

DEL143 - Conceptuele modelverbetering NHI

Binnen hydrologisch Nederland worden NHI en de Waterwijzers Landbouw en Natuur toegepast om effecten van veranderingen in hydrologie, klimaat en maatregelen op het watersysteem, de natuur en landbouw in beeld te brengen. In verschillende studies komen diverse wensen of tekortkomingen naar voren. Deltares, WENR en KWR slaan de handen ineen en werken samen met gebruikers aan harmonisatie en verbetering van de modellen. Daarbij wordt een grondige conceptuele verbetering doorgevoerd in de modelcodes, gebaseerd op nieuwe robuuste modelconcepten, die op verschillende schaalniveaus en onderling consistent toepasbaar zijn. Onderlinge afstemming van de rekeninstrumenten staat centraal, zodat de gebruikers er geen last van hebben dat modellen zijn opgebouwd uit componenten van verschillende onderzoeksinstellingen.

Nieuwe modelleertechnieken in MODFLOW 6 bieden nieuwe mogelijkheden voor onder meer toepassing van verschillende rekenresoluties en geneste modellen. Om optimaal gebruik te kunnen maken van de nieuwe modelleertechnieken, is het nodig de huidige Nederlandse modelconcepten van landelijke, regionale en lokale modellering te herijken, de bestaande concepten en modelkoppelingen aan te passen op de nieuwe modelcode MODFLOW 6, en de concepten tegelijkertijd meer modulaair van opzet te maken, zodat verschillende opties en schaalniveaus met onderlinge consistentie kunnen worden toegepast, afhankelijk van de doelstelling van de berekeningen van de gebruikers. Dit levert nieuwe modules op om bijvoorbeeld klimaat robuuste maatregelen door te rekenen en biedt mogelijkheden voor beoordeling van maatregelen tegen zowel droogte als wateroverlast.

Deltares, WENR en KWR hebben daarom besloten de externe ontwikkelingen aan te grijpen om in samenwerking met gebruikers harmonisatie en verbetering van de huidige modelconcepten door te voeren. Daarbij staat onderlinge afstemming centraal, zodat de eindgebruiker er geen last van heeft dat de modellen zijn opgebouwd uit componenten die bij verschillende onderzoeksinstellingen worden beheerd en onderhouden. De ontwikkelingen resulteren in software releases van iMOD en ontwikkelingen binnen de Waterwijzers die robuust zijn voor de toekomst, en aansluiten op nieuwe externe ontwikkelingen. Bovendien worden meteen inhoudelijke verbeteringen doorgevoerd, die al eerder zijn geprioriteerd samen met de gebruikers. De ontwikkelingen dragen hierdoor bij aan verbetering en aanvulling van de gereedschapskist NHI, waarbij wordt gefocust op toepasbare modelcodes en modelconcepten. In die zin is het voorstel complementair aan het investeringsplan NHI, waar wordt gefocust op het orde krijgen van data en modelgeneratoren om modelinvoer te maken.

Het TKI project is gestart in oktober 2021. De ontwikkelingen zijn eind 2022 afgerond en in maart 2023 zijn de resultaten in een slotbijeenkomst besproken met de TKI partners. Tussentijds zijn de resultaten in verschillende bijeenkomsten gedeeld met andere geïnteresseerden, onder meer op de gebruikersdagen van het NHI en de Waterwijzers. Aan het TKI project is bijgedragen door de volgende partners:

- Publieke partners: Waterschap Limburg, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Rivierenland, STOWA, ACSG en Rijkswaterstaat WVL
- Drinkwaterbedrijven Vitens, Brabant Water en WML
- Private partners: RHDHV, TAUW, SWECO en Witteveen en Bos en VanWater.
- Kennisinstellingen: Wageningen Environmental Research, KWR en Deltares.

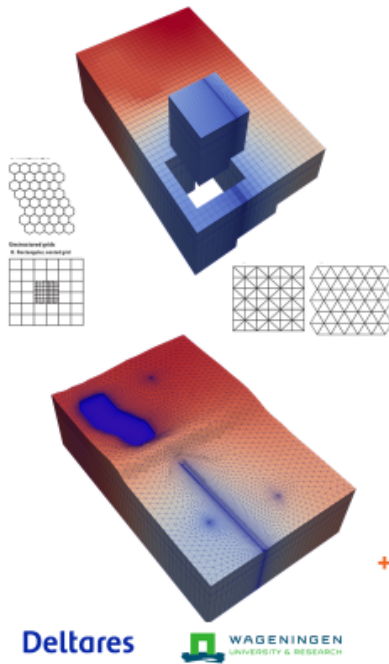
Hieronder volgt een overzicht waaraan is gewerkt in de periode 2021 - 2022:

- In 2020 heeft Deltares samen met de USGS gewerkt aan het BMI-compliant maken van MODFLOW 6 (Russcher et al, in prep, 2021), waardoor koppelingen met andere modellen mogelijk wordt gemaakt. Voor de Nederlandse gebruikers was al in 2020 een koppeling met het onverzadigde zone model MetaSWAP gerealiseerd, waardoor gestructureerde berekeningen met de combinatie MODFLOW 6-MetaSWAP al konden worden uitgevoerd. Voor het kennisprogramma Lumbricus was al eerder gewerkt aan een prototypen voor een koppeling tussen MODFLOW 2005, MetaSWAP en D-Hydro (1D en 2D), ten behoeve van het doorrekenen van klimaatrobuste maatregelen. De koppeling met D-Hydro is in het TKI project verder verbeterd, en bovendien is de transitie van MODFLOW 2005 naar MODFLOW 6 voorbereid. Aangezien de opzet van MODFLOW 6 compleet gewijzigd is ten opzichte van eerdere MODFLOW-versies, moest hiervoor de huidige regisseursfunctie voor de aansturing van de gekoppelde modellen worden gewijzigd en aangesloten op de recente BMI-ontwikkelingen. Het werk binnen TKI heeft een prototype opgeleverd; de formele software release hiervan wordt verwacht in een volgende iMOD release (zomer 2023).
- Binnen Nederland is in grondwatermodellering tot op heden vooral gebruik gemaakt van het rekenen met gespannen lagen (zogenaamde 'confined aquifers'). In veel zandgebieden is dit een te eenvoudige benadering. Daarom is in het kader van het TKI project geëxperimenteerd met verschillende numerieke algoritmes voor unconfined rekenen in MODFLOW 6, waarmee beter om kan worden gegaan met het droogvallen van de bovenste modellaag of -lagen. Specifiek voor gebieden met diepe grondwaterstanden is bovendien een verbeterde benadering voor de onverzadigde zone opgeleverd, waarbij beter rekening wordt gehouden met vertraging en uitvlakking van de grondwateraanvulling in de dikkere onverzadigde zones. Tot op heden was dit in de praktijk dikwijls omzeild via een omslachtige werkwijze, waarbij voor deze gebieden extra, iteratieve berekeningen werden uitgevoerd met verschillende modelinstellingen. In het kader van het TKI project is geëxperimenteerd met MODFLOW 6 en toepassing van gecombineerde concepten voor de onverzadigde zone (MetaSWAP en MODFLOW UZF), waardoor meer realistische simulatiesresultaten kunnen worden verkregen voor tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in deze gebieden. Voor de aangepaste software en een handleiding van deze producten wordt verwezen naar de release iMOD 5.4 (voorjaar, 2023).
- Voor toepassing van MODFLOW 6 en MetaSWAP is een methode uitgevoerd om de effecten van regelbare drainage en subirrigatie beter te kunnen kwantificeren. Hiervoor is een aangepaste versie van MetaSWAP opgeleverd, die gekoppeld kan worden toegepast met MODFLOW 6.
- Naast voordelen en extra opties biedt toepassing van MODFLOW 6 ook enkele nadelen. Doordat volledig 3D wordt gemodelleerd, dienen in de simulatie scheidende lagen expliciet te worden onderscheiden van aquifers. Hierdoor neemt de rekentijd ongeveer een factor 2 toe, net als de omvang van de modeluitvoer. Dit zou kunnen worden voorkomen door gecombineerde aanpassingen in de modelinvoer en de modelcode door te voeren. Aangezien er bewust voor gekozen is om in de toekomst voor de Nederlandse markt geen eigen versie van de MODFLOW-code te onderhouden, maar de officiële broncode van de USGS toe te passen, dient in het kader van het TKI project een andere oplossing uitgewerkt om de modeluitvoer en rekentijd te reduceren. Hierbij kan door de modelleur gebruik worden gemaakt van de in het kader van dit project ontwikkelde python programmatuur in combinatie met de eerder opgeleverde BMI-koppeling voor MODFLOW 6. De python programmatuur is opgenomen binnen iMOD Python, onderdeel van de iMOD suite release (eind 2022).
- Aanvullend op de ontwikkelingen rond de grondwatersoftware zijn de concepten in de onverzadigde zone verbeterd in het kader van de ontwikkeling van de Waterwijzers. Hierbij is een meer modulaire opzet van de achterliggende modellen voor de onverzadigde zone (SWAP-WOFOST) gerealiseerd. Ook is gewerkt aan een verbeterde module voor wateropname in de wortelzone met aandacht voor wortel-bodem-interactie op basis van de concepten van De Willigen et al. en De Jong van Lier et al. Het ultieme doel van deze exercitie is een verbeterde bodemafhankelijke 'Feddes-functie' (macroscopisch reductiefunctie voor gewasopname). Tenslotte is validatie van de Waterwijzers verder uitgewerkt, waarbij een methode is uitgewerkt om de groenmonitordata (www.groenmonitor.nl) gebaseerd op de NDVI-waarnemingen (Europese Sentinelbeelden) op te schalen naar bodem-Gt-combinaties gekoppeld aan de BodemFysische EenhedenKaart (BOFEK).

Een samenvatting van de werkzaamheden, inclusief informatie over- en een verwijzing naar de opgeleverde producten, is gepresenteerd op het NHI symposium 2023, zie [presentatie TKI project NHI dag, januari 2023](#).

Voor een download van de software producten m.b.t. grondwater wordt verwezen naar de [website van iMOD](#) en specifiek de [downloadpagina van iMOD](#). Voor de opgeleverde producten van de Waterwijzers wordt verwezen naar de [website van de Waterwijzer](#).

Begin maken met beter benutten mogelijkheden MODFLOW 6



Vb: ondersteuning multi-model simulaties

Binnen één simulatie gekoppelde / geneste modellen mogelijk

- Gestapeld of aansluitend (in matrices gekoppeld)
- Flexibel: "parent, child, grandchild models"

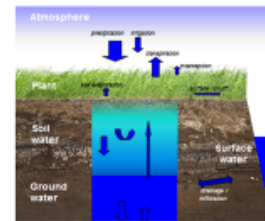
overige voorbeelden

- Verbeterde wet-dry opties
- Water mover package
- Callable als library (SO/DLL) via API
- iDOMAIN functie: inactieve cellen overslaan / discontinue lagen

+ inclusief betere aansluiting andere softwarepakketten (vb D-Flow FM)

Waterwijzers en NHI

- Wens: effectmodules (WWLandbouw en WWNatuur) onderdeel van NHI
- Harmonisatie SWAP – MetaSWAP – (WOFOST)
- Gebruikerswensen 'versus' conceptuele modelverbeteringen



Overzicht activiteiten TKI project	Rol partijen
1. Prototype peilgestuurde drainage en subirrigatie opwaarderen en consolideren in MODFLOW6.	Deltares i.s.m. VanWater: programmeren. Testen en valideren door SWECO en RHDHV, in samenwerking met WS Aa en Maas en WS Limburg.

2. Koppeling D-Hydro FM -MODFLOW 6, desgewenst in combinatie met MetaSWAP	WS Aa en Maas en Limburg: formuleren eisen modelconcepten en besluitvorming conceptuele keuzes; Deltares: uitwerken concepten en programmeren, in samenwerking met VanWater. WS Aa en Maas en WS Limburg en Witteveen+Bos aanvullende testen en beoordeling van resultaten.
3. Modulaire opzet en harmonisatie SWAP-MetaSWAP + testen enkele modules onverzadigde zone	STOWA, ACSG en RWS: formuleren eisen modelconcepten en besluitvorming WENR: ontwerp en programmeren; Waterschappen en adviesbureaus: bijdrage aan testen en validatie.
4. Unconfined rekenen en verbeterde concepten; verbeterde grondwateraanvulling in gebieden met diepe grondwaterstanden	WS Limburg en Brabant Water: formuleren eisen modelconcepten en besluitvorming Deltares: ontwerp en programmeren. Adviesbureaus RHDHV en SWECO en VanWater: bijdragen aan ontwerp, programmeren en testen, advisering WS Limburg, Aa en Maas en Brabant Water, WML: bijdragen aan testen, validatie en beoordeling resultaten.
5 Versneld rekenen in MODFLOW 6	Rijkswaterstaat: formuleren eisen modelconcepten en besluitvorming. Deltares en TAUW: gezamenlijk uitwerken ontwerp en implementatie software en testen.
6 Verbeterde conceptbeschrijving bodem-wortel interacties gericht op verbeterde reductiefunctie voor wateropname en deze testen voor bodemprofielen waar dit relevant is (veen-kleigronden).	Formuleren eisen en wensen: ACSG, STOWA en RWS. WENR, KWR Inventarisatie modelconcepten in literatuur, programmeren en testen in samenwerking met diverse partijen, o.a. Vitens en Witteveen+Bos.
7. Methode voor validatie van droogte- en natschade aan de hand van groenmonitordata	STOWA, waterschap Aa en Maas: formuleren wensen WENR: uitvoering Toepassing/testen: waterschappen, Vitens en adviesbureaus.
8. Overzicht en samenhang componenten	Alle partijen, onder gezamenlijke aanvoering van Deltares en WENR. Onder meer gerealiseerd in een startbijeenkomst in oktober 2021, vervolgens maandelijkse bijeenkomsten en een slotbijeenkomst in maart 2023.

Status, oplevering eindproducten (maart 2023)

Activiteit	Toelichting
1. Prototype peilgestuurde drainage en subirrigatie opwaarderen en consolideren in MODFLOW6	Eind 2021 is een prototype opgeleverd, dat binnen het TKI project getest is. Het prototype werkt en is verder getest binnen het TKI-project toepasbaar. Het eindresultaat is opgeleverd in de zomer van 2022 (als onderdeel van iMOD 5.4, zie downloadpagina van iMOD), en recente updates. Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel). <i>Voor nadere info over de toepassing wordt verwezen naar de laatste versie van de iMOD-manual, paragraaf 3.1.1 en 3.38.4).</i>
2. Koppeling D-Hydro FM - MODFLOW 6	Er is voortgebouwd op het prototype uit Lumbricus. Die koppeling was nog niet volmaakt, de koppelingen leken destijds nog niet helemaal sluitend te zijn uitgewerkt. In het TKI project is het prototype afgemaakt en de migratie naar MODFLOW 6 voorbereid. Het prototype binnen TKI is eind 2022 opgeleverd (als prototype binnen TKI, op te vragen via de helpdesk NHI), de (gedocumenteerde) software zal naar verwachting in de iMOD release in juni 2023 voor iedereen beschikbaar zijn. Ook is een begin gemaakt voor een nieuw proefgebied in Rivierenland. Werkzaamheden in dit gebied zullen in een nieuw TKI project rond oppervlaktewater worden vervolgd. Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel). <i>Een technische handleiding van het in het prototype dat ontwikkeld is in het kader van dit TKI-project is hier te vinden, de modevaluatie voor de Hooge Raam is hier in te zien. Voor details van de beschrijving van de invoer wordt verwezen naar de laatste versie van de iMOD 5.5-manual (voorjaar 2023), de beschrijving van de uitbreiding van de runfile in iMOD voor de DMMFILE, zie paragraaf 3.1.1, paragraaf 1.7.6.</i>

3. Modulaire opzet en harmonisatie SWAP-MetaSWAP + testen enkele modules onverzadigde zone	zie voor communicatie de website waterwijzer landbouw WaterWijzer Landbouw Home (wur.nl) en info activiteit info 8. Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel).
4. Unconfined rekenen en verbeterde concepten Grondwateraanvulling in gebieden met diepe grondwaterstanden	Voor Zuid Limburg is een eerste versie van unconfined modellering in MODFLOW 6 opgezet. Na aanvankelijk moeizame convergentie van de modellen is in het voorjaar van 2022 flinke progressie geboekt. Prototypes voor een combinatie van unconfined rekenen in MODFLOW 6 met de onverzadigde zone module UZF zijn succesvol door testen gekomen. De geteste software is in het voorjaar van 2023 opgeleverd, als onderdeel iMOD 5.5, zie download pagina van iMOD). Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel). <i>Voor nadere info over de toepassing wordt verwezen naar de laatste versie van de iMOD-manual, paragraaf 3.1.2, 3.38.2 en 3.38.5).</i>
5 Versneld rekenen in MODFLOW 6	Er zijn succesvolle tussenresultaten verkregen bij het implementeren van een methode voor quasi 3D berekeningen in MODFLOW 6, zonder de modelcode zelf aan te passen. Hierbij is gebruik gemaakt van iMOD coupler (XMI). Resultaten laten zien dat een versnelling van een factor 5,5 in de rekentijd mogelijk is, dit komt vrijwel overeen met compensatie van het verlies in rekentijd door de overgang naar MODFLOW 6. In het voorjaar van 2022 is gewerkt aan tooling, o.a. voor de conversie naar DISU, en verder testen van de methode in het LHM. Opgeleverd najaar 2022 (als onderdeel iMOD Suite, via Github, zie iMOD python pagina). Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel).
6 Verbeterde conceptbeschrijving bodemwortel interacties gericht op verbeterde reductiefunctie voor wateropname en deze testen voor bodemprofielen waar dit relevant is (veenkleigronden).	zie voor communicatie de website waterwijzer landbouw WaterWijzer Landbouw Home (wur.nl) en info activiteit info 8. Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel).
7. Methode voor validatie van droogte- en natschade aan de hand van groenmonitordata	zie voor communicatie de website waterwijzer landbouw WaterWijzer Landbouw Home (wur.nl) en info activiteit info 8. Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder de tabel).
8. Overzicht en samenhang componenten	De inhoudelijke voortgang wordt maandelijks afgestemd tussen de betrokken partijen, de overleggen zijn hiervoor uitgesplitst naar een overleg voor grondwater en een overleg voor de waterwijzers, waarbij kruisbestuiving tussen de deeloverleggen is gerealiseerd. Daarna worden regelmatig in bijeenkomsten een toelichting aan derden gegeven over de voortgang. de NHI bijeenkomst in januari zijn de volgende presentaties gegeven: • presentatie overzicht TKI werkzaamheden en andere NHI ontwikkelingen: NHI (stowa.nl) • presentatie TKI versnelling van MODFLOW 6 berekeningen PowerPoint Presentation (stowa.nl) • presentatie TKI ontwikkelingen rond Waterwijzers PowerPoint-presentatie (stowa.nl) Zie voor verdere toelichting ook de presentaties TKI 27 juni 2022 (en de toelichting onder deze tabel) en de presentatie TKI project NHI dag, januari 2023, januari 2023 en de presentaties op de slotbijeenkomst (maart 2023): ▪ presentatie overzicht ontwikkelingen ▪ presentatie regelbare drainage ▪ presentatie unconfined rekenen en concepten onverzadigde zone ▪ presentatie versneld rekenen ▪ presentatie koppeling D-Flow FM