja	nee	nee		
ja	ja	ja	nee	ja		
● ● hydraulic controller, interval controller	● ●	Hydraulic controller met opgegeven beweegsnelheid kruin	ü		Grondwaterafhankelijk peilbeheer	
ja	ja	ja	nee	nee		
ja	ja	ja	nee	nee		
ja	nee	nee	nee	nee		
ja	ja	ja	nee	nee		
nee	ja ⁵	nee	nee	ja ²		

VERVOLG VOLGENDE PAGINA

VERVOLG REKENHARTEIGENSCHAPPEN & FUNCTIONALITEITEN

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
2,59	Kan voor stedelijke hydrologie een DWA patroon gedurende de dag worden opgegeven?		ja	ja
OVERIGE PROCESSEN (NIET PRIMAIR VAN TOEPASSING OP WATEROVERLAST ALS GEVOLG VAN HEVIGE REGENVAL)				
2,60	Welk van de overige processen worden ondersteund in het rekenhart van het softwarepakket?	Waterkwaliteit 1D Waterkwaliteit 2D Morfologie / sedimentatie 1D Morfologie / sedimentatie 2D 2D Kust hydrodynamica 3D grondwater	● ● ●	14 14 ●

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
nee	ja	nee	nee	ja	nee	nee
● ● ● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ● ●	●		

Commentaar

- SOBEK 2 Suite**
- er kan wel met zout (dus met dichtheids-verschillen) worden gerekend, maar dit is niet via de GUI toegankelijk.
 - 1DFlow rekent altijd met de full dynamic wave vergelijking; RR kan wel Muskingum routing en Q-h relaties aan.
 - Is wel mogelijk als lateral met te definiëren oppervlak en tijdreeks neerslag of verdamping.
 - Is wel mogelijk via koppeling met Modflow (niet standaard beschikbaar)
- 3Di**
- waaronder: kunstwerkenaanpassing, pompgebieden, regen, puntbronnen toevoegen, rasters aanpassen etc.
 - Op numerieke precisie
 - Inclusief persleidingen
 - Voor gebieden waar dit relevant is wordt dit opgenomen in 2D.
 - Er is een aparte functionaliteit voor luwtefactoren, wanneer er blokkades zijn voor de wind, deze is per lokatie en windrichting afhankelijk.
 - Ook met neerslagradar
 - Dit is een simpele berekening en kan makkelijk worden uitgerekend.
 - in ontwikkeling
 - Zowel op massabehoud als voor momentumbehoud
 - Bresgroei kan worden gesimuleerd met van Verweij en van der Knaap methode.
 - in beta release
 - Ruimtelijk gedistribueerd
 - Ook met regenradar
 - Koppelingen zijn mogelijk met bijv DELWAQ
- D-HYDRO Suite**
- nested-Newton aanpak van Casulli & Stelling is wel beschikbaar hiervoor in Beta versie.
 - Bij de urban / rioleringsfunctionaliteit geldt: in 2017 wordt alle relevante SOBEK-2 functionaliteit aangesloten onder de D-HYDRO Suite.
 - 2D pixel subgrid is niet aanwezig: validatiecases hebben wel aangetoond dat de 2D bodemafhandeling in D-HYDRO net zulke nauwkeurige resultaten voor regenafvoergolven oplevert als in pakketten met subgrid-techniek. Dijken en overlaten kunnen wel met subgrid-formules worden doorgerekend.
 - deze ontwikkeling is in voorbereiding voor 2017: bresgroei op alle dijklokaties.
 - Bewust gebruiken we in D-HYDRO de verticale koppeling niet meer in *hydrodynamische* zin. Het 2D grid kan wel verticaal overlappen met het 1D netwerk in *geometrische* zin. Dit behoudt het makkelijke modelleren, maar verbetert de hydrodynamica door een echte horizontale koppeling (met bijvoorbeeld overlaat- of putvertiezen).
 - Via de D-RainfallRunoff module. Ook is een prototype koppeling voor gedistribueerde RR beschikbaar middels een W-FLOW D-Flow FM koppeling.
- InfoWorks ICM**
- Enkel voor systemen onder druk
 - mbv 'panel markers'
 - Met behulp van Head-discharge curves
 - Voor bruggen en inlaten
 - Enkel voor open waterpartijen
- HEC-RAS**
- TELEMAC**
- SIMGRO**
- SIMGRO zonder koppeling aan SOBEK kent alleen een 0-d oppervlaktewatersysteem
 - Wordt meegenomen in de OD bergingsfunctie
 - Oppervlakkige afstroming via het 2 D rekengrid
 - SIMGRO is metaSWAP-MODFLOW-SIMRES + koppelingen.
 - in ontwikkeling
- Tygron Engine**
- Er worden geen ondiepwatervedergelijkingen opgelost.
- WOLK**
- Er worden geen ondiepwatervedergelijkingen opgelost.

3. INVOER, UITVOER EN DATABEHEER

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
INVOER				
3,01	Wat is het modelinvoer bestandsformaat waarmee het pakket rekt?	tekst (ASCII) files database GIS bestanden binary formaat Overige (geef nadere toelichting)	● ● ●	● ● ●
3,02	Hoe kan de modelleur aanpassingen doorvoeren in de modelschematisatie?	d.m.v. directe toegang in de invoerbestanden via de user interface	●	●
3,03	Ondersteunt het pakket een automatische invoerkoppeling met regenradar gegevens?		nee ¹	ja
3,04	Ondersteunt het pakket het gebruik van restart files als invoer?		ja	ja
3,05	Ondersteunt het pakket het gebruik van regenreeksen als invoer?		ja	ja
UITVOER				
3,06	Wat is het bestandsformaat van de modeluitvoer?		HIS, tijdserie op meetlokaties en ASC map-velden	netcdf
3,07	Welke van de volgende uitvoerparameters zijn beschikbaar?	waterstand waterdiepte drooglegging of 'freeboard' (1D) debiet stroomsnelheid verhang op kunstwerken Overige (geef nadere toelichting)	● ● ● ● ● ● diverse overige: sediment transport capacity, debiet in main channel of flood plain, RR uitvoer (grondwaterstand, grondwaterstand, vochtgehalte onv. Zone etc)	● ● ● ● ● ● Doorstroomoppervlakten, infiltratiecapaciteit, pompdebieten, neerslag, volumes, natte oppervlakten, wind snelheden, interflow snelheden, debieten, bresafmetingen, lateral debieten
3,08	Wordt er informatie over het (maximum) aantal tijdstapverkleiningen weggeschreven?		ja	ja
3,09	Welke opties zijn er beschikbaar voor uitvoertijdstap?:	- de huidige waarde van de rektijdstap - de gemiddelde waarde van de tussenliggende rektijdstappen - de maximum waarde van de tussenliggende rektijdstappen	● ● ●	● ● ●
3,10	Worden er waterbalans gegevens weggeschreven		ja	ja
3,11	- zo ja, kunnen waterbalansgegevens ook per (opgegeven) deelgebied worden weggeschreven?		ja	ja ¹
DATABEHEER				
3,12	Is er een automatische import van standaard GIS bestanden?		ja	ja
3,13	Is er een automatische import van CSV bestanden?		ja	ja ²
3,14	Is er een automatische import vanuit een standaard database management systeem?		nee	ja
3,15	- zo ja, vanuit welke database management systeem is dat mogelijk?			sqlite

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
● ● ● NetCDF, GeoTIFF rasters	● ● ●	●	●	●	● ●	●
●	●	●	●	●	●	●
ja	ja ¹	nee	nee	nee	nee	nee
ja	ja	ja	ja	ja		nee
ja	ja	nee	ja	ja	ja	nee
NetCDF, map-velden en tijdserie op meetlokaties	CSV, TAB, SHP, MIF, GeoDatabase	HDF5	*.ascii, *.cas, *.slf, *.conlim, *t3s	ascii en idf	GeoTIFF, excel, GeoJson	
● ● ● ● ● ● constituenten (tracers, sediment, etc.), diagnostische variabelen (schuifspanning, etc.)	● ● ● ● ●	● ● ● ● ● balansfout en Courant-getal	● ● ●	●	● ● ●	● ●
ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee
● ● ●	● ●	●	●	● ●	●	
ja	ja	ja	- onbekend -	ja	ja	nee
nee	ja	ja		ja	ja	nee
ja	ja	ja	nee	nee	ja	ja
ja ¹	ja	ja	- onbekend -	nee	nee	ja
ja	ja	nee	- onbekend -	nee	nee	nee
geodatabase	Oracle, SQL Server		- onbekend -			

VERVOLG VOLGENDE PAGINA

VERVOLG INVOER, UITVOER EN DATABEHEER

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
3,16	Is er een automatische import van AutoCAD bestanden?		ja	nee
3,17	Is er een automatische import van het SyfHYD bestandstype (voor rioleringen)?		ja	ja
3,18	Is er een automatische import van het GWSW-HYD bestandstype (voor rioleringen)?		nee	nee ³
3,19	Is er een automatische import van modellen uit andere softwarepakketten?		ja	ja
3,20	- zo ja, van welke softwarepakketten is dat mogelijk?		DIWA/HYDRA, ISIS, SOBEK-RE, MIKE11, DUFLOW, HEC-RAS	SOBEK, kikker
3,21	Kan modeluitvoer geëxporteerd worden naar GIS formaat?		ja	ja
3,22	Kan modeluitvoer geëxporteerd worden naar CSV of Excel formaat?		ja	ja
3,23	Kan modeluitvoer geëxporteerd worden naar AutoCAD formaat?		nee	nee
3,24	Ondersteunt het pakket automatische GIS integratie d.m.v. een aparte plugin of tool?		nee	ja
3,25	- zo ja, voor welk GIS pakket is een aparte plugin of tool?			QGIS

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
nee	ja	nee	nee	nee	nee	nee
nee ²	nee	nee	- onbekend -	nee	nee	nee
nee ³	nee ²	nee	- onbekend -	nee	nee	nee
nee ⁴	ja	ja	- onbekend -	nee	ja	nee
	HydroWorks, InfoWorks CS, SWMM4, SWMM5, Mouse, TUFLOW, HEC-RAS	Mike11				
ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
ja	ja	ja	ja	ja	ja	nee
nee	neen	ja	nee	nee	nee	nee
ja	ja	ja	ja	nee	ja	nee
QGIS, ArcGIS (Baseline)	MapXtreme, ArcGIS	Plug-in HEC-geoRAS voor ArcGIS			ArcGIS, Qgis	

Commentaar

SOBEK 2 Suite ¹ niet binnen SOBEK, maar wel via FEWS

3Di ¹ per rekencel, naverwerking in GIS

² Wordt opgenomen in de database

³ Is in ontwikkeling

D-HYDRO Suite ¹ uitgebreide mapping is in te stellen en op te slaan, voor hergebruik van import-settings.

² enkel via SOBEK-2 -> D-HYDRO tussenstap

³ Dit is wel in voorbereiding

⁴ enkel via SOBEK-2 -> zie SOBEK-2 mogelijkheden

InfoWorks ICM ¹ mbv ICM Exchange

² Is in ontwikkeling

TELEMAC

SIMGRO

Tygron Engine

WOLK

4. USER INTERFACE & VISUALISATIE

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
UI ALGEMEEN				
4,01	Heeft het modelpakket een User Interface (UI)?		ja	ja
4,02	Welk type UI is er beschikbaar?	command-line of batch user interface grafische user interface (GUI) web-based interface	●	● ● ●
4,03	Maakt de UI standaard onderdeel uit van het eigen softwarepakket?		ja	ja
4,04	- zo nee, van welke software wordt dan gebruikt gemaakt als UI?			QGIS, verschillende pakketten
4,05	Ondersteunt de UI het gebruik van scripting voor modelaanpassingen?		nee	ja
4,06	Ondersteunt de UI het gebruik van scripting voor postprocessing van resultaten?		nee	ja
4,07	Ondersteunt de UI het inladen van GIS lagen als achtergrondkaart?		ja	ja
4,08	Ondersteunt de UI het inladen van AutoCAD lagen als achtergrondkaart?		nee	nee
4,09	Ondersteunt de GUI het inladen van WMS layers?		nee	ja
4,10	Ondersteunt de UI verschillende coördinatensystemen?		nee	ja
4,11	Kan het rekenhart ook buitenom de standaard UI aangeroepen worden?		ja	ja
ONDERSTAANDE VRAGEN ZIJN ALLEEN VAN TOEPASSING VOOR PAKKETTEN MET EEN GRAFISCHE USER INTERFACE (GUI)				
MODELBOUW & INSPECTIE				
4,12	Kan in de UI de volledige netwerkschematisatie worden geïnspecteerd?		ja	ja
4,13	Waar worden de modelaanpassingen, gemaakt in de UI, naar weggeschreven?	Direct in de modelinvoer bestanden In een modeldatabase, later gevolgd door modelgeneratie	●	●
4,14	Ondersteunt de UI het opzetten en aanpassen van het 1D netwerk?		ja	ja
4,15	Ondersteunt de UI het opzetten en aanpassen van een 2D modelgrid?		ja	ja
4,16	Ondersteunt de UI een automatische 2D gridgenerator?		ja	ja
4,17	- zo ja, ondersteunt de gridgenerator het maken van lokale verfijningen o.b.v. polygons/ polylines?		nee	ja
4,18	Ondersteunt de UI een automatische detectie van obstakels in het DEM/ landschap?		nee	ja
4,19	Ondersteunt de UI een automatische netwerkcontrole op (veel voorkomende) fouten?		ja	ja
4,20	Ondersteunt de UI een automatisch validatie van de modelschematisatie?		ja	ja
4,21	Kunnen in de UI alle modelinvoergegevens (parameters) worden geïnspecteerd?		ja	ja
4,22	Kunnen alle relevante modelparameters in de UI worden ingevuld en aangepast?		ja	ja
4,23	Kunnen alle invoertijdreeksen in de UI worden weergegeven?	nee ja, als tabel ja, als grafiek	● ●	●
ANALYSE MODELRESULTATEN				
4,24	Kunnen alle uitvoertijdreeksen in de UI worden weergegeven?	nee ja, als tabel ja, als grafiek	● ●	● ●
4,25	Kunnen 2D stroomsnelheden als vectors worden weergegeven met richting en grootte?		ja	nee

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAT	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
ja	ja	ja	ja	ja	ja	nee
● ● ●	●	●	●	●	● ●	
ja	ja	ja	ja/ nee ¹	nee	ja	nee
	nvt		Blue Kenue, Fudaa prepro	Fortran Tools icm batch		
ja	ja	nee	nee	nee	ja	nee
ja	ja	nee	- onbekend -	nee	ja	nee
ja	ja	ja	ja	nee	ja	nee
nee	ja	nee	- onbekend -	nee	ja	nee
ja	ja	ja	- onbekend -	nee	ja	nee
ja	ja	ja	- onbekend -	nee	ja	nee
ja	ja	ja	- onbekend -	ja	ja	nee
ja	ja	ja		nee	ja	nee
●	●	●		●	●	
ja	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja	ja		nee	nee	nee
ja	nee	nee		nee		nee
nee	ja ¹	ja		nee		nee
ja	ja	ja		nee		nee
ja	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja	ja		ja	ja	nee
● ●	● ●	● ●		●	●	●
● ●	● ●	● ●	●	●	● ●	●
ja	ja	ja	ja ²	nee	nee	nee

VERVOLG VOLGENDE PAGINA

VERVOLG USER INTERFACE & VISUALISATIE

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
4,26	Ondersteunt de UI het maken van gecombineerde grafieken? (verschillende locaties/parameters)		ja	ja
4,27	Ondersteunt de UI een export van grafieken als afbeeldingen?		nee	ja
4,28	Ondersteunt de UI een 'map view' van uitvoerresultaten?		ja	ja
4,29	Ondersteunt de UI het weergeven van langsdoorsnedes?		ja	ja
4,30	Ondersteunt de UI het weergeven van resultaten in animaties?	nee ja, voor 1D langsdoorsnedes (side views) ja, voor 1D dwarsdoorsnedes ja, voor 2D map view resultaten ja, voor 2D dwarsdoorsnedes	● ●	● ● ●
4,31	Ondersteunt de UI het opslaan van animaties naar een standaard video file formaat?		ja	ja
SPECIALE VISUALISATIE OPTIES				
4,32	Biedt de UI de volgende 2D visualisatie technieken:	stroombaanweergave/ particle tracing automatische ruimtelijke interpolatie van waterstanden omrekenen van waterstanden naar waterdieptes op hogere resolutie?		● ¹ ● ●
4,33	Heeft de UI een 3D netwerk viewer beschikbaar?		nee	nee
4,34	Biedt de UI 3D visualisatie van de modelresultaten?		nee	ja ¹
4,35	- zo ja, uit welke datalagen wordt de 3D visualisatie opgebouwd?			Naar keuze
4,36	Ondersteunt de UI een automatische export voor visualisatie in Google-Earth?		nee	ja
SCENARIO ANALYSE				
4,37	Ondersteunt de UI versiebeheer van modellen?		ja	ja
4,38	Ondersteunt de UI een geautomatiseerde batch simulatie modus?		ja	ja
4,39	Ondersteunt de UI een aparte 'scenario management tool'?		nee	ja
4,40	Kan in de UI resultaten van verschillende simulaties met elkaar vergeleken worden?		ja	ja
AUTOMATISCHE INTERPRETATIE VAN RESULTATEN				
4,41	Heeft de UI een 'maxima' functie voor het presenteren van de uitvoergegevens?		ja	ja
4,42	Zijn er vanuit de UI andere statistische functies op de uitvoer mogelijk?		ja	ja
4,43	- zo ja, welke statistische functies zijn mogelijk?		min, max, average, frequency distribution, standard deviation	min, max, cum, ave over time
4,44	Kan bij rioleringsberekeningen automatisch overstort-volume, vuilvracht en overstortfrequentie worden bepaald voor de T1, T2, T5 en T10 herhalings tijden?		ja	ja
4,45	Ondersteunt de UI de vergelijking van simulatie resultaten met meetdata?		ja	nee

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMATAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
ja	ja	nee		nee	nee	nee
ja	ja	ja		nee		nee
ja	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja	ja		nee	nee	nee
●	●	●		●		
●	●	●	● ²		●	
ja	ja	nee		nee	ja	nee
●	● ²	●	● ²			
●	●	●	● ²			
nee	ja	nee		nee	nee	nee
ja	ja	nee		nee	ja	nee
OpenStreetMap, ESRI WorldImagery	Ground model, background GIS layers				BAG BGT AHN2 (3 waar beschikbaar) Top10NL, CBS, NWB, Gewassen, Fysieke bodemkaarten, risico-kaart, ruimtelijke plannen, en nog een aantal.	
ja	ja	ja		nee	nee	nee
nee	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja	nee		ja	ja	nee
nee	ja	nee		nee	ja	nee
ja	ja	nee		ja	ja	nee
ja	ja	ja		nee	ja	nee
ja	ja ³	nee		nee	ja	nee
min, mac, average, fourier components	Frequency over threshold, duration over threshold, cumulative volumes etc.				Alle uitvoer is leesbaar in Excel, dus hier zijn vele bewerkingen op mogelijk	
nee	ja ³	nee		nee	nee	nee
ja	ja	ja		ja	ja	nee

VERVOLG VOLGENDE PAGINA

VERVOLG USER INTERFACE & VISUALISATIE

Nr	Vraag	Antwoorden	SOBEK 2 Suite	3Di
4,46	Ondersteunt de UI de automatische bepaling van 'Goodness-of-Fit indicators'?		nee	nee
4,47	- zo ja, welke 'Goodness-of-Fit indicators' worden ondersteund?			

Commentaar

SOBEK 2 Suite

3Di ¹ In de Q-GIS UI

D-HYDRO Suite

InfoWorks ICM ¹ Dit is mogelijk mbv 'Additional engineering validation' en 'user defined SQLs'

² Particle tracing is niet mogelijk. Mbv 'velocity vectors' kan de stroombaanweergave wel voorgesteld worden.

³ D.m.v. het gebruik van de 'statistics template'.

TELEMAC ¹ TELEMAC zelf heeft alleen een command line interface. Voor het opzetten van de schematisatie, voorbereiden en visualiseren van resultaten zijn er diverse (Open Source) programma's in omloop zoals 'Blue Kenue'. Voor het opgeven van de modelsettings kan gebruik worden gemaakt van 'Fudaa prepro'.

² Met behulp van het 'Blue Kenue' programma.

SIMGRO

Tygron Engine

WOLK

D-HYDRO Suite	InfoWorks ICM	HEC-RAS	TELEMAC	SIMGRO	Tygron Engine	WOLK
nee	nee	nee		nee	nee	nee

BIJLAGE 2 NADERE BESCHRIJVING MODELCODES

In deze bijlage staat de omschrijving van de modelcode's zoals deze is aangeleverd door de bedrijven. Niet alle bedrijven hebben informatie aangeleverd. Deze bijlage is geen onderdeel van de Benchmark en representeert niet de mening van de STOWA of het kernteam.

2.1 TYGRON

Met de Tygron Engine heeft u een Dynamisch 3D model in handen waarmee zeer snel, visueel en interactief inundaties te berekenen zijn. De software is cloud-based en heeft ongekende rekenkracht. Door de rekenkracht geeft de software direct inzicht in de effecten van maatregelen tegen wateroverlast zoals het vergroten van de bergings-, infiltratie- of rioolcapaciteit middels bijvoorbeeld groene daken, waterpleinen of een half-verharde weg. En dit alles voor verschillende regenbuien.

Omdat de software snel, interactief en visueel is, is deze zeer geschikt om stakeholders (ook niet-experts) direct te betrekken bij afwegingen, waardoor inzicht en draagvlak wordt vergroot. Dit leidt tot een significante versnelling van planprocessen.

MOGELIJKHEDEN VAN DE INUNDATIE-MODULE OP EEN RIJTJE

- Snel (rekeningtijd van millisecondes tot secondes, afhankelijk van de grid-grootte en aantal rekenstappen)
- Elk gebied in Nederland genereren op basis van open data en direct aan de slag met doorrekenen
- Meerdere buien parallel laten rekenen
- Effecten van verschillende maatregelen tegen wateroverlast verkennen
- Alle informatie die er toe doet in één 3D omgeving (zoals hoogteverschil, bestemmingsplannen, eigen kaartlagen en informatie over de ondergrond)
- Resultaten zijn makkelijk uitwisselbaar: een 2D online web map van het model kan middels een URL worden doorgestuurd.
- Al schetsend/ontwerpend aan de slag met een casus en gelijk de resultaten berekenen en zien
- Geschikt voor uniforme stress testen
- Toepasbaar op zowel stedelijk als landelijk gebied
- Verkennen van klimaat adaptatie strategieën. Meerdere thema's tegelijk verkennen, zoals waterberging, schadeberekeningen, verkeer, hittestress, groen, kosten en baten.
- Rekening houden met de toekomst: scenario's zoals klimaatmodellen (bijv. KNMI scenario's), bodemdaling, en stedenbouwkundige plannen

Contact

Heeft u na het lezen van deze tekst vragen? Stuur een mail naar support@tygron.com of bel ons op : +31 (0)70 20 60 216. Wij staan graag voor u klaar om uw vragen te beantwoorden of om uw feedback te horen!

2.2 D-HYDRO

D-HYDRO is de nieuwe hydro-softwarelijn van Deltares, en daarmee de beoogde opvolger van SOBEK en Delft3D. Met D-HYDRO kunnen verschillende soorten geïntegreerde modellen gemaakt worden. Zo kun je een eenvoudig 1D-model maken, maar ook een ingewikkeld 3D-model, of een combinatie van beiden. Voor de Kockengen benchmark, Inundatie Reken

Maar, is gebruik gemaakt van de Flexible Mesh rekenkern, om een snel en accuraat 1D-2D neerslagafvoermodel te maken.

D-HYDRO is open software, met een open API en een gestandaardiseerd dataformaat. Modellen kunnen gemaakt worden op je eigen laptop, en daar ook op gedraaid worden. Zo heb je als modelleur volledige controle over je model.

D-HYDRO biedt de mogelijkheid om via Python aangestuurd te worden, maar geniet ook nog van de uitgebreide ondersteuning die beschikbaar is via de open-earth tools. Kortom: D-HYDRO is de verbeterde versie van de modelsoftware die de meeste Nederlandse modelleurs altijd gebruikt hebben, en biedt nieuwe en snellere functionaliteiten op basis van de oude vertrouwde modellen.

2.3 3Di

3Di; Sneller, Nauwkeuriger en Visueler

3Di is een hydrodynamisch modelleerpakket die stroming berekend voor oppervlakte water en riolering, inclusief de neerslag afvoer. De software is ontwikkeld door de Stelling Hydraulics, Deltares, TU Delft en Nelen & Schuurmans.

3Di is uitgegroeid tot een geïntegreerd 0D, 1D en 2D rekenpakket dat gebruikt maakt van de nieuwste reken- en visualisatietechnieken. Door het gebruik van een subgrid rekentechniek kunnen grootschalige modellen zeer snel worden doorgerekend, gebruikmaken van hoge resolutie informatie. De combinatie van detail en snelheid maakt 3Di bijzonder geschikt voor interactief gebruik in workshops met burgers en bestuurders. De nauwkeurigheid van de berekeningen blijft daarbij gewaarborgd. Het is daarom niet alleen een communicatietool, maar ook een volwaardig analyse, ontwerp- en toetsinstrument.

3Di beschikt naast de hydraulische functionaliteiten, over een groot arsenaal aan extra's, zoals windopzet, sturing, grondwater, drukleidingen en bresgroei. De compleetheid van het pakket maakt het geschikt voor velerlei toepassingen van rivierstudies, wateroverlast analyses, calamiteitenmodellen tot aan ruimtelijke detailstudies in de stedelijke omgeving. 3Di wordt gebruikt door rijkwaterstaat, provincies, waterschappen, gemeenten en bedrijven in binnen- en buitenland.

3Di is beschikbaar als cloud-rekenservice. Dat betekent dat gebruikers geen hardware of software hoeven te installeren om 3Di te gebruiken. Elk kwartaal komt een nieuwe versie beschikbaar met nieuwe functionaliteiten en bug fixes. De modelschematisaties worden daarbij automatisch geupdate, zodat de gebruiker altijd met de nieuwste versie kan werken. Naast de webomgeving, hebben de gebruikers ook de mogelijkheid om modelschematisaties en modelresultaten off line te analyseren in een GIS omgeving.

3Di is voor iedereen beschikbaar, via een rekenservice. Gebruikers kunnen volledig zelfstandig modellen aanmaken en doorrekenen. Om de gebruikers hierin te ondersteunen zijn modelleercursussen beschikbaar op verschillende niveaus en voor verschillende thema's. 3Di kent daarnaast een gebruikersgroep en er wordt jaarlijks een 3Di kennisdag georganiseerd.

2.4 InfoWorks ICM

In een toekomst, waarin een veranderend klimaat de capaciteit van onze watersystemen steeds meer op de proef zal stellen, stelt InfoWorks ICM (*Integrated Catchment Modeling*) elke waterbe-

heerder in staat om de juiste beslissingen te nemen en de beste aanpassingen te doen waar landelijke en stedelijke afstromingen samenkomen. Hiermee vormt ICM het ideale communicatiemiddel tussen waterschap, gemeente, studie bureau en elke andere belanghebbende.

Het vooruitstrevende InfoWorks ICM biedt een alles-in-één-oplossing voor een *volledig geïntegreerde* modellering van alle waterstromen. InfoWorks ICM maakt het mogelijk om de *1D- en 2D-simulaties* van zowel *oppervlaktewater* als *stedelijk water* te combineren in éénzelfde model, waarbij ook de interactie tussen de systemen wordt gesimuleerd. Zo kan de afstroming over het terrein en door complexe ruimtelijke structuren zeer nauwkeurig gemodelleerd worden. Studies naar *waterkwaliteit* en sedimentatie kunnen in zowel 1D als 2D worden uitgevoerd.

Het *internationaal gewaardeerde* InfoWorks ICM is toepasbaar in stroomgebieden die variëren van zeer landelijk tot sterk verstedelijkt. Of men nu een laaggelegen poldersysteem of sterk hellend terrein modelleert: ICM bevat de juiste instrumenten om snel en nauwkeurig de afstroming te simuleren. Bovendien voorziet ICM een breed scala aan mogelijkheden tot import/export van data, datavalidatie, scenario-analyses, gebruik van achtergrondlagen, themaweergaves, rapportering en grafieken. Hierdoor wordt het proces van *flexibele* modelopbouw, simulatie en *visualisatie* naar een hoger niveau getild.

InfoWorks ICM speelt in op uw noden met de volgende pakketten: *InfoWorks ICM Suite* biedt complete modelleerkracht met toepassingen die de gebruiker gemakkelijk historische en real-time data laten beheren, economische evaluaties van overstromingsrisico's laten genereren en die real-time overstromingsvoorspellingen mogelijk maken. Met *ICMExchange* kan bovendien elke zelf ontwikkelde applicatie gebruik maken van de krachtige rekenkern van ICM. Met *ICMLive* heeft InfoWorks de stap genomen naar de toekomst van het waterbeheer, waarin de krachtige modeltechnologie real-time *operationele voorspellingen* en besturing mogelijk maakt.

➔ Contact

Indien u meer informatie wenst over InfoWorks ICM, twijfel niet om InneauTech (de officiële verdeler van Innovyze software in de BeNeLux) te contacteren. Meer informatie op www.inneautech.com.

2.5 HEC-RAS

HEC-RAS is designed to perform one and two-dimensional hydraulic calculations for a full network of natural and constructed channels.

The HEC-RAS system contains several river analysis components for: (1) steady flow water surface profile computations; (2) one- and two-dimensional unsteady flow simulation; (3) movable boundary sediment transport computations; and (4) water quality analysis. A key element is, that all four components use a common geometric data representation and common geometric and hydraulic computation routines. In addition to these river analysis components, the system contains several hydraulic design features that can be invoked once the basic water surface profiles are computed.

The user interacts with HEC-RAS through a graphical user interface (GUI). The main focus in the design of the interface was to make it easy to use the software, while still maintaining a high level of efficiency for the user. The interface provides for the following functions:

- File Management
- Data Entry and Editing

- Hydraulic Analyses
- Tabulation and Graphical Displays of Input and Output Data
- Inundation mapping and animations of water propagation
- Reporting Facilities
- Context Sensitive Help

The unsteady Flow component of the HEC-RAS modeling system is capable of simulating one-dimensional; two-dimensional; and combined one/two-dimensional unsteady flow through a full network of open channels, floodplains, and alluvial fans. The unsteady flow component can be used to performed subcritical, supercritical, and mixed flow regime (subcritical, supercritical, hydraulic jumps, and draw downs) calculations in the unsteady flow computations module.

The hydraulic calculations for cross-sections, bridges, culverts, and other hydraulic structures that were developed for the steady flow component were incorporated into the unsteady flow module.

Special features of the unsteady flow component include: extensive hydraulic structure capabilities Dam break analysis; levee breaching and overtopping; Pumping stations; navigation dam operations; pressurized pipe systems; automated calibration features; User defined rules; and combined one and two-dimensional unsteady flow modeling.

2.6 SOBEK-2 Suite

SOBEK-2 is een krachtige modeling suite voor het voorspellen van overstromingen, optimalisatie van de drainage systemen, sturing van irrigatiesystemen, ontwerp van overstorten in de riolering, rivier morfologie, zout indringing en de kwaliteit van het oppervlaktewater. De modules binnen de SOBEK-2 modeling suite maken het mogelijk om complexe stromingen en water gerelateerde processen in bijna elk systeem te simuleren. De modules beschrijven fysische processen in een accurate manier in één-dimensionale (1D) netwerksystemen en tweedimensionale (2D) horizontale grids. De SOBEK-2 Suite kent tal van toepassingen als Ruimte voor de Rivier (RvR) simulaties, Maatgevend Hoog Water (MHW) studies, NBW toetsing (Nationaal Bestuursakkoord Water), Stedelijke Wateropgave, en vele andere. Het is daarnaast de ideale tool voor het begeleiden van de ontwerper in het optimaal gebruik maken van de modellen.

De SOBEK-2 Suite bestaat sinds 1993 is wordt toegepast door alle waterschappen, alle grote ingenieursbureaus, Rijkswaterstaat en daarnaast door vele gemeenten, adviesbureaus, aannemers (MKB) en onderwijsinstellingen. De SOBEK-2 Suite is daarmee dé standaard in watersysteem modellering binnen Nederland.

De SOBEK-2 Suite vormt de basis waarop de nieuwe D-HYDRO Suite, als opvolger van SOBEK-2, is gebaseerd.

STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij de kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragen en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

DE GRONDBEGINSELEN VAN STOWA ZIJN VERWOORD IN ONZE MISSIE:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor en met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

