



hydroconsult
siebe bosch

specialists in water management

WERKBOEK

Hoogwater op de Waal

Inhoud

11. Inleiding	35
11.1 Introductie	35
11.2 Leerdoelen	35
11.3 Probleembeschrijving	36
11.4 Oplossingsrichtingen	36
11.4.1 Water vasthouden	37
11.4.2 Water bergen	37
11.4.3 Water afvoeren	37
12. De opdracht	38
12.1 Inleiding	38
13. De modelschematisatie kalibreren	39
13.1 Randvoorwaarden opleggen	39
13.2 Kalibreren	41
13.2.1 Inleiding	41
13.2.2 Werkwijze	41
14. De modelschematisatie valideren	44
15. Een extreme afvoergolf	45
16. Klimaatscenario	46
17. Hoogwatergeul	47
18. Gevoeligheidsanalyse	48
19. Literatuur	49

11

11. Inleiding

11.1 Introductie

Door klimaatveranderingen zal de Rijn in de toekomst grotere hoeveelheden water moeten kunnen afvoeren dan nu het geval is. De verwachting is dat de maatregelen die nu worden getroffen om de hem veiliger te maken, voor de langere termijn nog niet voldoen. Rijk, provincie en gemeenten anticiperen hier onder meer op met het Deltaprogramma Rivieren (DPR). Een verdere vergroting van de afvoercapaciteit kan worden gerealiseerd door dijkverhoging en/of rivierverruiming.

Voor het westelijk deel van de Waal is gekozen voor een combinatie van rivierverruiming en dijkmaatregelen. Dit is vastgelegd in de voorontwerp-structuurvisie WaalWeelde West. In deze structuurvisie zijn drie grote maatregelen opgenomen, waaronder een hoogwatergeul bij Varik en Heesselt. Een hoogwatergeul is gekwalificeerd als een aantrekkelijke, rivierverruimende optie die bovendien goede mogelijkheden biedt voor meekoppelkansen.

Bron: Bandbreedte hoogwatergeul Varik-Heesselt

Lees voor meer informatie over de hoogwatergeul het bijgevoegde document 'Bandbreedte hoogwatergeul Varik-Heesselt'.

11.2 Leerdoelen

Deze opdracht bestrijkt een groot gedeelte van een modelleerproject. Je leert een model ijken aan meetwaarden (kalibreren) uit een hoogwaterperiode, vervolgens valideren aan een andere hoogwaterperiode, en tenslotte ga je de hoogwatergeul modelleren die zorgt voor een waterstanddaling op de Waal van minimaal 45 cm bij een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s bij Lobith en voer je een gevoeligheidsanalyse van de hoogwatergeul uit voor begroeiing en zandaanwas.

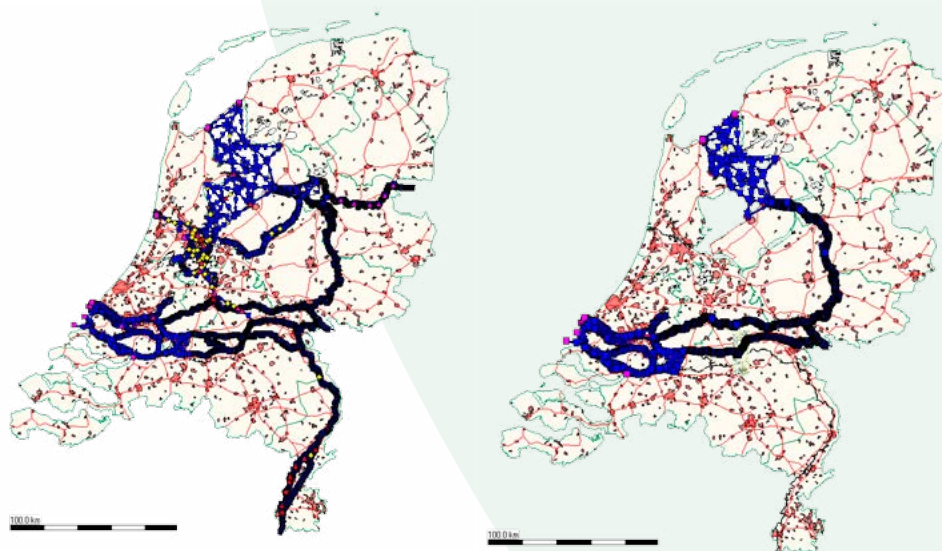
- Vereiste voorkennis: SOBEK 1D-Flow;
- Vereiste software: SOBEK River Flow, Excel.

11.3 Probleembeschrijving

Je krijgt de landsdekkende modelschematisatie in de SOBEK 1D River Flow-module tot je beschikking. Deze modelschematisatie moet nog worden gekalibreerd. Nadat je het model hebt gekalibreerd, ga je het valideren door ook voor een andere periode te beoordelen of het model nu naar verwachting functioneert.

Tenslotte ga je in de modelschematisatie het effect van klimaatverandering doorvoeren. In dit geval laten we de afvoergolf uit de kalibratieperiode tot 16.000 m³ en 18.000 m³ toenemen. Aan jou is vervolgens de taak om de hoogwatergeul zo te dimensioneren dat er een verlaging van 45 cm op de Waal wordt bereikt.

Om de opdracht enigszins beheersbaar te houden, hebben we de Maas verwijderd uit de schematisatie.



FIGUUR 21 De oorspronkelijke (links) modelschematisatie en de bijgeknippte (rechts) modelschematisatie.

Het resultaat is een model waarmee de waterbeweging in het bovenstroomse deel van de Nederlandse rijntakken goed kan worden gesimuleerd.

11.4 Oplossingsrichtingen

Hoogwater op een rivier kan op verschillende manieren worden opgelost, namelijk door

1. bovenstrooms water langer vast te houden (Vasthouden)
2. door het tijdelijk ergens te parkeren (Bergen) of
3. door het sneller af te voeren (Afvoeren).

11.4.1 Water vasthouden

Het vasthouden van water in het stroomgebied zelf heeft eigenlijk altijd de voorkeur. Door gebruik te maken van de natuurlijke bufferende capaciteit van de bodem en vegetatie wordt de veerkracht van het watersysteem groter, en zullen extremen in de afvoer en waterhoogtes minder groot worden. Bovendien komt de bovenstrooms vastgehouden hoeveelheid water weer van pas in droge periodes. In het geval van Rijnstroomgebied vergt het een enorme politieke inspanning om die natuurlijke veerkracht te vergroten, al gebeurt dat wel; bijvoorbeeld in de Europese Kaderrichtlijn Water. Voor deze opdracht laten we de optie “water vasthouden” echter buiten beschouwing, vooral omdat we daarvoor een totaalmodel van het stroomgebied van de Rijn nodig zouden hebben, met inbegrip van componenten als vegetatie en grondwater.

11.4.2 Water bergen

Het tijdelijk bergen van water is een tweede optie. Dit kan bijvoorbeeld door noodoverloopgebieden in te richten: gebieden die met opzet onder water worden gezet wanneer zich een grote afvoergolf aandient. Een voorbeeld van een Noodoverloopgebied is de Ooijpolder in de omgeving van Nijmegen. Een alternatief voor noodoverloopgebieden is meestromende berging, al is het effect daarvan doorgaans een stuk kleiner.

11.4.3 Water afvoeren

De derde optie is het versneld afvoeren van het water. Dit kan door bijvoorbeeld het doorstromend profiel van de rivier te vergroten of een nevengeul te graven. Maar dit type oplossing heeft niet de voorkeur. Het probleem van versneld afvoeren is namelijk dat de benedenstrooms gelegen gebieden juist extra zwaar worden belast. Bovendien wordt bovenstrooms dan geen water vastgehouden voor droge periodes.

Het vasthouden van water in het brongebied zelf heeft dus altijd de voorkeur. Daarna komt het tijdelijk bergen van overtollig water en pas als laatste het versneld afvoeren. Deze werkvolgorde staat bekend als de trits vasthouden-bergen-afvoeren.

12. De opdracht

12.1 Inleiding

In 1995 trad de hoogste afvoer ooit gemeten op de Rijn op. Deze bedroeg ca. 12.000 m³/s. We nemen deze gebeurtenis als uitgangspunt voor de analyse van klimaatverandering.

Je gaat de opdracht uitvoeren volgens de belangrijkste stappen uit het handboek Good Modeling Practice (ref1). Dit betekent dat je in ieder geval de volgende stappen gaat uitvoeren:

1. Het ijken (kalibreren) van de modelschematisatie aan een periode met de extreemste afvoer ooit gemeten door bepaalde modelparameters aan te passen.
2. Het valideren van de modelschematisatie aan een alternatieve periode met extreme afvoer en beoordelen welke waterhoogtes optreden bij Zutphen.
3. De verwachte klimaatverandering doorvoeren in de afvoergolf van de validatie door deze op te waarderen tot resp. 16.000 en 18.000 m³/s en vervolgens de modelschematisatie opnieuw doorrekenen.
4. De hoogwatergeul bij Varik toevoegen aan de modelschematisatie en dusdanig te dimensioneren dat er een verlaging van 45 cm op de Waal wordt bereikt.
5. Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse voor begroeiing en zandaanwas in de nevengeul.

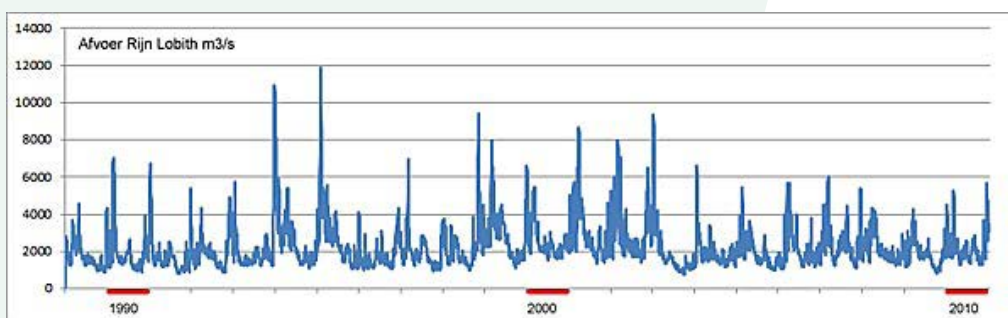
In de volgende hoofdstukken beschrijven we elk van de bovengenoemde stappen.

13

13. De modelschematisatie kalibreren

In deze eerste fase gaan we de modelschematisatie van de Rijntakken geschikt maken voor hoogwaterberekeningen. Dit betekent dat we eerst moeten beoordelen hoe goed het model functioneert voor een werkelijk opgetreden hoogwaterperiode. Als blijkt dat het model niet de gewenste waterstanden oplevert, kunnen we het optimaliseren door aan een of meer parameters te draaien.

Je gaat de modelschematisatie kalibreren aan de hoogwatergolf van eind januari 1995. Uit de onderstaande figuur van het afvoerverloop van de Rijn bij Lobith kun je afleiden dat er de afgelopen decennia twee grote pieken zijn geweest: in 1993 en 1995.



FIGUUR 22 De rijnafvoer sinds 1989 zoals gemeten bij Lobith. Bron: klimaatgek.nl

De afvoergolf uit 1995 was daarvan de hoogste. Tijdens de piek voerde de Rijn ca. 12.000 m³/s af. Ter vergelijking: Rijkswaterstaat beschouwt een afvoer van 16.000 m³/s als de afvoer die eens per ca. 1000 jaar wordt overschreden.

13.1 Randvoorwaarden opleggen

Het eerste wat moet gebeuren is de boven- en benedenstroomse randvoorwaarden opleggen voor de gekozen periode.

De volgende zaken heb je nodig:

- Afvoergolf voor de Rijn (Lobith)
- Getijdenrand voor Kornwerderzand (Afsluitdijk)
- Getijdenrand voor Den Oever (Afsluitdijk)
- Benedenrand voor de Lek (Noordzee)
- Benedenrand voor de Waal (Noordzee)

Opdracht 1. Zoek de benodigde gegevens voor de randknopen

Haal de benodigde gegevens voor heel de jaren 1993 t/m 1995 van internet en gebruik daarvoor de volgende bron: <http://live.waterbase.nl>. Je moet voor de randvoorwaarden gelegen in de Noordzee zelf even de juiste meetlocaties zoeken alvorens je de waterstanden kunt opzoeken. Gebruik daarvoor de kaart met meetlocaties: <http://bit.ly/1CGlynj>

Vul de randknopen (boundary nodes) in het SOBEK-model met de tijdreeksen die je hebt gedownload. Dit kan via Excel en vervolgens plakken in de tijdstabel in SOBEK.

N.B. als je iets geavanceerder wilt werken, dan kun je ook gebruikmaken van de functie WRITEPRNFILE in het bestand Excelfuncties v3.27.bas dat je vindt in de map Tools. Dit bestand kun je importeren in de Visual Basic Editor van Excel. Je moet dan op het werkblad een button-object aanmaken en in de code achter de button de functie WRITEPRNFILE aanroepen. De functie zal dan een .prn file aanmaken die je rechtstreeks in SOBEK op de randknoop kunt importeren.



LET OP: de tabellen met waterhoogtes zijn erg groot wanneer je in één keer 3 jaar aan 10-minutengegevens importeert. Als je de tabellen in SOBEK aanmaakt, moet je SOBEK echt even de tijd geven om de data intern op te slaan; anders krijg je een foutmelding. Druk dus niet meteen op <OK> of <Graph>, maar geef SOBEK een halve minuut de tijd om de gegevens te verwerken! Als alternatief kun je in Excel de data natuurlijk ook aggregeren naar uurwaarden.

Opdracht 2. Draai de simulatie

- Nadat je alle randen hebt gevuld, draai dan een simulatie voor de hoogwaterperiode van januari 1995. Begin je simulatie met een globale waterdiepte van 5m. Maak grafieken van het verloop van de waterhoogte en een Sideview om te beoordelen wat er gebeurt.
- Beoordeel hoe lang het model erover doet om 'ingespeeld' te raken. Anders gezegd: hoeveel tijd het model nodig heeft om vanaf de kunstmatig opgelegde beginvoorwaarde van 5 m diepte te komen tot een evenwichtssituatie.

Vraag 1.

- Wat moet je doen om problemen hiermee op te lossen (simulatie een grotere aanlooptijd geven of met een restart-file beginnen)?

13.2 Kalibreren

13.2.1 Inleiding

Wanneer je er zeker van bent dat de begincondities niet langer de berekende piekwaterstand beïnvloeden, kun je een serieuze simulatie draaien. We vinden het model pas geschikt voor hoogwaterberekeningen als de berekende hoogste waterstanden bij Zaltbommel (nabij Varik gelegen meetlocatie) minder dan 5 cm afwijken van de gemeten waarden! Maar ook voor de andere meetlocaties moeten we min of meer aan de gemeten waarden voldoen. We proberen op de overige locaties binnen een marge van 20 cm te blijven.

TABEL 1 Marges waaraan het model na kalibratie moet voldoen

Locatie	Marge
Zaltbommel	5 cm
Lobith	20 cm
Tiel	20 cm
Amerongen-bovenstrooms	20 cm

13.2.2 Werkwijze

Om je te helpen bij het kalibreren, krijg je de tool Results2Excel v9.4 tot je beschikking. Eén meetlocatie hebben we daarin al voor je geconfigureerd, namelijk Lobith. Gebruik dat voorbeeld om ook de data voor Zaltbommel, Tiel en Amerongen-bovenstrooms toe te voegen. Denk bij het configureren aan de volgende zaken:

- Tabblad 'start': locatie SOBEK-installatie
- Tabblad 'meetgegevens': tijdreeksen met gemeten waterhoogtes op de locaties
- Tabblad 'hisdata': het knoop-ID in SOBEK voor elk van de locaties
- Tabblad 'datasets': een juiste verwijzing naar de meetreeksen en de configuratie op 'hisdata'.

De werkelijke ligging van de meetlocaties van Rijkswaterstaat kun je vinden met behulp van de Geotool: <http://bit.ly/1CGlynJ>.

Als Results2Excel goed is geconfigureerd, kun je middels de dropdown-box op het tabblad 'start' de SOBEK-case selecteren, oude resultaten opschonen met de knop <opschonen> en de nieuwe resultaten inlezen met <laad resultaten> en <maak grafieken>.



LET OP: in de nieuwste Excel-versies werkt Results2Excel niet. In dat geval zul je zelf de waterhoogtes uit SOBEK moeten halen en naar Excel kopiëren om er grafieken van te maken.

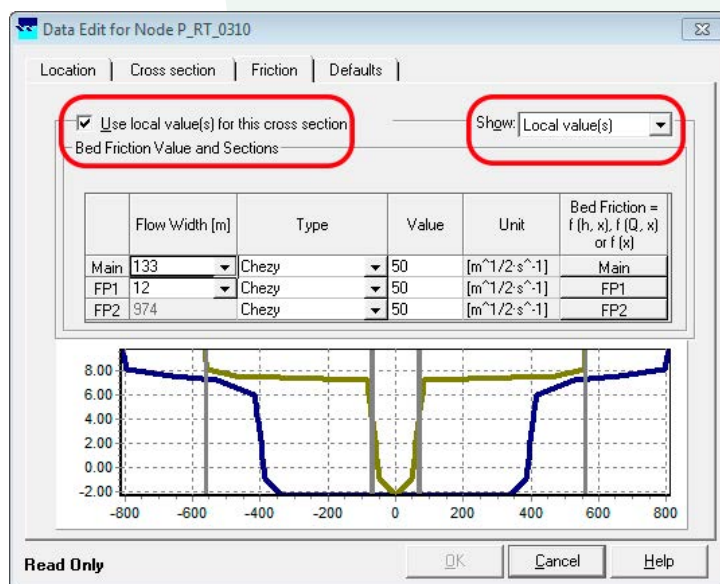
De volgende stap is het ijken van de modelschematisatie om de berekende waterhoogtes dichter in de buurt van de gemeten waarden te krijgen. Dit doe je door parameterwaarden aan te passen. Nu is een groot voordeel van hydraulische modellen dat er maar weinig parameters zijn waaraan je kunt draaien: de dwarsprofielen van de rivier zijn over het algemeen erg goed ingemeten, dus de enige relevante parameter die overblijft is de wandruwheid.

Opdracht 3. Kalibreer de modelschematisatie aan de gemeten waterhoogtes in 1995

- Kalibreer de maximale waterhoogtes tijdens de afvoergolf van 1995 in de schematisatie aan de gemeten waarden door de wandruwheid (friction) aan te passen. Werk toe naar een verschil tussen berekende en gemeten waarden bij Zaltbommel van minder dan 5 cm. Bij de overige meetpunten moet dit minder dan 20 cm zijn.

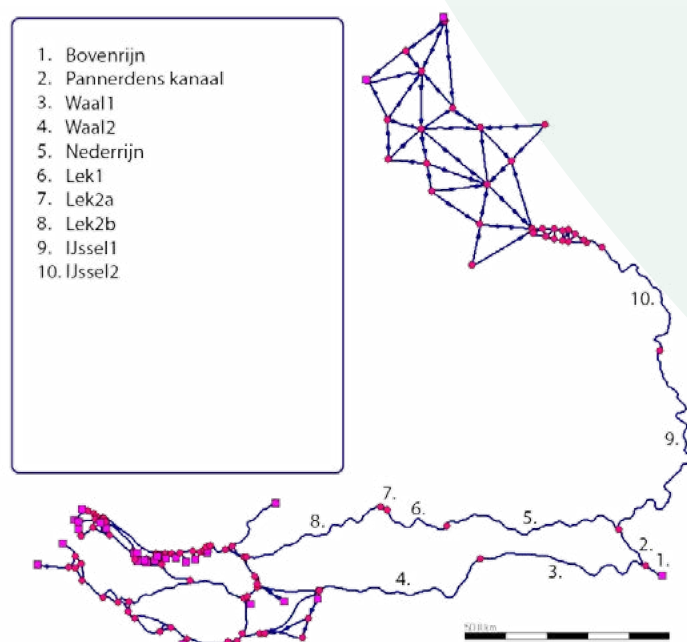
In de basisversie van het model is per tak een ruwheidswaarde (Chezy) gespecificeerd (local value(s)). Voor je zomerbed (main) en voor de uiterwaarden (flood plain (FP1 en FP2)) zijn aparte ruwheidswaarden ingevoerd. Je kunt de ruwheidswaarde als volgt wijzigen:

- Kies een willekeurig dwarsprofiel op de tak en open de model data
- Ga naar het tabblad Friction
- Pas de ruwheidswaarde(n) aan en druk op <OK>



FIGUUR 23 Lokale ruwheidswaarden per tak instellen.

Het maakt niet uit voor welk dwarsprofiel je dit doet. De nieuwe waarde zal van toepassing zijn op de **hele** tak. Om de kalibratie enigszins behapbaar te maken, bevat het model 10 takken met lokale ruwheidswaarden (Bovenrijn, Pannerdens Kanaal, Waal 1, Waal 2, Nederrijn, Lek 1, Lek 2a, Lek 2b, IJssel 1 en IJssel 2), zie figuur 4.



FIGUUR 24 Ligging takken met lokale ruwheidswaarden

De overige takken verwijzen naar de globale ruwheidswaarde.

Merk op dat verschillende riviertakken een verschillende wandruwheid kunnen krijgen om op het juiste resultaat uit te komen! Ook kan het zijn dat je voor de overstromingsvlaktes (FP1 en FP2) andere waarden moet instellen dan voor de hoofdgeul (Main).



Tip: kalibreer de wandruwheid van het zomerbed (main) op de aanloop van de afvoergolf (wanneer het waterniveau nog niet boven de zomerdijk uitkomt) en de wandruwheid van de uiterwaarden (floodplain) op de piek van de afvoergolf.

Welke waarden je hebt toegepast in je gekalibreerde model? Zijn de gekozen waarden realistisch? Bekijk daarvoor eens een tabel met ruwheidswaarden zoals bijvoorbeeld de tabel van Chow, 1959 (ref 2).

14. De modelschematisatie valideren

Nu de modelschematisatie gekalibreerd is voor een periode met extreme afvoer, moet het nog gevalideerd worden. Dit betekent dat we het onderwerpen aan een andere periode met extreme afvoer. Als ook dat resultaat goed uitpakt, weten we dat het geen toevalstreffer was (right for the wrong reasons), maar dat het model echt goed gekalibreerd is.

Het is normaal dat een validatie altijd iets minder goed is dan het kalibratieresultaat. Daarom nemen we als grens een afwijking van maximaal 10 cm tussen gemeten en berekende maximale waterhoogtes.

Opdracht 4. Reken het model door met de hoogwatergolf van december 1993

- Voed het model met randvoorwaarden om de hoogwatergolf van december 1993 door te rekenen en draai het model. Maak grafieken waarin je de gemeten waterhoogtes uitzet tegen de berekende waterhoogtes.
 - Als het verschil tussen gemeten en berekende maximale waterhoogtes groter is dan 10 cm, is de kalibratie niet helemaal goed gegaan. Ga dan terug naar het kalibratieproces.
-

15

15. Een extreme afvoergolf

De afvoergolven van 1993 en 1995 waren zeer hoog, maar niet extreem. Het zijn gebeurtenissen die eens in de 50 tot 100 jaar voorkomen (ref. 3). Voor de veiligheid van Nederland zijn we echter geïnteresseerd in gebeurtenissen die eens in de 1000 jaar voorkomen.

In deze opdracht nemen we aan dat een afvoergolf met een piek van 16.000 m³/s representatief is voor een gebeurtenis die gemiddeld eens per duizend jaar wordt overschreden. Het probleem is echter dat we zo'n afvoergolf niet hebben, simpelweg omdat die nog nooit is gemeten. We moeten dus een kunstmatige afvoergolf creëren met een piek van resp. 16.000 m³/s. Dit gaan we op een vrij eenvoudige manier doen. Neem de afvoergolf van Lobith uit 1995 en vermenigvuldig de debieten op zo'n manier dat de piek uitkomt op 16.000 m³/s. Daarbij nemen we aan dat de waterstanden op de Noordzee met 50 cm stijgen.

Opdracht 5. Reken het model door met de extreme afvoergolf

- Reken de modelschematisatie door met de aangepaste afvoergolf en bepaal wat de maximale waterhoogte bij Varik wordt.
-

16. Klimaatscenario

Rijkswaterstaat verwacht dat de T1000-afvoergolf als gevolg van klimaatverandering verhoogt van 16.000 m³/s naar 18.000 m³/s. Maak een variant van je modelschematisatie waarin deze aanpassing is verwerkt en reken hem door.

Opdracht 6. Plot de resultaten van de berekening in een Sideview

- Maak een Sideview van de IJssel met daarin de resultaten van de 16.000-berekening en daaraan toegevoegd de resultaten van de 18.000-berekening en verwerk dit in de rapportage. Beschrijf ook de mate waarin het peil bij Varik verhoogt als gevolg van de klimaatverandering.
-

17

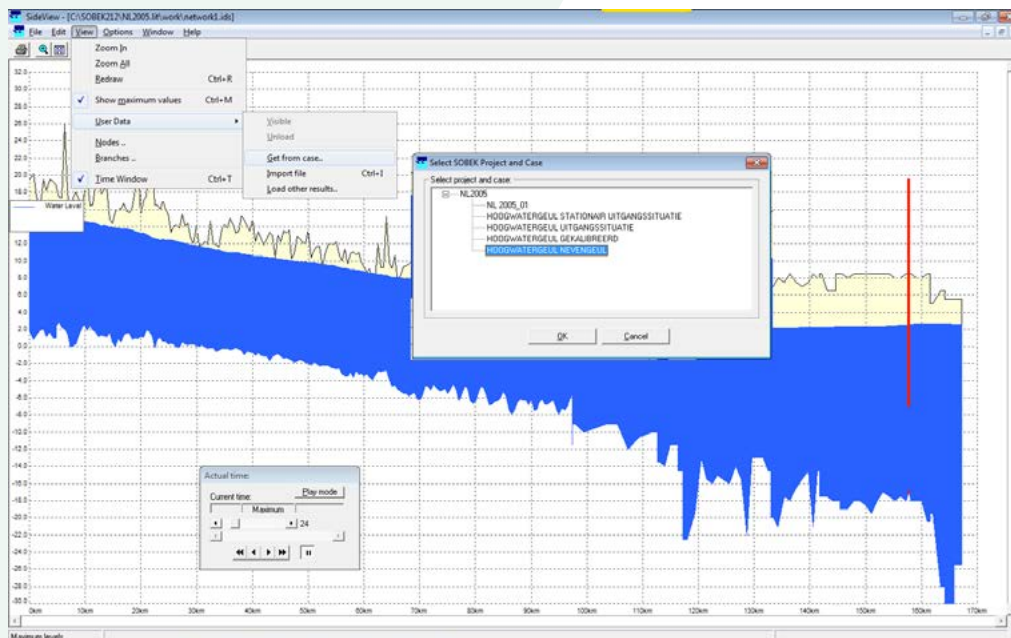
17. Hoogwatergeul

Nu we een gekalibreerd en gevalideerd model hebben kunnen we de hoogwatergeul bij Varik gaan schematiseren. In het document Bandbreedte hoogwatergeul Varik-Heesselt zijn drie alternatieve ontwerpen voor de hoogwatergeul uitgewerkt: Functioneel, Compact en Ruim. De opdracht is om alle drie alternatieven in Sobek in te bouwen en te toetsen of deze voldoen aan de eis 45 cm waterstandsverlaging op de Waal bij een afvoer van 18.000 m³/s bij Lobith.

Vraag 2. Wat is het verschil tussen de drie alternatieven?

- Bekijk de sideviews van de drie alternatieven en vergelijk ze onderling en met de uitgangssituatie zonder hoogwatergeul. Voldoen alle alternatieven aan de eis? Wat zou je evt. zelf willen veranderen aan de alternatieven?

Om de alternatieven snel te vergelijken in de side view kun je aan een side view van een bepaalde case het resultaat van een andere case toevoegen. Om de resultaten van een andere case toe te voegen, ga je in de side view naar View, Userdata, Get from case. Selecteer vervolgens een case (zie afbeelding) waarvan je de resultaten wilt toevoegen aan de side view. Vervolgens verschijnt er een extra lijn in de side view die de waterstand van de andere case weergeeft, zie onderstaand voorbeeld.



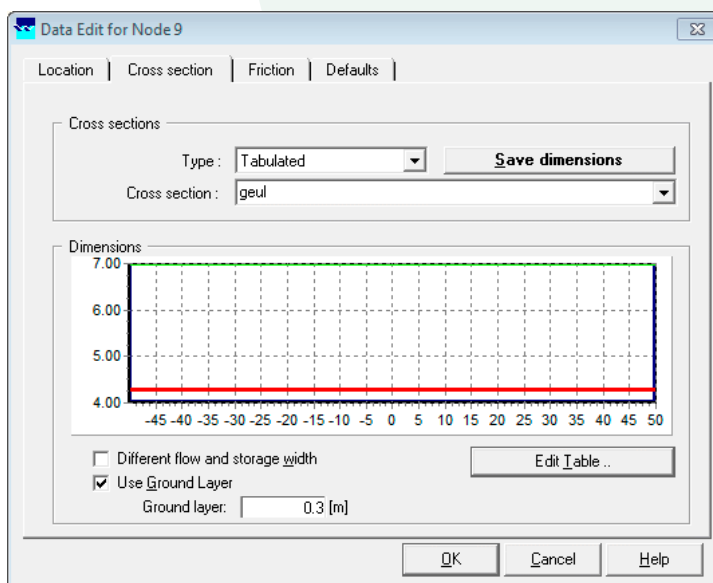
FIGUUR 25 Het resultaat van een andere case toevoegen aan je Sideview.

Opdracht 7. Bedenk zelf een vierde alternatief voor de hoogwatergeul en toets deze.

18. Gevoeligheidsanalyse

Tot slot gaan we onderzoeken hoe gevoelig de hoogwatergeul is voor begroeiing en zandaanwas. Varieer daarvoor de ruwheidswaarde van de hoogwatergeul en kijk naar het effect daarvan op de waterstand bovenstrooms op de Waal. Varieer ook de hoeveelheid zand (ground layer, zie hieronder) in de hoogwatergeul. Wat is het effect daarvan op de waterstand op de Waal? Maak een tabel of een grafiek waarin je de invloed laat zien.

Wanneer je een dwarsprofiel aan het editen bent, kun je de optie Use Ground Layer aanvinken, zie afbeelding hieronder. Je kunt nu een zogenaamde ground layer, ofwel een laag zand of slib, aan het profiel toevoegen. Sobek maakt het profiel dan ondieper en dit heeft gevolgen voor de doorstroming van je profiel.



FIGUUR 26 Een sliblaag (ground layer) toevoegen aan je dwarsprofiel.

Opdracht 8. Voer een gevoeligheidsanalyse uit op de sliblaag en de wandruwheid

19. Literatuur

Ref 1. *Good Modelling Practice Handbook*, STOWA rapport 99-05, ISBN 90-5773-056-1, <http://harmoniqua.wur.nl/public/Reports/Existing%20Guidelines/GMP111.pdf>

Ref 2. *Manning's n values*, Chow, 1959, http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm

Ref 3. *Overstromingsrisico en waterbeheer Nederland*, De stand van zaken in 2012, Rijkswaterstaat, oktober 2012, http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/29707/overstromingsrisico_en_water_beheer_in_nederland_de_stand_van_zaken_in_2012_rijkswaterstaat.pdf