

Opbouw en kalibratie conceptueel model

Vossenbeemd en Aa

dr. ir. Evert Vermuyten
dr. ir. Vincent Wolfs
prof. dr. ir. Patrick Willems

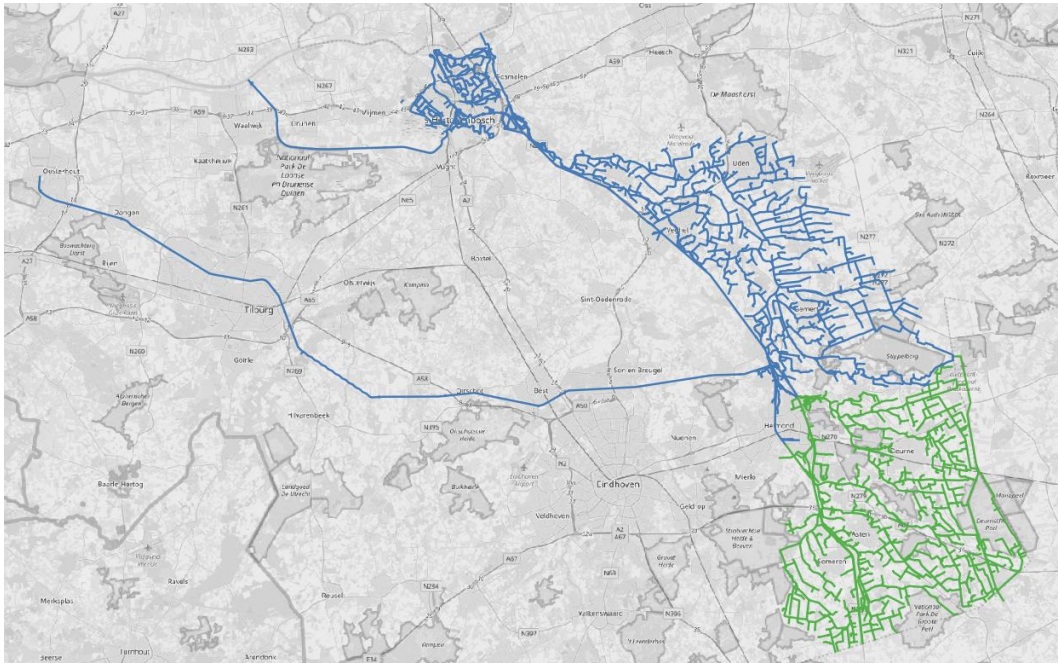
april 2019

Inhoud

1	Kalibratie en validatie events	7
2	Vossenbeemd model	8
	2.1 <i>Methodologie</i>	8
	2.2 <i>Modelopbouw</i>	8
	2.3 <i>Resultaten.....</i>	10
3	Aa model	13
	3.1 <i>Methodologie</i>	13
	3.2 <i>Modelopbouw</i>	13
	3.3 <i>Resultaten.....</i>	15
4	Koppeling modellen Vossenbeemd en Aa	18
5	Simuleren van het conceptueel model	19
	5.1 <i>Grafische gebruikersinterface model Vossenbeemd.....</i>	19
	5.2 <i>Finaal opgeleverd model</i>	20
	5.2.1 <i>Installatie en uitvoeren van simulaties via de command line</i>	20
	5.2.2 <i>Definiëren van randvoorwaarden</i>	24
6	Bijlage A: Problematiek 2D fluxen	27

Inleiding

De methode voor opbouw en kalibratie van een conceptueel model werd in dit project toegepast op een deel van het stroomgebied Aa en Maas. Er is gebruik gemaakt van twee SOBEK modellen, ter beschikking gesteld door het Waterschap Aa en Maas. Het eerste model bevat het bovenstroomse deel van de Aa, weergegeven in het groen in Figuur 1. Dit deel omvat de bergingsgebieden van Starkriet, Diesdonk, Groene Peelvallei en Bakelse Beemden en wordt hierna 'Vossenbeemd model' genoemd. Het tweede model bevat het benedenstroomse deel van de Aa, startend ter hoogte van Helmond en eindigend ter hoogte van 's Hertogenbosch waar het overgaat in de Maas. Dit deel wordt hierna 'Aa model' genoemd en is in het blauw weergegeven in Figuur 1. Het Aa model bevat de bergingsgebieden van Ham Havelt, het Dynamisch Beekdal en de Vughtse Gement (Howabo). De opzet van het project is om aan de hand van een rekenefficiënt conceptueel model het debiet ter hoogte van 's Hertogenbosch te voorspellen (link AM_2011450_29).



Figuur 1: Overzicht van het gemodelleerde gebied

1 Kalibratie en validatie events

Voor het opstellen van conceptuele modellen dienen verschillende neerslagperiodes beschouwd te worden om de werking van het model in verschillende omstandigheden correct te kunnen modelleren. Voor dit project is gebruik gemaakt van zogenaamde 'blokbuien', aangeleverd door het Waterschap Aa en Maas. Deze blokbuien bestaan uit een droge periode gevolgd door een drie dagen durende periode waarbij een vaste hoeveelheid neerslag valt. Een overzicht van de gebruikte kalibratie en validatie events wordt weergegeven in Tabel 1. Voor het Aa model is gebruik gemaakt van 6 kalibratie en 4 validatie events. Voor het Vossenbeemd zijn alleen de events met lage Maasstand gebruikt, aangezien de stand van de Maas geen invloed heeft op dit deel van het netwerk. Dit resulteert in 3 kalibratie en 2 validatie events voor het Vossebeemd model.

Tabel 1: Overzicht kalibratie en validatie events

Naam	Omschrijving	Gebruik
E30	Blokbui met 30mm neerslag en lage Maasstand	Validatie
E31	Blokbui met 50mm neerslag en hoge Maasstand	Validatie
E50	Blokbui met 50mm neerslag en lage Maasstand	Kalibratie
E51	Blokbui met 50mm neerslag en hoge Maasstand	Kalibratie
E100	Blokbui met 100mm neerslag en lage Maasstand	Validatie
E101	Blokbui met 100mm neerslag en hoge Maasstand	Validatie
E150	Blokbui met 150mm neerslag en lage Maasstand	Kalibratie
E151	Blokbui met 150mm neerslag en hoge Maasstand	Kalibratie
E200	Blokbui met 200mm neerslag en lage Maasstand	Kalibratie
E201	Blokbui met 200mm neerslag en hoge Maasstand	Kalibratie

2 Vossenbeemd model

2.1 Methodologie

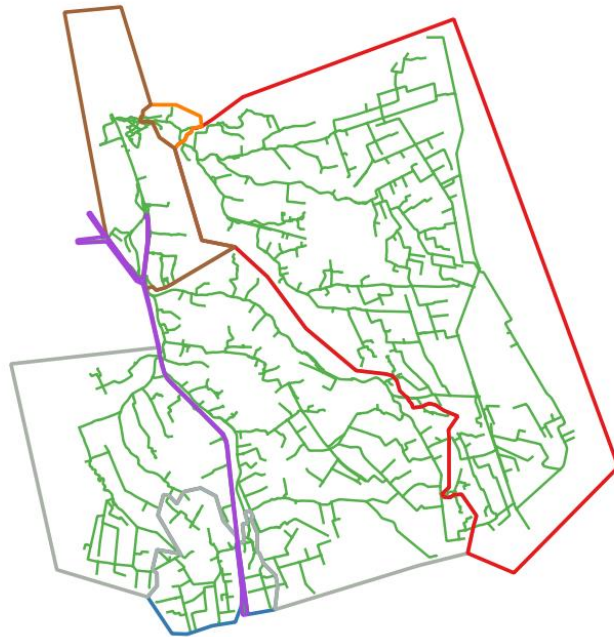
De conceptualisatie van het riviernetwerk start met het maken van een opdeling van het netwerk in verschillende reservoirs, hierna 'polygonen' genoemd. Deze polygonen worden in het conceptueel model gemodelleerd als een reservoir, een zogenaamde 'bak'. Elke bak bevat het volume water dat vervat zit in het deel van het netwerk begrensd door de polygoon. Deze volumes worden berekend aan de hand van de continuïteitsvergelijking van alle inkomende en uitgaande debieten in de polygoon. De stromen tussen de verschillende reservoirs worden gemodelleerd aan de hand van transportelementen. Op basis van het toestand in de op- en afwaartse polygoon wordt het debiet berekend.

De kalibratie en validatie data om het conceptueel model op te bouwen wordt verkregen uit het Sobek model. Concreet zijn dit alle inkomende en uitgaande debieten per polygoon. De debieten in het 1D netwerk worden verkregen met behulp van Sobek Utilities dat per polygoon de inkomende en uitgaande debieten exporteert en groepeert. De fluxen in het 2D grid, hierna '2D fluxen' genoemd, kunnen niet rechtstreeks uit Sobek opgevraagd worden. Daarom zijn er eerst zogenaamde 'line elements' gedefinieerd waarover de 2D fluxen berekend worden in Sobek. Na de simulaties opnieuw uit te voeren met dit aangepaste Sobek model, kunnen de 2D fluxen rechtstreeks uit Sobek geëxporteerd worden. De line elements worden gedefinieerd op de polygoonranden waar op basis van de 2D overstromingskaarten 2D fluxen te verwachten zijn.

De verzamelde data wordt vervolgens ingelezen in de Conceptual Model Developer (CMD) tool waarmee het conceptueel model gekalibreerd en opgebouwd zal worden.

2.2 Modelopbouw

Het riviernetwerk in het Vossenbeemd model is opgedeeld in 6 polygonen. Deze worden weergegeven in Figuur 2. Voor de 2D fluxen te bepalen zijn 7 line elements gedefinieerd, zie Figuur 3.

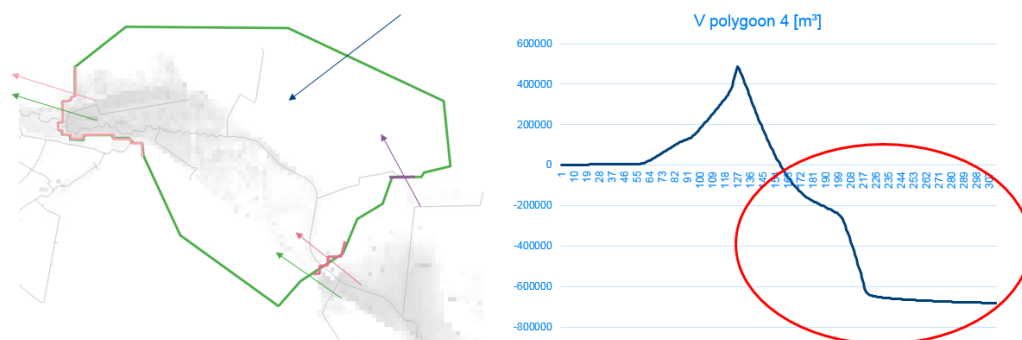


Figuur 2: Indeling Vossenbeemd model



Figuur 3: Line elements Vossenbeemd model

De waterbalansen opgesteld op basis van de 1D debieten uit Sobek Utilities en de 2D fluxen met behulp van de line elements vertoonden een realistisch verloop, behalve voor polygoon 4 (oranje polygoon in Figuur 2), zie Figuur 4. Door een overschatting van de uitgaande 2D flux over de dijk van het bergingsgebied Bakelse Bermen dook het volume in deze polygoon sterk onder nul tijdens de bui, terwijl de resultaten van de waterpeilen aantoonde dat het wachtbekken gevuld was tijdens dezelfde periode. Daarom werd het debiet over line element 7 (roze in Figuur 4) gecorrigeerd met een factor 0.82 om zo een volumeverloop te krijgen gelijkaardig aan het verloop van het waterpeil in het bergingsgebied.

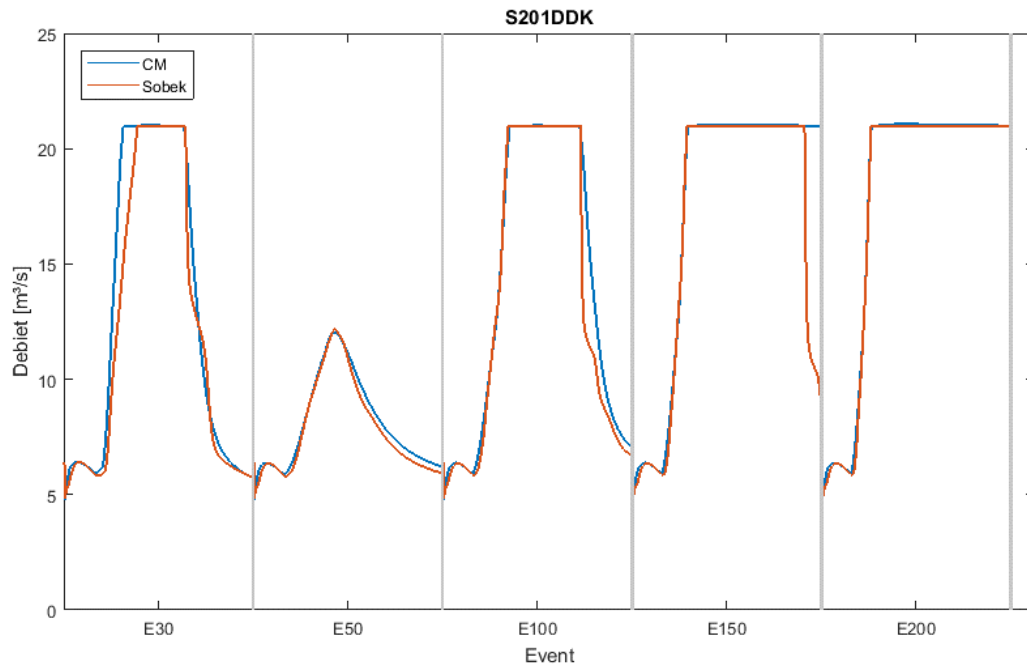


Figuur 4: Onrealistische verloop van het volume van polygoon 4 Vossenbeemd model

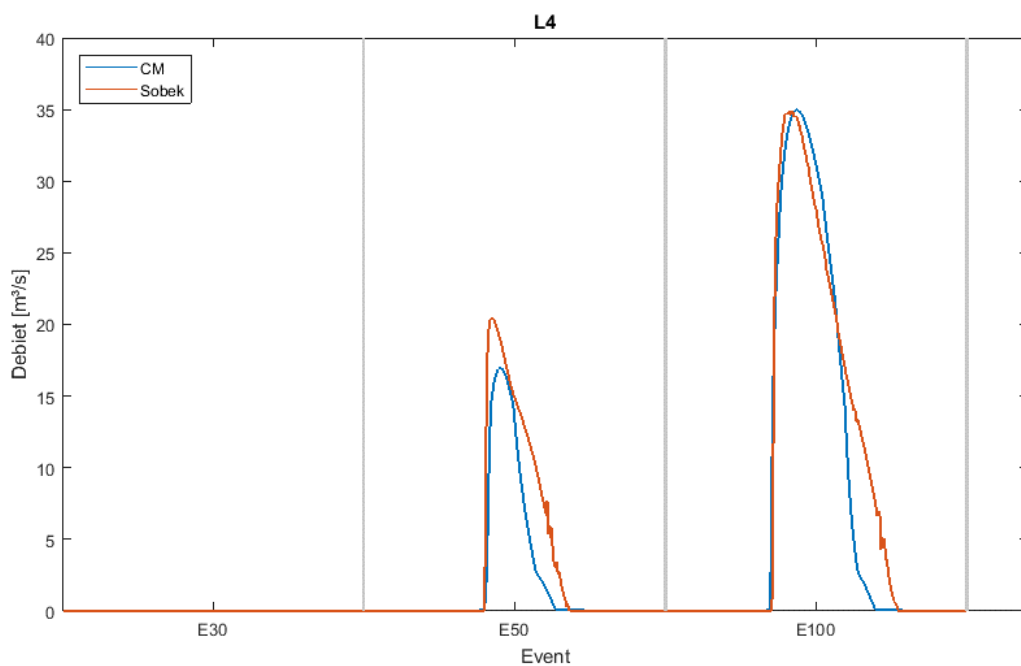
Voor het modelleren van de debieten tussen de verschillende polygoon en de uitgaande debieten afwaarts in het netwerk is gebruik gemaakt van VQ relaties. Deze stuksgewijs lineaire relaties bepalen het uitgaande debiet van een polygoon op basis van het volume in de polygoon aanwezig op dat moment. Deze aanpak was hier mogelijk aangezien het volledige netwerk opwaarts bepaald is en er geen beïnvloeding is van afwaarts (zogenaamde 'backwater effects'). Bovendien zit de regeling van de hydraulische structuren hier impliciet in vervat. Dit was mogelijk doordat de bergingsgebieden allemaal in de rivierbedding zelf lagen, zogenaamde inline bergingsgebieden, en de eenvoud van de regelaars.

2.3 Resultaten

Ter illustratie toont Figuur 5 het debiet aan de uitlaat van het bergingsgebied Diesdonk en Figuur 6 de 2D flux over de bijhorende dijk. Voor de 2D flux zijn in Sobek alleen de resultaten voor de kalibratie events beschikbaar. Beide debieten zijn gemodelleerd aan de hand van een VQ relatie en tonen een goede benadering van de Sobek resultaten. Deze resultaten zijn representatief voor de resultaten in de rest van het netwerk.

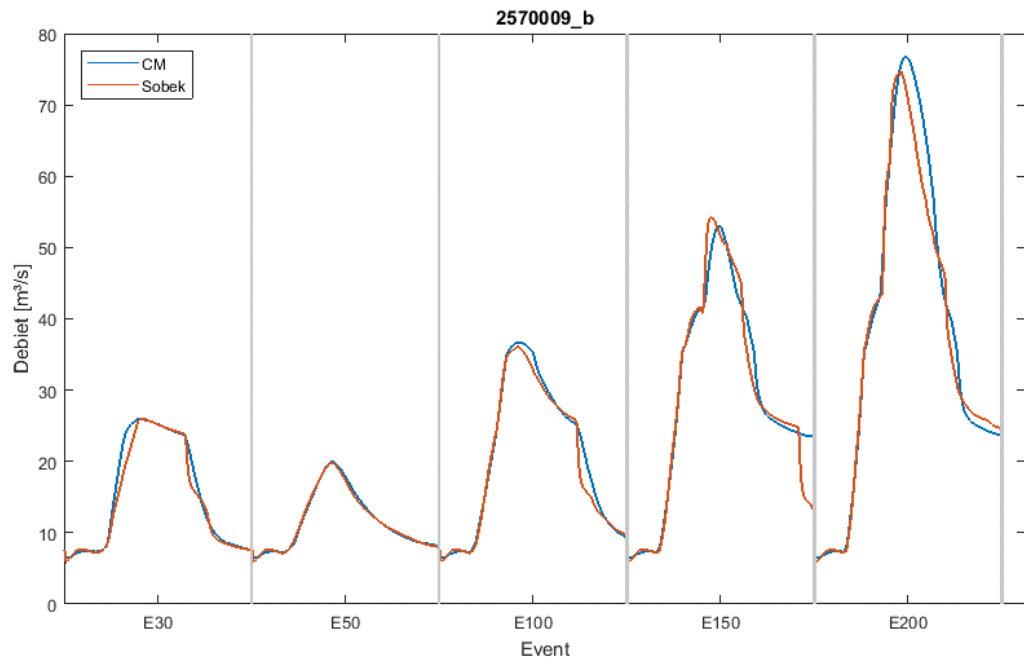


Figuur 5: Resultaten debiet uitlaat Diesdonk



Figuur 6: Resultaten 2D flux over dijk Diesdonk

De resultaten voor de afwaartse debieten van het Vossenbeemd model zullen als input aangelegd worden aan het Aa model om het debiet ter hoogte van 's Hertogenbosch te bepalen. De resultaten voor het meest bepalende debiet (2570009_b) worden weergegeven in Figuur 7. Ook hier wordt een goede benadering van het Sobek resultaat bekomen.



Figuur 7: Resultaten afwaarts debiet Vossenbeemd model

3 Aa model

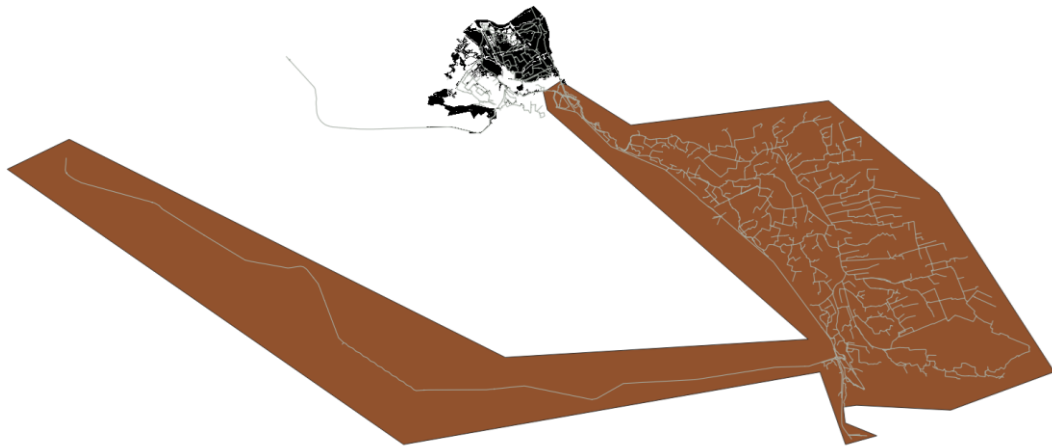
3.1 Methodologie

Voor het Aa model werd initieel dezelfde methodologie toegepast als voor het Vossenbeemd model. Tijdens de uitvoering hiervan werd echter vastgesteld dat de 2D fluxen niet correct bepaald konden worden in Sobek. Daar deze 2D fluxen een belangrijkere rol spelen in het Aa model dan in het Vossenbeemd model was het niet mogelijk om de oorspronkelijke methodologie aan te houden voor het Aa model en is een nieuwe methodologie toegepast. De problematiek in verband met de 2D fluxen wordt besproken in bijlage. De finaal toegepaste methodologie wordt hieronder toegelicht.

Het conceptueel model van de Aa is opgebouwd als een 'single reservoir model'. Dergelijke aanpak kan gebruikt worden om het debieten op een bepaalde plaats in het netwerk te bepalen, zoals hier gevraagd is. Concreet wordt het netwerk opwaarts van de locatie waarop het debiet bepaald moet worden in 1 polygoon opgenomen. Dit heeft als gevolg dat de bergingsgebieden in dit deel van het netwerk niet expliciet gemodelleerd worden, alsook de bijhorende hydraulische structuren. Er wordt met andere woorden modeldetail verloren. Het gedrag van het netwerk, en dus ook van de bergingsgebieden, wordt echter impliciet in rekening gebracht bij het bepalen van de afwaartse debieten. Om dit te bekomen worden complexere modelstructuren toegepast dan de VQ relaties die in het Vossenbeemd zijn toegepast. Concreet gaat het hier over neurale netwerken die het debiet bepalen op basis van verschillende randvoorwaarden en variabelen verspreid over het netwerk.

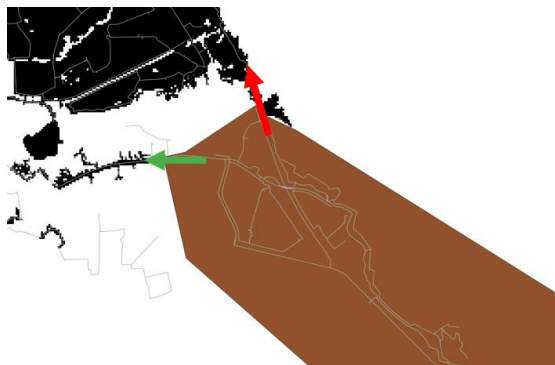
3.2 Modelopbouw

Figuur 8 toont de indeling van het Aa model. Zoals besproken in de vorige paragraaf is het hele netwerk opwaarts van de gevraagde locatie (link AM_2011450_29) in 1 polygoon opgenomen. De grenzen van deze polygoon zijn zodanig gekozen dat er geen 2D fluxen mogelijk zijn over de randen er van. Op die manier dienen er geen correcties toegepast te worden van de (foutieve) 2D fluxen uit Sobek en kan het volume in de polygoon exact bepaald worden.



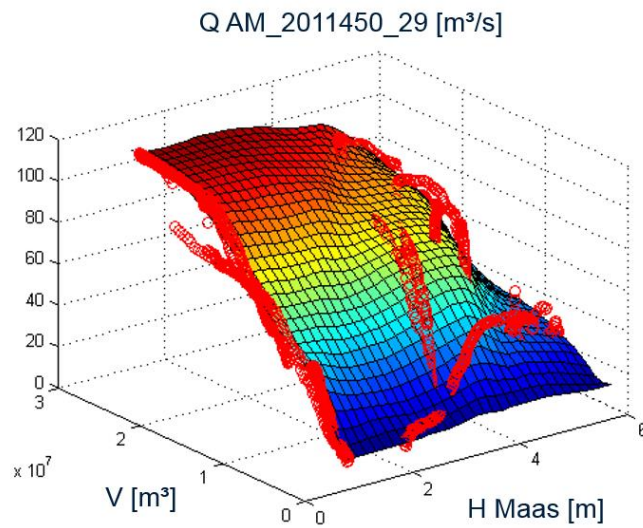
Figuur 8: Indeling Aa model

De finale modelstructuur van het Aa model bestaat uit 1 polygoon en 2 uitgaande debieten, zie Figuur 9. Enerzijds is dit het gevraagde debiet in de Aa ter hoogte van 's Hertogenbosch (groene pijl), anderzijds is dit het debiet dat via de Rosmalense Aa wordt afgevoerd naar de Maas (rode pijl).



Figuur 9: Detail afwaartse begrenzing conceptueel model Aa

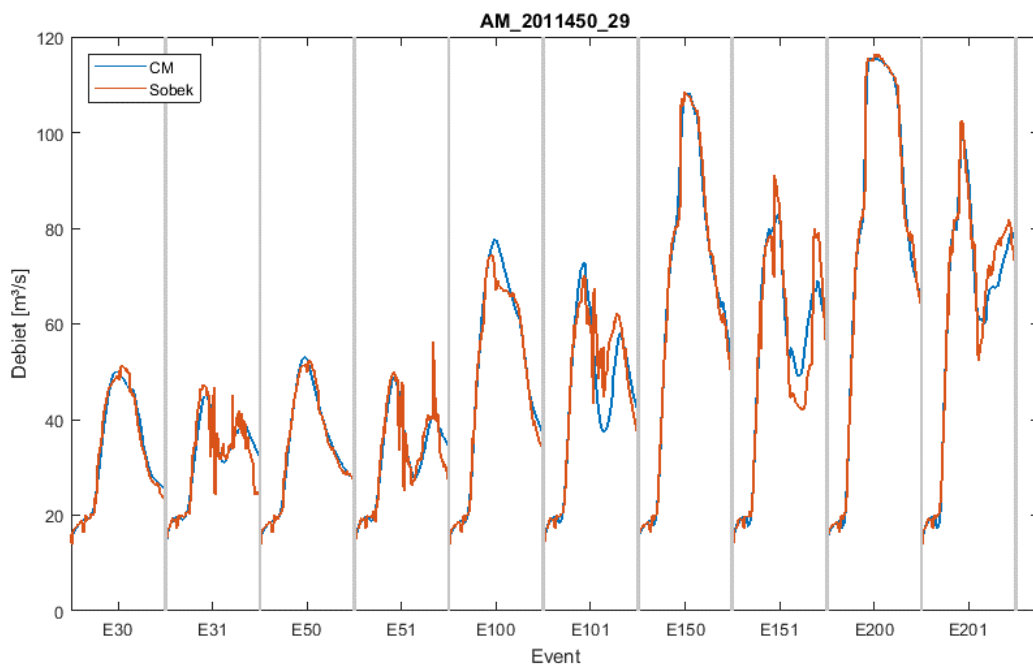
Beide debieten worden gemodelleerd aan de hand van een neuraal netwerk. Dit neuraal netwerk stelt een verband op tussen verschillende variabelen in het netwerk en het gemodelleerde debiet. Ter illustratie toont Figuur 10 een voorbeeld van een neuraal netwerk met twee afhankelijkheden (waterstand in de Maas en volume in het reservoir) voor het gevraagde debiet. De finaal toegepaste neurale netwerken hebben 4 afhankelijkheden. Naast de waterstand in de Maas en het volume in de polygoon zijn dit het inkomende debiet en het gemiddelde inkomende debiet van de afgelopen 36 uur.



Figuur 10: Neuraal netwerk met 2 afhankelijkheden

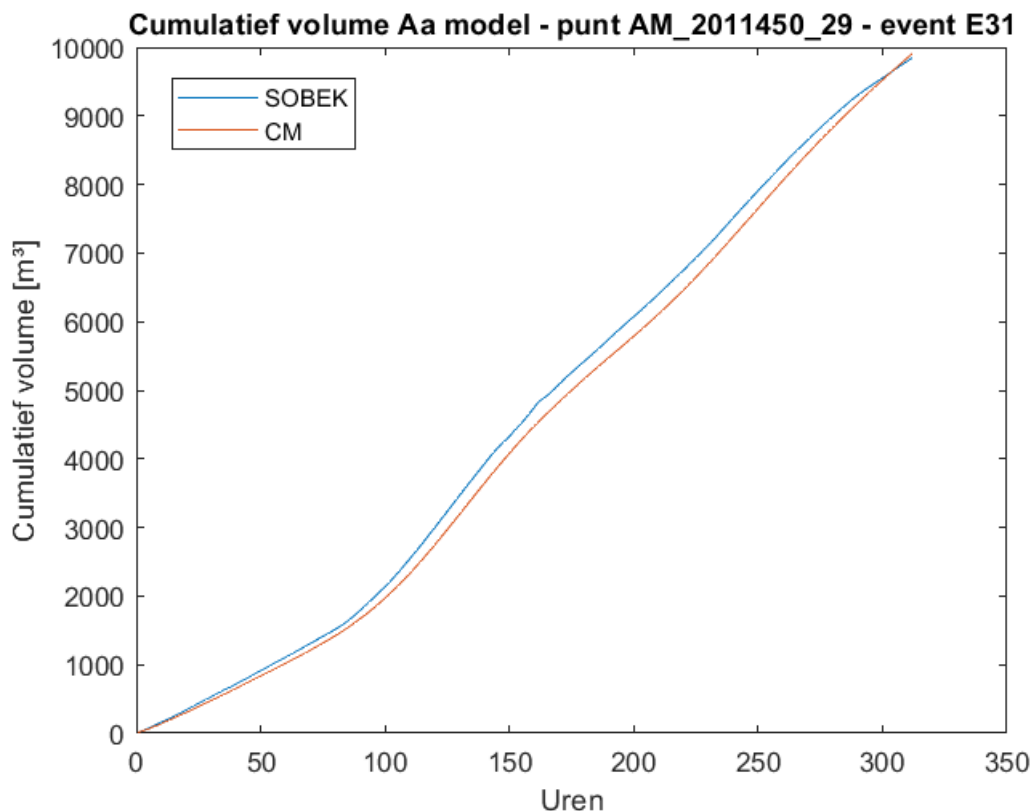
3.3 Resultaten

Figuur 11 toont de resultaten voor het debiet in de Aa ter hoogte van 's Hertogenbosch (link AM_2011450_29). De algemene vorm van het debiet wordt goed benaderd. De scherpe pieken die in Sobek voorkomen komen niet terug in de resultaten van het conceptueel model. Dit is echter te verwachten met de ruwere aanpak die hier is toegepast. Bovendien kan de vraag gesteld worden of het wel wenselijk is om de zeer scherpe pieken uit SOBEK zeer nauwkeurig te benaderen, aangezien die ook veroorzaakt kunnen zijn door modelinstabiliteiten of zeer specifieke stuwregelingen.



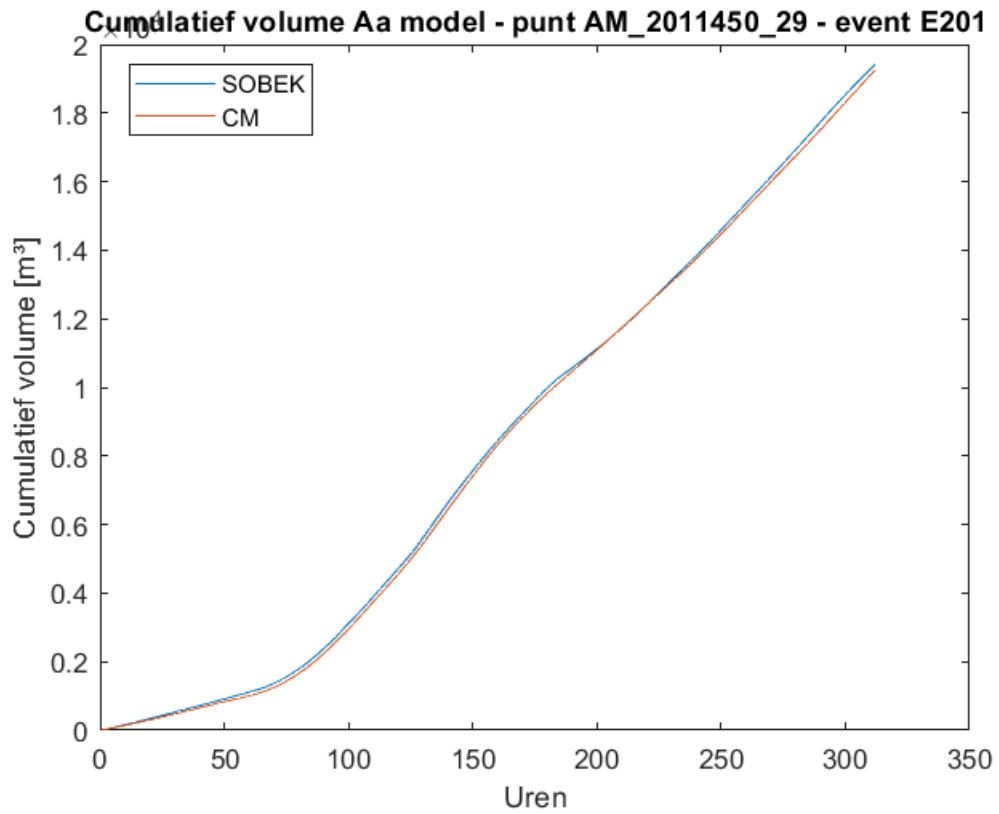
Figuur 11: Resultaten debiet in Aa ter hoogte van 's Hertogenbosch

Figuur 12 en Figuur 13 tonen de berekende cumulatieve afvoerdebieten ter hoogte van 's Hertogenbosch over de link 'AM_2011450_29' voor respectievelijk de gebeurtenissen met 30 en 200 mm in combinatie met een hoge Maasstand. Zoals te zien is op Figuur 12 ontstaat er rond uur 100 een afwijking tussen beide modellen voor de gebeurtenis "E31". De afwijking blijft nagenoeg constant, en in de grootteorde van circa 5%. Deze afwijking ontstaat doordat het conceptueel model de zeer snelle en bijzonder grote debietsschommelingen uit het SOBEK model niet volledig volgt (zie ook Figuur 11 bij gebeurtenis "E31"). Belangrijk is evenwel dat de afwijking niet verder toeneemt, wat aangeeft dat het debiet verder wel zeer goed benaderd wordt. De afwijking wordt daarom als aanvaardbaar beschouwd.



Figuur 12: Cumulatief volume over link 'AM_2011450_29' te 's Hertogenbosch voor de blokbui van 30 mm in combinatie met hoge Maas (=event 'E31').

Figuur 13 toont het cumulatief volume op dezelfde locatie, maar voor de meer extreme gebeurtenis "E201". Deze gebeurtenis omvat een blokbui van 200 mm verspreid over 3 dagen in combinatie met een hoge Maasstand. Uit deze figuur blijkt dat de afwijkingen zeer beperkt blijven. Eventuele verschillen in ogenblikkelijke debieten (zie Figuur 11 ter hoogte van gebeurtenis "E201") zijn dus niet meer zichtbaar op de figuur van de cumulatieve volumes.



Figuur 13: Cumulatief volume over link 'AM_2011450_29' te 's Hertogenbosch voor de blokbui van 200 mm in combinatie met hoge Maas (=event 'E201').

4 Koppeling modellen Vossenbeemd en Aa

Na kalibratie van beide modellen, werden deze aan elkaar gekoppeld. Op die manier vormen de outputs van het model van Vossenbeemd de inputs van het model van de Aa. Tabel 1 vat de links samen die gekoppeld worden. Concreet zijn er 6 uitgaande links van het Vossenbeemd model die als input fungeren als voor het Aa model. Deze koppeling gebeurt intern binnen het opgeleverde conceptuele model van het ganse stroomgebied, en moet dus niet expliciet opgegeven worden door de eindgebruiker.

Het model van Vossenbeemd rekent met een tijdstap van 30 minuten, terwijl het model van de Aa een uurlijkse tijdstap gebruikt. De rekenresultaten van het Vossenbeemd model worden bijgevolg geaggregeerd tot uurlijks niveau vooraleer deze aangelegd worden aan het Aa model. Deze aggregatie gebeurt eveneens intern in het conceptueel model.

Tabel 1: Koppeling modellen Vossenbeemd en Aa.

Output Vossenbeemd model	Input Aa model
2030240_b	Aa95
2011480_b	Aa2011530_b
2570009_b	Aa32
2610170_b	AaFXCL11060
2610079_b	Aa2530021_b
CONN2369	AaCONN2363

De overige randvoorwaarden (inkomende debieten aan het model van Vossenbeemd en de Aa; en een waterstand van de Maas voor het Aa model) worden apart opgelegd aan het conceptueel model. Dit wordt uitvoeriger besproken in §5.2.2.

5 Simuleren van het conceptueel model

5.1 Grafische gebruikersinterface model Vossenbeemd

Het finale gekoppelde model van Vossenbeemd en Aa werd enkel als aanstuurbare executable opgeleverd om de beoogde stochastische analyse te vereenvoudigen. Deze procedure wordt beschreven in §5.2.

Om simulaties met het model Vossenbeemd uit te voeren is een Graphical User Interface (GUI) opgebouwd (Figuur 14). In deze GUI dient de gebruiker de folder met de input bestanden te selecteren en de folder waarnaar hij de resultaten wil wegschrijven. Op deze manier kunnen verschillende events in 1 keer doorgerekend worden.



Figuur 14: Graphical User Interface conceptuele modellen

De inputreeksen dienen doorgegeven te worden in excel formaat. Deze excel file bevat de tijdreeksen die aangelegd dienen te worden als randvoorwaarden. Een voorbeeld wordt gegeven in Figuur 15. De resultaten worden in hetzelfde formaat weggeschreven.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		CONN626	CONN112	CONN548	2010075L	2940720L	2990010L	2920719L
2	DATE/TIME	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
3	2010-11-9 00:00	0.03	0	1	0.000179	0.002286	0.004843	0.000357
4	2010-11-9 01:00	0.03	0	1	0.000179	0.002286	0.004843	0.000357
5	2010-11-9 02:00	0.03	0	1	0.00018	0.002266	0.004863	0.000358
6	2010-11-9 03:00	0.03	0	1	0.000181	0.002249	0.004883	0.00036
7	2010-11-9 04:00	0.03	0	1	0.000182	0.002233	0.004903	0.000361
8	2010-11-9 05:00	0.03	0	1	0.000182	0.00222	0.004923	0.000363
9	2010-11-9 06:00	0.03	0	1	0.000182	0.002208	0.004923	0.000363
10	2010-11-9 07:00	0.03	0	1	0.000183	0.002196	0.004943	0.000364
11	2010-11-9 08:00	0.03	0	1	0.000184	0.002184	0.004963	0.000366
12	2010-11-9 09:00	0.03	0	1	0.000184	0.002175	0.004963	0.000366
13	2010-11-9 10:00	0.03	0	1	0.000185	0.002165	0.004983	0.000367
14	2010-11-9 11:00	0.03	0	1	0.000185	0.002155	0.004983	0.000367
15	2010-11-9 12:00	0.03	0	1	0.000185	0.002147	0.005003	0.000369
16	2010-11-9 13:00	0.03	0	1	0.000185	0.002139	0.005003	0.000369
17	2010-11-9 14:00	0.03	0	1	0.000186	0.002132	0.005023	0.00037
18	2010-11-9 15:00	0.03	0	1	0.000186	0.002124	0.005023	0.00037
19	2010-11-9 16:00	0.03	0	1	0.000187	0.002116	0.005043	0.000372
20	2010-11-9 17:00	0.03	0	1	0.000187	0.002108	0.005043	0.000372
21	2010-11-9 18:00	0.03	0	1	0.000188	0.002102	0.005063	0.000373
22	2010-11-9 19:00	0.03	0	1	0.000188	0.002094	0.005063	0.000373
23	2010-11-9 20:00	0.03	0	1	0.000188	0.002089	0.005063	0.000373
24	2010-11-9 21:00	0.03	0	1	0.000188	0.002083	0.005083	0.000375
25	2010-11-9 22:00	0.03	0	1	0.000188	0.002075	0.005083	0.000375
26	2010-11-9 23:00	0.03	0	1	0.000189	0.002069	0.005103	0.000376
27	2010-11-10 00:00	0.03	0	1	0.000189	0.002063	0.005103	0.000376
28	2010-11-10 01:00	0.03	0	1	0.000189	0.002057	0.005103	0.000376
29	2010-11-10 02:00	0.03	0	1	0.00019	0.002053	0.005123	0.000378
30	2010-11-10 03:00	0.03	0	1	0.00019	0.002047	0.005123	0.000378

Figuur 15: Voorbeeld input excel

5.2 Finaal opgeleverd model

Het finale model dat de koppeling omvat tussen de modellen van Vossenbeemd en Aa werd opgeleverd in de vorm van een aanstuurbare executable. Op die manier kan de beoogde stochastanalyse op een automatische manier uitgevoerd worden.

5.2.1 Installatie en uitvoeren van simulaties via de command line

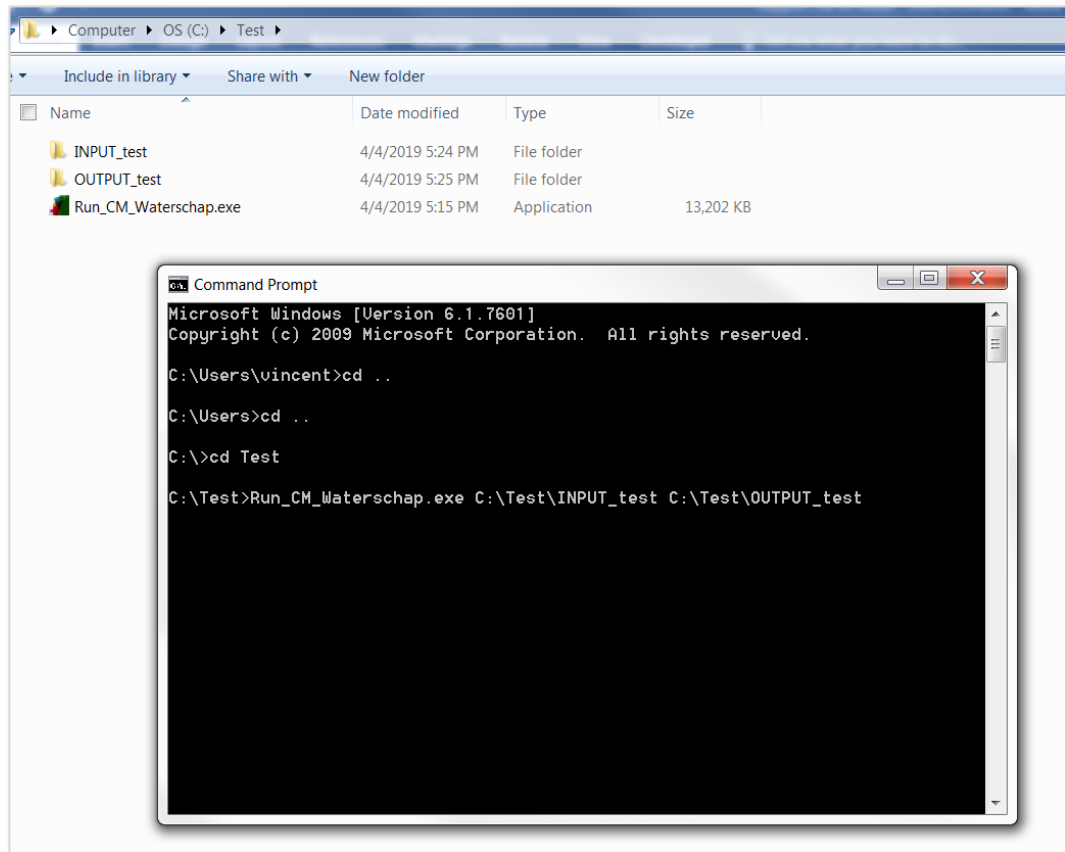
De executable vereist het installeren van MATLAB MCR framework 2017b (v9.3). Het is belangrijk dat **versie 2017b (v9.3)** geïnstalleerd wordt en geen meer recente of oudere versie. Dit framework kan gedownload worden vanaf de website van The Mathworks: http://ssd.mathworks.com/supportfiles/downloads/R2017b/deployment_files/R2017b/installers/win64/MCR_R2017b_win64_installer.exe Voor het installeren van dit framework zijn éénmalig administratorrechten vereist. Nadien kan de executable die het conceptueel model zelf voorstelt geopend worden zonder installatie. Bijgevolg zijn daar ook geen administratorrechten meer voor nodig.

De gebruiker kan gebeurtenissen in het model simuleren door in de command line het model aan te roepen, gevolgd door de paden waar de inputbestanden staan, en de outputbestanden worden weggeschreven. Zoals bij het aanroepen van elke executable moet het pad in de command prompt hetzelfde zijn als de locatie waar de tool (.exe) zelf staat. Dit kan via het commando *cd*. Vervolgens kunnen via volgend commando gebeurtenissen gesimuleerd worden:

Run_CM_Waterschap pad1 pad2

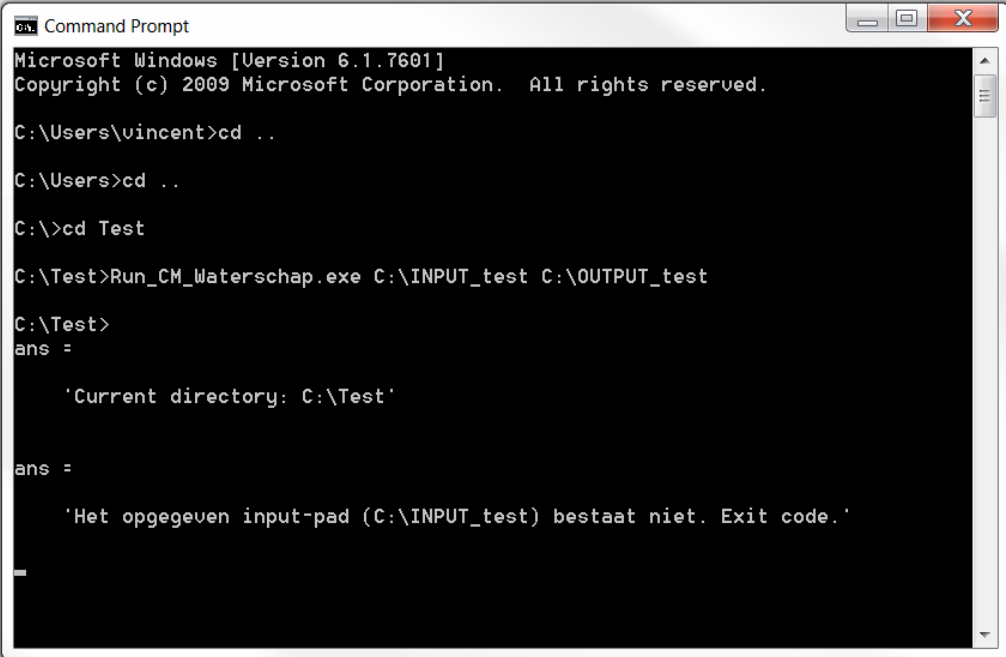
Met pad1 bijvoorbeeld C:\Users\vincent\INPUT

Figuur 16 toont een voorbeeld van het aanroepen van het model. Dit werd voor dit voorbeeld klaargezet in de map "Test" direct onder de C-schijf, maar dit kan eender waar geplaatst worden. Ook de mappen "INPUT_test" en "OUTPUT_test" kunnen elders geplaatst worden.



Figuur 16: Voorbeeld van het klaarzetten van de mappen en het aanroepen van het model via de Command Prompt.

Wanneer een ongeldige INPUT- of OUTPUT-folder gedefinieerd werd, toont de tool een waarschuwing: zie Figuur 17.



```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\vincent>cd ..
C:\Users>cd ..
C:\>cd Test
C:\Test>Run_CM_Waterschap.exe C:\INPUT_test C:\OUTPUT_test
C:\Test>
ans =
    'Current directory: C:\Test'
ans =
    'Het opgegeven input-pad (C:\INPUT_test) bestaat niet. Exit code.'
```

Figuur 17: Voorbeeld van een waarschuwing van een ongeldige INPUT-folder.

Vervolgens analyseert de tool welke inputbestanden klaar staan in de INPUT-folder. De inputbestanden moeten volgende naamgeving hebben:

Boundaries_Vossenbeemd_XXX.txt
Boundaries_Aa_XXX.txt

Met XXX de naam van een gebeurtenis. Dit mag een zelfgekozen naam zijn.

De tool onderzoekt vervolgens welke gebeurtenissen er (voor beide) modellen gedefinieerd zijn (zie Figuur 18). Al deze gebeurtenissen worden daarna automatisch gesimuleerd.

```
Command Prompt
common_events =

10x1 cell array

'E100'
'E101'
'E150'
'E151'
'E200'
'E201'
'E30'
'E31'
'E50'
'E51'

ans =

'E100'

ans =

'Start simulatie Vossenbeemd event E100...'
```

Figuur 18: Visualisatie van de geïdentificeerde events. De variabele “common_events” verwijst naar de gebeurtenissen die zowel voor het model van de Aa als het model van de Vossenbeemd gedefinieerd werden. Enkel wanneer de gebeurtenis voor beide modellen opgegeven werd, wordt de simulatie voor die gebeurtenis uitgevoerd.

De tool toont de progressie van deze simulaties (per gebeurtenis): zie Figuur 19.

```
Command Prompt

ans =

'Simulatie uitgevoerd in 0.00028128 seconden.'

ans =

'Resultaten Vossenbeemd event E51 exporteren...'

ans =

'Resultaten Vossenbeemd event E51 geëxporteerd.'

ans =

'Start simulatie Aa event E51...'

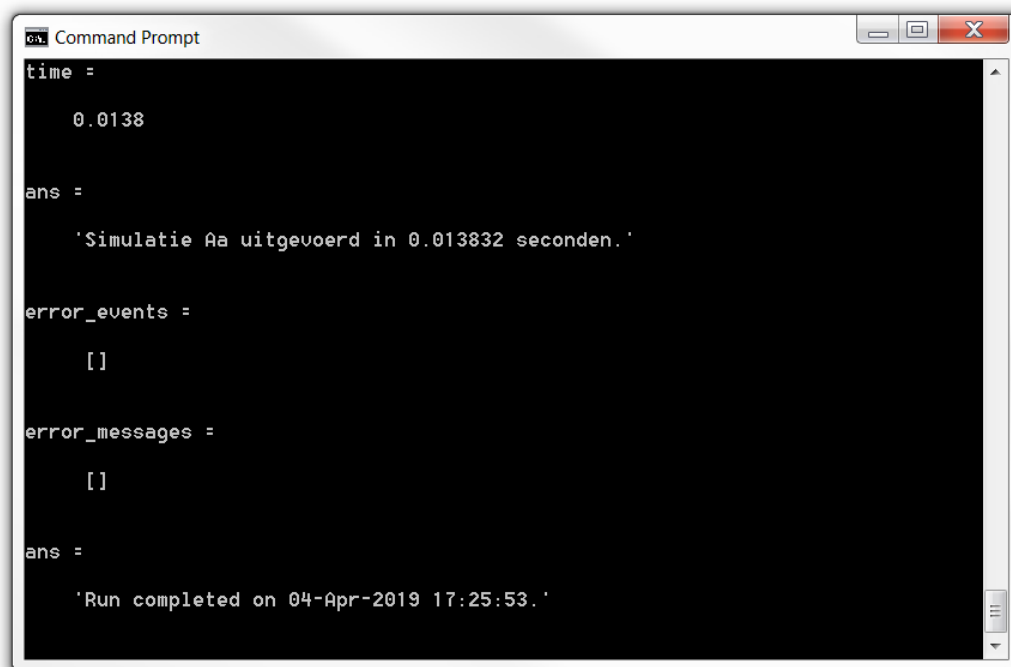
time =

0.0138
```

Figuur 19: Progressie van de simulatie.

Na afloop toont de tool de eventuele gebeurtenissen die niet gesimuleerd konden worden. Merk op dat wanneer een gebeurtenis om een of andere reden niet gesimuleerd kan

worden (bijvoorbeeld doordat de randvoorwaarden een kolom ontbreken, of verschillend zijn in lengte; zie ook §5.2.2), wordt deze ene gebeurtenis overgeslagen. Op die manier worden de overige gebeurtenissen wel gesimuleerd.



```
Command Prompt
time =
    0.0138
ans =
    'Simulatie Aa uitgevoerd in 0.013832 seconden.'
error_events =
    []
error_messages =
    []
ans =
    'Run completed on 04-Apr-2019 17:25:53.'
```

Figuur 20: Afsluitend bericht na het simuleren van alle geldige gebeurtenissen (input bestanden). Eventuele gebeurtenissen die niet gesimuleerd konden worden, zijn opgesomd onder “error_events”.

5.2.2 Definiëren van randvoorwaarden

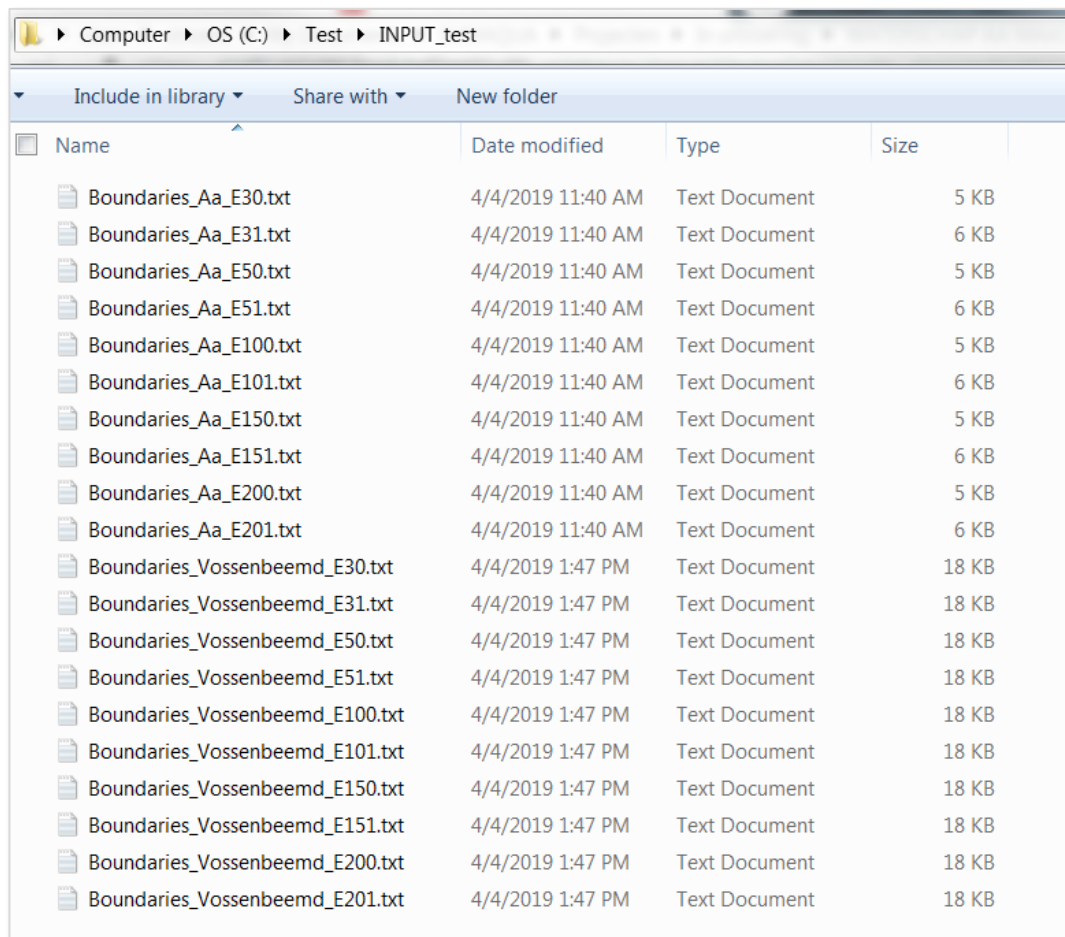
De inhoud van de **randvoorwaarden** is vanzelfsprekend verschillend per model, maar de randvoorwaarden moeten voldoen aan enkele vereisten:

- Enkel **uurlijkse** inputs kunnen gebruikt worden.
- De reeksen van beide modellen moeten eenzelfde aantal tijdstippen beschouwen, oftewel **even lang** zijn. Indien hier niet aan voldaan is, zal de tool een foutmelding tonen.
- Als scheidingsteken tussen kolommen moet een **tab** gebruikt worden. Het aantal decimalen is vrij te kiezen door de gebruiker. Elke kolom moet bovendien even lang zijn.

Het **Vossenbeemd** model omvat 6 polygonen (zie ook §2.2). Voor elke polygoon moet er 1 inkomende debietreeks als randvoorwaarde opgegeven worden. Dit debiet is de aggregatie van verschillende randvoorwaarden, zoals neerslagafstromingsdebieten of overstortreeksen vanuit verstedelijkt gebied. Het opgeleverde document “Overzicht boundaries per polygoon.xlsx” beschrijft per polygoon de knooppunten uit SOBEK die als randvoorwaarde geaggregeerd moeten worden. Dit aantal loopt sterk uiteen per polygoon: voor polygoon 2 worden bijvoorbeeld 490 knooppunten als input geaggregeerd, terwijl dit er voor polygoon 6 slechts 9 zijn. In totaal moet dit inputbestand bijgevolg 6 tijdreeksen

omvatten, namelijk een reeks voor elke polygoon. Indien een kleiner of groter aantal wordt aangelegd, toont de tool een foutmelding en onderbreekt deze de simulatie.

Het **Aa** model daarentegen is een single-reservoir model (zie ook §3.2). Bijgevolg worden quasi alle externe debieten (zoals neerslagafstromingsreeksen) geaggregeerd. Opgelet: de debietreeksen afkomstig uit het Vossenbeemd model moeten niet als randvoorwaarde opgelegd worden. Het model extraheert immers zelf die resultaten uit het Vossenbeemd model, en legt die aan als randvoorwaarde aan het Aa model. Derhalve moeten de knooppunten gedefinieerd in Tabel 1 niet geaggregeerd worden als input. Dit wordt ook geïllustreerd in het opgeleverde bestand "Boundaries_Aa_E200_uitleg.xlsx". Naast de debietreeksen wordt ook het peil van de Maas ter hoogte van knooppunt "AM_CONN10368" opgelegd als randvoorwaarde. Deze afhankelijkheid is immers nodig om de invloed van de Maas op de afvoer van de Aa te kunnen simuleren. In totaal moet dit inputbestand bijgevolg 2 tijdreeksen omvatten, namelijk de waterstand van de Maas in de eerste kolom, en de geaggregeerde debietreeks (exclusief inputs vanuit het Vossenbeemd model) in de tweede kolom. Indien een ander aantal reeksen wordt aangelegd, toont de tool een foutmelding.



Figuur 21: Voorbeeld van de INPUT-folder.

De **simulatiere resultaten** worden weggeschreven naar Excels in de gedefinieerde output-folder. Deze outputmap moet door de gebruiker opgegeven worden als argument bij het

aanroepen van de tool. De resultaten worden uurlijks weggeschreven over de volledige duur van de inputreeks. De tool schrijft zowel de gesimuleerde debieten als de volumes weg. De resultaten van de modellen van Vossenbeemd en Aa worden apart bijgehouden. In het totaal worden er respectievelijk 35 en 2 debietknooppunten weggeschreven voor de modellen van Vossenbeemd en de Aa, en 6 en 1 volumeknoppen. Deze behouden telkens hun originele naamgeving vanuit het SOBEK model.

Name	Date modified	Type	Size
Results_Aa_Debieten_E30.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E31.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E50.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E51.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E100.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E101.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E150.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E151.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E200.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Debieten_E201.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	19 KB
Results_Aa_Volume_E30.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E31.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E50.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E51.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E100.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E101.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E150.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E151.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E200.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Aa_Volume_E201.xlsx	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	14 KB
Results_Vossenbeemd_Debieten_E30.x...	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	166 KB
Results_Vossenbeemd_Debieten_E31.x...	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	166 KB
Results_Vossenbeemd_Debieten_E50.x...	4/4/2019 5:38 PM	Microsoft Excel W...	166 KB

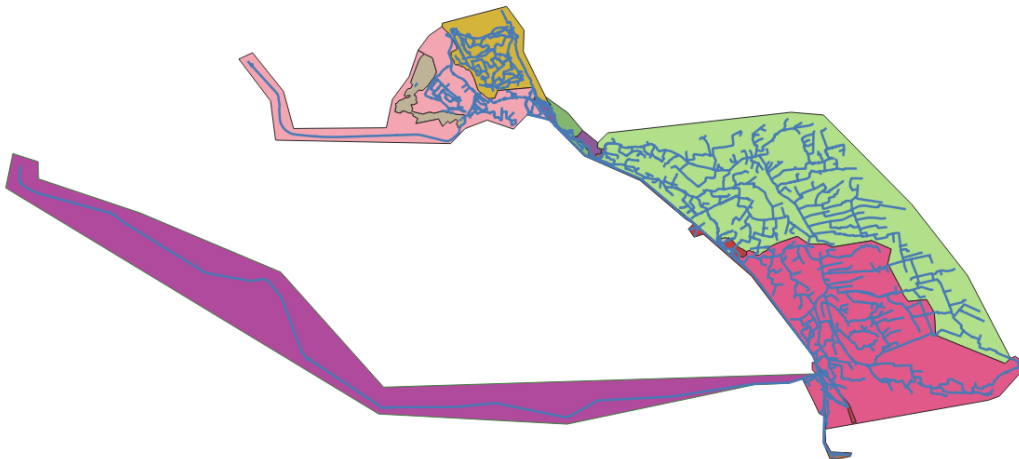
Figuur 22: Voorbeeld van de OUTPUT-folder: alle gesimuleerde debieten en volumes van beide gebeurtenissen zijn hier terug te vinden in .xlsx-formaat.

Tezamen met de modelcode werden **voorbeelden** opgeleverd om de tool te gebruiken, en de inputbestanden aan te maken.

6 Bijlage A: Problematiek 2D fluxen

De 2D fluxen in Sobek werden oorspronkelijk bepaald aan de hand van line elements. Wanneer deze gebruikt werden voor het opstellen van de waterbalans resulteerde dit voor het Vossenbeemd model in realistische verlopen van de volumes, behalve van polygoon 4, zie paragraaf 2.2. Mist een kleine correctie van een van de 2D fluxen kon het conceptueel model Vossenbeemd opgesteld worden. Bij het Aa model bleken deze 2D fluxen echter belangrijker en konden deze niet eenvoudig gecorrigeerd worden zodoende realistische waterbalansen te bekomen. Deze bijlage bespreekt deze problematiek en de poging die ondernomen is om deze 2D fluxen via een alternatieve methode te bepalen.

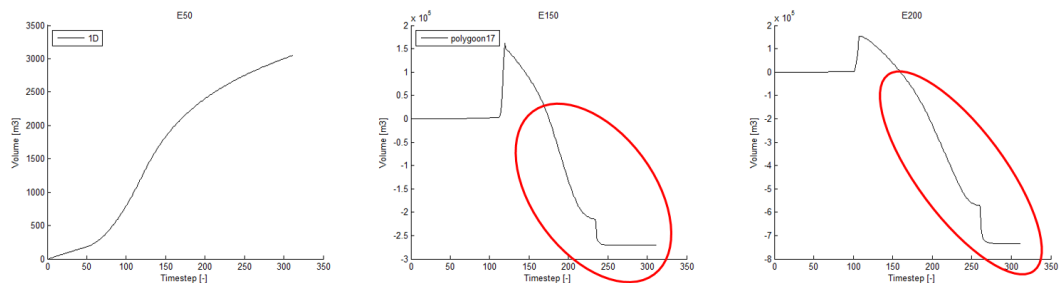
Figuur 23 en Figuur 24 tonen respectievelijke de oorspronkelijke indeling in polygoon van het Aa model en de line elements om de 2D fluxen te bepalen. Wanneer de 2D fluxen uit Sobek echter werden gebruikt om de waterbalansen van de polygoon op te stellen bleek dat deze een onrealistisch verloop vertoonden tijdens de bui. Figuur 25 toont een voorbeeld van een polygoon waarbij het volume een realistisch verloop vertoont bij minder extreme events (waarbij er geen of beperkte 2D fluxen zijn), maar een onrealistisch verloop bij extreme events waar de 2D fluxen een grote rol spelen. Dit duidt er op dat de oorzaak van de onrealistische volume verlopen te wijten is aan de 2D fluxen.



Figuur 23: Oorspronkelijke indeling Aa model



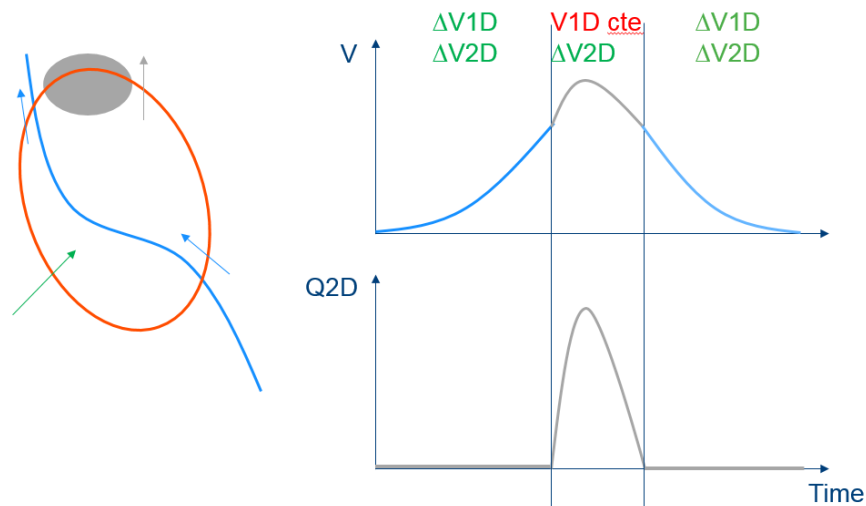
Figuur 24: Oorspronkelijke line elements Aa model



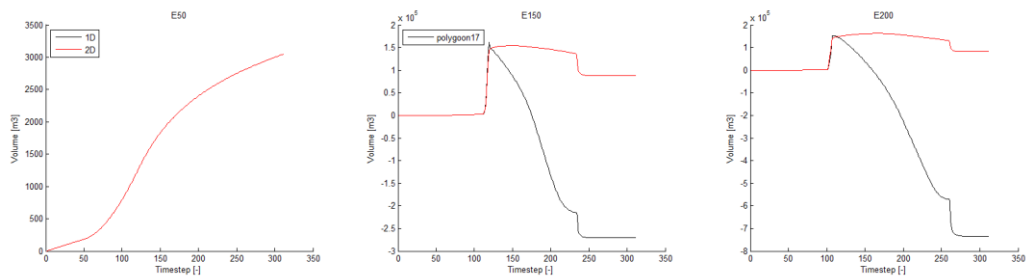
Figuur 25: Onrealistische verloop van het volume wanneer de 2D fluxen uit Sobek worden gebruikt

Uit onderzoek van Deltares bleek dat ten gevolge van het aaneengeschakeld gebruik van line elements bepaalde 2D fluxen dubbel geteld werden, waardoor de 2D fluxen overschat werden. Zie nota Deltares voor meer details hieromtrent. Onder andere deze overschattingen resulteerden in onrealistische waterbalansen wanneer de 2D fluxen bekomen uit Sobek rechtstreeks gebruikt werden om deze op te stellen. Daarom is gepoogd deze 2D fluxen op een alternatieve manier te bepalen.

Deze alternatieve methode bestaat uit het gecombineerde gebruik van de 1D waterbalans en 2D flood maps zie Figuur 26. Zolang er geen 2D fluxen worden vastgesteld in de beschouwde polygoon wordt de waterbalans opgesteld op basis van de continuïteitsvergelijking (opgaande blauwe flank). In deze fase worden zowel 1D volumeverandering als 2D volumeveranderingen in rekening gebracht. Wanneer er een 2D flux wordt vastgesteld in de Sobek resultaten van deze polygoon wordt de volumeverandering in de polygoon bepaald aan de hand van de resultaten in de asci bestanden van de 2D overstromingsdieptekaarten. In deze fase (grijze piek) worden dus alleen 2D volumeveranderingen in rekening gebracht en geen 1D volumeveranderingen. Het 1D volume wordt met andere woorden constant verondersteld. Wanneer de 2D flux voorbij is in de Sobek resultaten wordt opnieuw overgeschakeld naar het opstellen van de waterbalans aan de hand van de 1D resultaten en worden opnieuw zowel 1D als 2D volumeveranderingen in rekening gebracht (dalende blauwe flank). Figuur 27 toont in het rood de waterbalans aan de hand van deze gecombineerde aanpak.

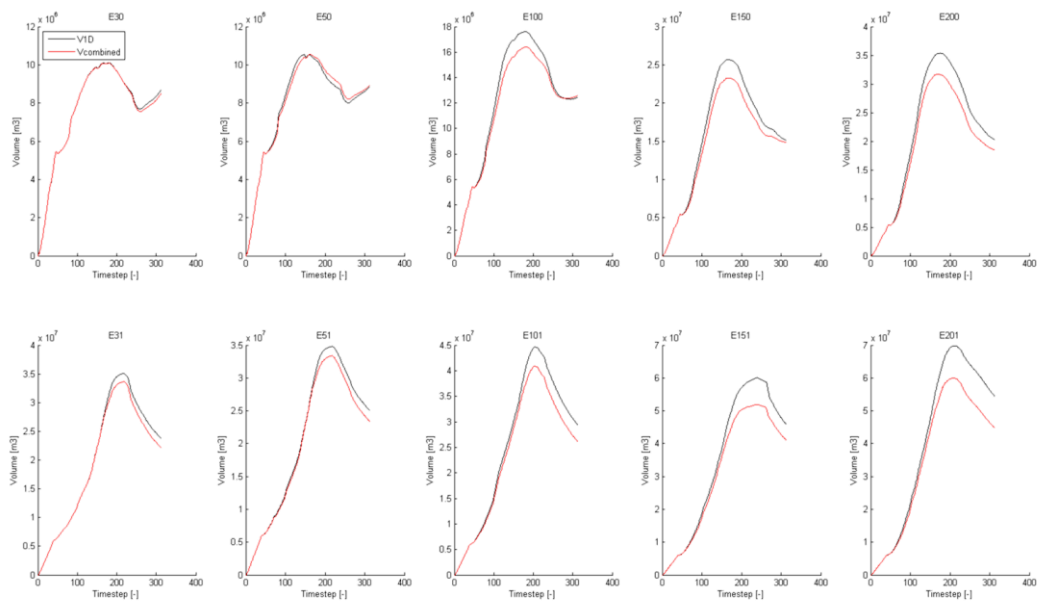


Figuur 26: Opstellen waterbalans aan de hand van de 1D waterbalans en 2D flood maps

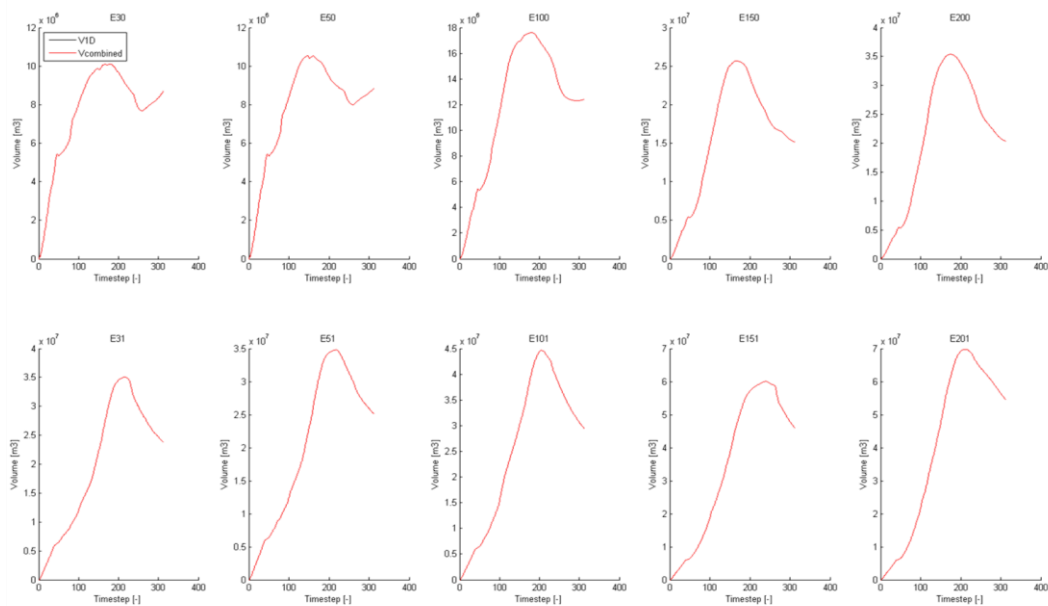


Figuur 27: Waterbalans opgesteld aan de hand van gecombineerde 1D-2D aanpak (rood)

Door het constant veronderstellen van het 1D volume tijdens de grijze fase wordt echter een fout op het volume bekomen. Het 1D volume zal tijdens deze fase immers niet constant blijven, maar zal ook veranderen. Dit wordt duidelijk wanneer we het totale volume in het netwerk beschouwen (en de invloed van de 2D fluxen tussen de verschillende polygonen dus kortsluiten), zie Figuur 28. Om deze fout te compenseren en het totale volume in het netwerk correct in te schatten worden de volumereeksen bepaald aan de hand van de gecombineerde 1D-2D aanpak gecorrigeerd. Op elk tijdstip in de tijd wordt de fout op het totale volume in het netwerk bepaald. Deze fout wordt dan verdeeld over de verschillende polygonen waar op dat tijdstip een 2D flux in Sobek is vastgesteld, volgens een verdeelsleutel. Deze verdeelsleutel is opgesteld op basis van het maximale 1D volume in elke polygoon voor het minst extreme event (E30). Dit 1D volume is opgesteld op basis van de continuïteitsvergelijking en betrouwbaar geacht gezien de beperkte aanwezigheid van 2D fluxen. Er wordt verondersteld dat dit 1D volume representatief is voor de 1D volume capaciteit in elke polygoon. Na deze correctie is het totale volume in het netwerk met de gecombineerde 1D-2D aanpak hetzelfde als met de continuïteitsvergelijking, zie



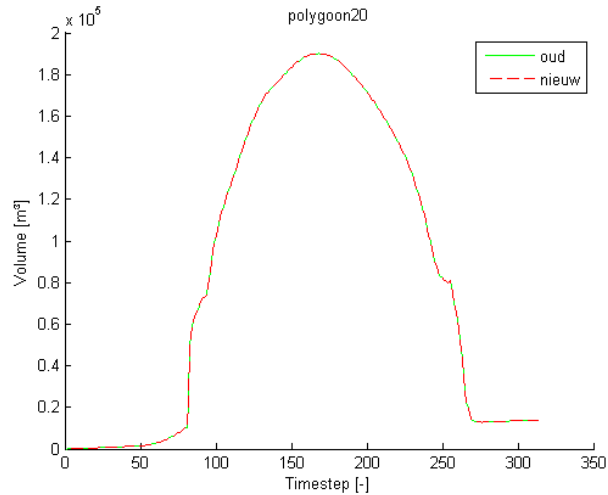
Figuur 28: Vergelijking totale volume in het netwerk aan de hand van de continuïteitsvergelijking (zwart) en de gecombineerde 1D-2D aanpak (rood)



Figuur 29: Vergelijking totale volume in het netwerk aan de hand van de continuïteitsvergelijking (zwart) en de gecombineerde 1D-2D aanpak na correctie (rood)

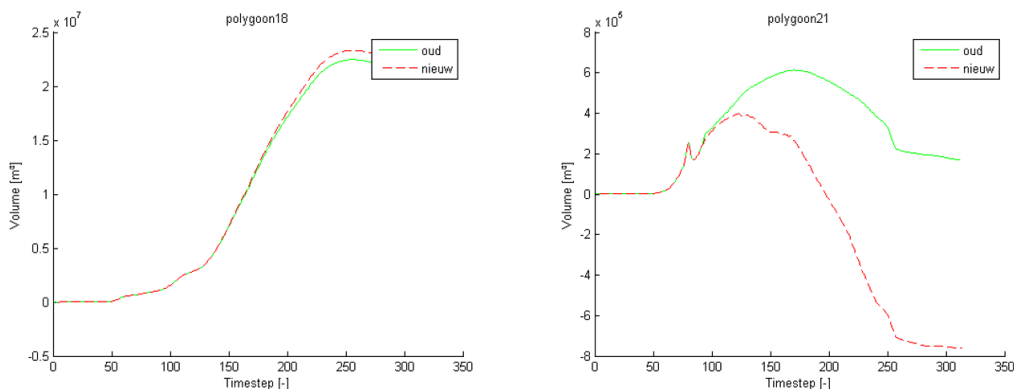
Op basis van de gecorrigeerde gecombineerde 1D-2D volumes, de 1D debieten en de randvoorwaarden kan met behulp van de continuïteitsvergelijking de bijhorende netto 2D flux bepaald worden per polygoon per tijdstap. Op basis van deze netto 2D flux kunnen dan de oorspronkelijke 2D fluxen zoals uit Sobek geëxporteerd gecorrigeerd worden. Deze correctie gebeurt door de netto 2D flux correctie te bepalen en deze te verdelen over de

verschillende 2D fluxen volgens de absolute waarde van de Sobek 2D fluxen. Wanneer deze aanpak wordt toegepast voor 1 enkele polygoon en vervolgens de waterbalans van die polygoon wordt opgesteld aan de hand van de continuïteitsvergelijking waarbij niet de Sobek 2D flux gebruikt wordt, maar de zonet gecorrigeerde 2D flux, dan wordt hetzelfde volumeverloop bekomen als het gecorrigeerde gecombineerde 1D-2D volume, zie Figuur 30.



Figuur 30: Vergelijking van het volume in polygoon 20 aan de hand van de continuïteitsvergelijking na correctie van de 2D fluxen (rood) en de gecombineerde 1D-2D aanpak na correctie (groen)

Deze correctie van de 2D fluxen wordt toegepast op elke polygoon afzonderlijk. Bijgevolg is het mogelijk en zeer waarschijnlijk dat voor eenzelfde 2D flux een verschillend debiet wordt bepaald tijdens de correctie van de 2 aangrenzende polygoonen. Bijgevolg is een iteratieve aanpak gehanteerd waarbij de 2D fluxen die gecorrigeerd worden in 2 verschillende polygoonen uitgemiddelde worden ten opzichte van elkaar en als startwaarde worden aangenomen voor de 2D flux tijdens de volgende iteratie. Voor de minst extreme events liggen de volumes opgesteld met deze iteratief gecorrigeerde 2D fluxen in de buurt van de oorspronkelijk gecorrigeerde gecombineerde 1D-2D volumes, zoals te zien is op de linker grafiek in X. Voor de extreme events, en vooral in de events met een hoge Maasstand, worden zelfs na zeer veel iteraties nog steeds grote afwijkingen van de volumes vastgesteld (rechter grafiek van X).



Figuur 31: Vergelijking van het volume in polygoon 18 en polygoon 21 aan de hand van de continuïteitsvergelijking na iteratieve correctie van de 2D fluxen (rood) en de gecombineerde 1D-2D aanpak na correctie (groen)

Gezien de resterende grote afwijkingen en het niet pasklaar zijn van een goede methode om de 2D fluxen te bepalen is er voor gekozen om een andere aanpak te hanteren voor het Aa model dan voor het Vossenbeemd model. Deze aanpak bestaat in een ruwere conceptualisatie van het netwerk tot 1 reservoir, zie paragraaf 3.1.

AFDELING HYDRAULICA
Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448
3001 HEVERLEE (LEUVEN), BELGIË
tel. + 32 16 32 16 58
tel. secr. +32 16 32 14 74
fax + 32 16 32 19 89
Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be
bwk.kuleuven.be/hydr

