

GGOR tool in Python

T.N.Olsthoorn

6 Oktober 2017

Hier de samenvatting

1 Inleiding

De GGOR tool heeft tot doel om de GxG (GLG, GVG en GHG) en de waterbalans berekenen voor een gebied, waarbij een gebied is gedefinieerd als een verzameling percelen. Van elke perceel wordt een dwarsdoorsnede model gemaakt loodrecht op zijn de lange as. Alle dwarsdoorsnedes worden in een blokvormig, 3D, rekenmodelnetwerk geplaatst, zodanig dat elke rij hiervan een dwarsdoorsnede voorstelt. Deze dwarsdoorsnedes, de percelen dus, zijn onafhankelijk van elkaar, wat modelmatig gerealiseerd wordt door de doorlatendheid in de richting van de kolommen van het netwerk op nul te zetten. Het gevolg is dat steeds alle percelen tegelijkertijd worden doorgerekend, dit kunnen er duizenden zijn.

Het model en dus elke dwarsdoorsnede bestaat uit twee modellen, die respectievelijk de deklaag en de regionale aquifer voorstellen. Tussen deze twee modellen bevindt zich een slecht doorlatende laag met op de gegeven weerstand. Hiernaast kan de verticale doorlatendheid van de modellen worden gekozen, zodat ook binnen de deklaag en de regionale aquifer verticale weerstand mogelijk is.

De percelen worden symmetrisch beschouwd, wat impliceert dat ervan wordt uitgegaan dat de percelen aan beide zijden worden begrensd door een sloot met dezelfde afmetingen, eigenschappen en hetzelfde slootpeil. Het midden van de sloten worden als waterscheidingen opgevat. Dit impliceert dat steeds slechts de helft van elke dwarsdoorsnede hoeft te worden gesimuleerd, en zo gebeurt het ook in het model.

Elke dwarsdoorsnede, dus elke rij in het model, heeft aan de linkerzijde (eerste cel) een sloot en is aan de rechterzijde gesloten, voorstellende de waterscheiding in het midden van het perceel. De perceelbreedte verschilt per perceel. In het model wordt dit als volgt opgelost. De breedte van het model is gelijk aan de helft van de breedte van het breedste perceel. De cellen aan rechterkant die buiten de halve breedte van de afzonderlijke percelen vallen worden inactief gemaakt. Zo krijgt elk perceel zijn eigen breedte. De nauwkeurigheid hiervan is gelijk aan de halve kolombreedte die in het model wordt aangehouden. Deze is aanpasbaar, maar wordt standaard op 1 m gesteld, wat voldoende is in praktisch alle voorkomende situaties.

De sloten hebben elk een eigen breedte, diepte en slootweerstand, waarbij die van de bodem en de zijanten van de sloot gelijk worden genomen. De sloten hebben een infiltratieweerstand die groter is dan de exfiltratieweerstand.

De percelen hebben alle een drainage over hun volle breedte. De drainage wordt beschouwd als een vlak, uniform binnen elk perceel. Afzonderlijke drains worden niet meegenomen; dat kan ook niet, want die zouden evenwijdig aan de doorsnede lopen, en kunnen niet afzonderlijk in een doorsnede worden gemodelleerd. In het geval daadwerkelijk drainage aanwezig is, is het peil van deze drainage gelijk aan de daarvoor opgegeven waarde. Voor percelen zonder drainage is het peil gelijk aan het maaiveld. Dat wil zeggen

dat de drainage water afvoert zodra het grondwater tot boven maaiveld zou stijgen. De aanname is hierbij dat in gedraineerde percelen het grondwater nooit tot aan het maaiveld zal stijgen. De drainageweerstand wordt voor gedraineerde percelen opgegeven en voor niet gedraineerde perceel wordt een standaardwaarde aangehouden. Drainageweerstand wordt opgegeven in d, conceptueel is deze voor te stellen als het stijghoogteniveau boven de drainagebasis waarbij een gegeven kwelflux, bijv. 10 mm/d optreedt.

Tegenwoordig wordt voor veengebieden meer en meer overgestapt op onderwaterdrainage. Deze kan behalve draineren ook voeden. De GGOR kan ook deze simuleren.

Percelen zijn vaak voorzien van greppels. Hiervan wordt in de GGOR tool aangenomen dat deze in de langsrichting van de betreffende percelen lopen, dus loodrecht op de gesimuleerde doorsneden. Greppels worden in de GGOR gemodelleerd als drain met een niveau op 30 cm beneden maaiveld.

De stroming van het grondwater wordt aangedreven door neerslag, makkink-verdamping, slootpeil, drainagepeil, en opgelegde kwel vanuit de regionale aquifer. Deze kwel is negatief zijn in het geval van wegzijging.

Alle zo gemodelleerde dwarsdoorsneden worden tegelijkertijd dynamisch op dagbasis doorgerekend, over een periode van minimaal 9 jaar, noodzakelijk om de GxG te kunnen berekenen; het eerste jaar wordt gebruikt als inloopjaar voor de dynamische berekening, de laatste 8 jaar voor de bepaling van de GxG. Deze GLG, GVG en GHG kunnen in het GIS worden weergegeven op een kaart.

Ook wordt van alle percelen de waterbalans op dagbasis berekend. Deze kan worden weergegeven als een doorgaande grafiek, per perceel of gesommeerd over een aantal percelen of het gehele gebied, waarbij de componenten van de waterbalans worden getoond als functie van de tijd.

Technisch geschiedt de simulatie met eindige differentie code MODFLOW (USGS) in een rechthoek grid bestaande uit twee modellagen, net zoveel rijen als er percelen zijn en net zoveel kolommen als overeenkomt met de helft van de breedte van het breedste perceel.

Details worden verderop uitgelegd.

2 Opzet

2.1 Overzicht

De GGOR-applicatie is opgezet in Python (versie 3, zie <https://docs.python.org/3/>, implementatie <https://anaconda.org/anaconda/python>, interface Spyder) en maakt gebruik van de modules van Flopy (<https://github.com/modflowpy/flopy>, zie voor documentatie: <http://modflowpy.github.io/flopydoc/>) van de USGS, waarmee de grondwatercodes van de USGS (<https://water.usgs.gov/ogw/modflow/>) kunnen worden aangestuurd en waarmee de berekende grondwaterstanden en -stijghoogtes, alsmede de berekende waterbalanscomponenten kunnen worden uitgelezen. Voor de simulatie wordt de code MODFLOW 2005 gebruikt (<https://water.usgs.gov/ogw/modflow/mf2005.html>) die werkt met een gestructureerd, dat wil zeggen regelmatig netwerk bestaande uit blokvormige cellen geordend in lagen, rijen en kolommen.

De gebruiker heeft weinig of niets met Flopy en MODFLOW te maken, want de GGOR-applicatie roept deze aan, waarna het aanmaken van de bestanden voor MODFLOW en het rekenen met MODFLOW op de achtergrond gebeurt.

De GGOR-applicatie leest de gegevens betreffende de percelen en zet het model op en geeft dit door aan de betreffende Flopy modules. De GGOR-applicatie leest voorts het bestand in met de te gebruiken dagwaarden van de neerslag en de Makkink-verdamping en geeft ook deze gegevens aan de betreffende Flopy modules door. Vervolgens wordt opdracht gegeven aan de Flopy om de invoer bestanden van MODFLOW aan te maken en MODFLOW te starten.

Het verloop van de berekening is op het scherm te volgen. Na afloop wordt gemeld of de simulatie succesvol was. Zo ja dan neemt de GGOR-applicatie het stokje weer over, leest het bestand met de door MODFLOW berekende stijghoogtes uit en berekent voor alle percelen daaruit de GHG, GVG en GLG. De GGOR-applicatie leest vervolgens het door MODFLOW aangemaakte bestand uit met de waterbalanscomponenten en geeft de resultaten grafisch weer opgeteld voor alle percelen. Het doet dit als een doorgaande grafiek van de dagcijfers waarbij alle componenten van de waterbalans worden getoond, en ook wordt gedemonstreerd dat de som van de componenten van de waterbalans altijd gelijk aan nul is.

De resultaten van de gesimuleerde stijghoogten, de GHG, GVG en GLG kunnen verder statistisch worden geanalyseerd en in GIS worden weergegeven. Ook kan voor geselecteerde percelen het verloop van de gesimuleerde grondwaterstanden en -stijghoogtes grafisch worden weergegeven samen met de punten waaruit de GxG zijn berekend.

De resultaten van de gesimuleerde waterbalans van alle percelen kunnen eveneens statistisch worden geanalyseerd. Ook dit kan op basis van aparte percelen. Maar waterbalansen zijn vaak zinvoller wanneer berekend voor een groter gebied. Dit kan door de

waterbalanscomponenten van de percelen die binnen het te onderzoeken gebied vallen samen te nemen.

2.2 Structuur van de GGOR-applicatie

De GGOR-applicatie bestaat uit twee modules

GGOR.py Het hoofdsript waarin gegevens worden ingelezen, het model opgezet, gedraaid en waarin de gegevens worden uitgelezen en gepresenteerd.

ggor_tools.py De module waaraan het GGOR.py script het feitelijke databankwerk uitbesteedt.

fdm_tools Tools voor het omgaan met Finite Differentie Modellen, waarin de Grid module voor het effectief en efficiënt omgaan met een gestructureerd MODFLOW netwerk.

De gebruiker zou alleen met het GGOR.py script te maken moeten hebben om de werken aan te passen aan zijn of haar wensen.

2.3 Het GGOR.py script

Wanneer het script door de editor van Spyder is ingelezen, blijkt het te zijn opgedeeld in cellen, die logische blokken vormen en helpen bij het structureren en, indien gewenst, het blok na blok apart doorrekenen van het script.

De navolgende beschrijving is per blok, zoals aangeduid met de bloktitels uit het script.

Imports. Dit blok importeert de modules en functionaliteit die voor de uitvoering van het script noodzakelijk zijn.

Read the GGOR database. Dit blok leest het dbf bestand in met de gegevens van de percelen. Dit dbf bestand is afkomstig van uit het GIS.

Ook wordt het bestand met de dag gegevens van de neerslag en de verdamping ingelezen.

Vervolgens kan in plaats van de werkelijke een test simulatie worden gedaan door de waarde van parameter Test op True in plaats van False te zetten. De berekening gebeurt dan met standaard waarden voor een aantal parameters in plaats van die uit de database. Dit is nuttig om bepaald gedrag van het model te simuleren wat veel moeilijker of helemaal niet te ontdekken is uit de resultaten van simulatie met de werkelijke gegevens.

Model domain and grid definition. Dit blok genereert het rekennetwerk waar MODFLOW straks mee gaat rekenen. Het bepaalt de met de functie gg.grid() in de module Ggor_tools, de coördinaten van de gridcellen op basis van de gegevens uit de database van de percelen. Het blok specificeert met LAYTYP=[1, 0] voorts dat zich onder modelaag 1 een slecht doorlatende laag bevindt. Tenslotte genereert het met ft.Grid(xGr,

yGr, zGr) het MODFLOW grid, of exacter, een Grid object dat allerlei gridinformatie kan berekenen en verschaffen en ook tekenen.

Model data and parameter values. Dit blok genereert de 3 dimensionale arrays (geal-lenblokken) elk met een waarde voor elke rekencel. Dit zijn de horizontale doorlatendheid (HK), de verticale doorlatendheid (VKA), de freatische bergingscoëfficiënt (SY) en de specifieke bergingscoëfficiënt (SS) en de verticale doorlatendheid van de slechtdoorlatende laag tussen modellagen 1 en 2 (VKCB = Vertical K of Confining Bed).

De IBOUND array is een 3D array die aangeeft welke cellen moeten worden berekend, welke een vaste stijghoogte hebben en welke inactief zijn. Cellen met $IBOUND > 0$ worden berekend, cellen met $IBOUND < 0$ hebben vaste stijghoogten, cellen met $IBOUND = 0$ zijn inactief.

In dit geval zijn alleen de cellen inactief die buiten de doorsnedes vallen die smaller zijn dan de breedste.

De STRT array bevat de startwaarde van de stijghoogte voor elke cel voorafgaand aan de simulatie.

LAYTYP geeft aan of de waterstand in een cel van een laag onder zijn top kan zakken of dat de cel altijd vol water wordt geacht. Bij $LAYTYP = 0$ worden de cellen als altijd vol beschouwd zodat hun doorlaatvermogen niet hoeft te worden bijgesteld tijdens de simulatie, wat het model een stuk sneller maakt en convergentie praktische garandeert. Het omgekeerde is het geval bij $LAYTYP > 0$. De voorkeur is rekenen met $LAYTYP = 0$. MODFLOW gebruikt dan alleen de specifieke bergingscoëfficiënt SS. Om toch de freatische berging goed te berekenen moet de SS van de freatische laag gelijk worden genomen aan Sy/D , waarbij Sy de freatische bergingscoëfficiënt en D de dikte van de freatische modellaag.

Stress period data. Dit blok specificeert de tijdsafhankelijke gegevens. Modflow deelt de tijd op in zogenoemde „*stress periods*”. De randvoorwaarden zijn per stress period vast. De GGOR-applicatie werkt met stress periods van 1 dag. MODFLOW deelt stress periods op in time steps. In de GGOR-applicatie bestaat elke stress period uit 1 tijdstap. Beide vallen hier dus samen. Het aantal stress periods en hun lengte worden uit het meteo-bestand afgeleid. Vervolgens worden de neerslag (RECH), de evapotranspiratie (EVTR) uit het meteo-bestand getrokken en omgezet naar de vorm die Flopy nodig heeft. Dit is een python dictionary met als sleutel het nummer van de stress period (isp)

De slootpeilen worden op dagbasis bepaald uit het voor de elk perceel in de database opgegeven zomerpeil en winterpeil. De zomer wordt hier genomen van 1 april t/m 30 september en de winter van 1 oktober tot en met 31 maart. De uitwisseling tussen sloot en het grondwater worden in MODFLOW berekend met het GHB (General Head Boundary) pakket. Hier wordt een python dictionary gegenereerd met de naam GHB, welke als sleutel de *stress period* heeft en als waarden steeds een array met voor elk van de betrokken cellen het nummer van de laag, rij en kolom, en voorts de slootwaterstand en de zogenoemde *conductance*. Deze conductance is stroming vanuit de cel naar de sloot [m^3/d] bij een peilverschil van 1 m. De dimensie van conductance is dus [m^2/d]. Hij

wordt berekend uit de slootweerstand.

SEEP geeft op dagbasis de kwel vanuit de regionale aquifer. De kwel is opgegeven in de database op jaarbasis. Dit kan in de toekomst worden aangepast naar maandcijfers verkregen uit een regionale modellering buiten de GGOR-applicatie). Deze kwel wordt geïmplementeerd als een injectie in de cellen van de regionale aquifer. Dit water vindt vanzelf zijn weg naar het bovenliggende pakket. De details van de berekening zijn uitbesteed aan functie `set_seepage(..)` de module `GGOR_tools.py` (afgekort tot `gg`).

OC specificeert welke uitvoer van MODFLOW gevraagd wordt. Deze hoeft alleen voor de eerste stress periode te worden opgegeven; voor de overige wordt dan door Flopy hetzelfde aangenomen.

Model and packages added to it. Dit blok is waar Flopy optreedt. Eerst wordt een Flopy-Modflow object gegenereerd. Opgegeven worden de modelnaam en de specifieke MODFLOW versie waarvoor Flopy de bestanden zal aanmaken. Hierna genereert Flopy voor elk te gebruiken MODFLOW pakket een specifiek python object en koppelt dat aan het zojuist gegenereerde MODFLOW object. Nog niet genoemd is *pcg*, *Proconditioned Conjugated Gradient* pakket, het feitelijk rekenhart waarmee MODFLOW de grondwaterstanden en debieten moet gaan uitrekenen.

Write the model input files and running MODFLOW. Dit blok geeft Flopy de opdracht om de invoerbestanden voor MODFLOW te genereren en klaar te zetten voor gebruik door MODFLOW.

Vervolgens wordt MODFLOW gedraaid en wordt een melding gegeven indien de simulatie niet succesvol is afgelopen.

Showing results. Start van het weergeven van de berekende resultaten.

Plot average head in the cross section. In dit blok worden de berekende stijghoogtes ingelezen uit het binaire bestand dat MODFLOW zojuist heeft gegenereerd.

Vervolgens de berekende verloop van de grondwaterstand voor een aantal geselecteerde percelen grafisch weergegeven.

Dan wordt voor alle percelen de GHG, GVG en de GLG bereken, waarna die voor de geselecteerde percelen als bolletjes in de grafiek worden geplaatst, zodat helder is en gecontroleerd kan worden uit welke grondwaterstanden de GxG is bepaald.

Water Balance. Dit blok leest het door MODFLOW gegenereerde bestand met de waterbalanscomponenten uit.

Vervolgens wordt de waterbalans, gesommeerd over alle percelen, getekend als functie van de tijd.

3 Gegevens

De basisinformatie is een database bestand in dfb-formaat, of een shapefile dat in een GIS is aangemaakt. Het bestand bevat de benodigde gegevens van alle simultaan te simuleren percelen. Van elk perceel wordt een dwarsdoorsnede gesimuleerd die loodrecht staat op de lange as van het perceel. De gegevens die aanwezig moeten zijn staan in onderstaande python dictionary, met links de naam van het veld in de database en rechts de naam zoals die binnen de GGOR-applicatie wordt gebruikt. De namen in de linker kolom kunnen worden aangepast aan het GIS-bestand; zij kunnen vrij worden vervangen, maar de namen in de rechter kolom zijn essentieel voor de goede werking van de GGOR-applicatie. Verandering daarvan vergt aanpassing van de code.

```
1 colDict = { 'AANID': 'AANID',
2             'Bodem': 'Bodem',
3             'Bofek': 'Bofek',
4             'FID1': 'FID1',
5             'Gem_Cdek': 'Gem_Cdek',
6             'Gem_Ddek': 'Gem_Ddek',
7             'Gem_Kwel': 'Gem_Kwel',
8             'Gem_Phi2': 'Gem_Phi2',
9             'Gem_mAHN3': 'Gem_mAHN3',
10            'Greppels': 'nGrep',
11            'Grondsoort': 'Grondsoort',
12            'LGN': 'LGN',
13            'LGN_CODE': 'LGN_CODE',
14            'Med_Cdek': 'Cdek',
15            'Med_Ddek': 'Ddek',
16            'Med_Kwel': 'q',
17            'Med_Phi2': 'Phi',
18            'Med_mAHN3': 'AHN',
19            'OBJECTID_1': 'OBJECTID_1',
20            'Omtrek': 'O',
21            'Oppervlak': 'Oppervlak',
22            'Shape_Area': 'A',
23            'Shape_Leng': 'L',
24            'Winterpeil': 'wp',
25            'X_Midden': 'xC',
26            'Y_Midden': 'yC',
27            'Zomerpeil': 'zp' }
```

De lijst met gegevens wordt binnen de GGOR-applicatie uitgebreid met namen die voor de modellering noodzakelijk zijn, maar die in het GIS-bestand ontbreken. Uiteraard is het beter om alle in de modellering gebruikte gegevens via het GIS-bestand aan te leveren, en zo de software volledig los te koppelen van de gegevens. Hiervoor is het nodig dat de gebruiker ervoor zorgt dat de betreffende gegevens in het GIS-bestand op perceelbasis aanwezig zijn. Dit valt buiten het bestek van de GGOR-applicatie.

```
1  Lijst met namen die (nog) niet in het GIS-bestand zijn gegeven:
2  ....
3  w = 1.0 # weerstand van de slootbodems
4  VKA = 1.0 # verticale anisotropy van de modellagen
```

Hiernaast is er een aantal uitgangsparameters dat voor alle percelen geldt

```
1  BMIN=5.      # minimum perceelbreedte
2  BMAX=1000    # maximum perceelbreedte
3  LAYCBD=0     # specificatie van slechtdoorlatende lagen onder
                elke modellaag
```

Bibliografie

[Werkgroep Afvoerberekeningen (1980)] Werkgroep Afvoerberekeningen (1980)
Richtlijnen voor het berekenen van afwa-
teringsstelsels in landelijke gebieden. Werk-
groep afvoerberekeningen. p35. (ca. 1980)
(<http://edepot.wur.nl/188158>)