

Memo

Datum

Maart 2023

Contactpersoon

Bennie Minnema

Ontwikkelteam iMOD Deltares

VanWater

WS Aa en Maas

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 8391

E-mail

Bennie.Minnema@deltares.nl

Aantal pagina's

1 van 14

Onderwerp

Technische handleiding TKI prototype koppeling iMODFLOW - MetaSWAP - D-Flow Flexible Mesh

1 Inleiding

Om regionale modelberekeningen uit te kunnen voeren voor extreme en lokale situaties waarbij interactie tussen grond- en oppervlaktewater een grote rol speelt, zijn in het kader van het Lumbricus project de softwarepakketten MODFLOW, MetaSWAP en D-Flow FM softwarematig gekoppeld. Daardoor kunnen de fluxen tussen de componenten dynamisch uitgewisseld worden. De software is verder ontwikkeld in het kader van het TKI-project Del 143 Deltatechnologie conceptuele modelontwikkeling

Dit document – de technische documentatie van het verder ontwikkelde prototype binnen TKI beschrijft de technische implementatie van het geïntegreerde modelinstrumentarium.

MODFLOW en MetaSWAP enerzijds en D-Flow FM anderzijds rekenen (intern) met zeer verschillende tijdstapgroottes (dagen respectievelijk seconden). Om toch een stabiele uitwisseling tussen deze 3 componenten te realiseren en tegelijkertijd de rekentijden beperkt te houden (d.w.z. een hoog aantal iteraties tussen het hydraulische D-Flow FM model enerzijds en het MODFLOW-MetaSWAP model anderzijds te voorkomen) is een nieuw time-stepping schema ontwikkeld en toegepast. Daarnaast biedt de koppeling de ruimtelijke flexibiliteit om zowel met een volledige 1D2D D-Flow FM model te koppelen, of alleen met het 1D-gedeelte van een D-Flow FM. Dit biedt de mogelijkheid om het effect van verschillende gradaties van koppelingen met elkaar te vergelijken.

De gekoppelde software bouwt voort op een prototype dat eerder in het kader van het kennisprogramma Lumbricus is ontwikkeld, en dat verder is ontwikkeld binnen dit TKI-project en getest voor zowel een aantal hypothetische testmodellen, alsook voor het gebied 'De Hooge Raam' in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas.

Door deze nieuwe koppelingstechniek kunnen bestaande MODFLOW-MetaSWAP-modellen en bestaande D-Flow FM-modellen in de toekomst ook als gekoppeld instrumentarium toegepast gaan worden.

Formele opname van het hier beschreven prototype in de productielijn van iMOD (op basis van MODFLOW 6) zal plaats vinden buiten het TKI project, naar verwachting zullen de resultaten hiervan in de zomer van 2023 beschikbaar zijn voor een brede gebruikersgroep.

2 Globale architectuur

Het hoofdprogramma is driver.f90, en is afgeleid van de bestaande driver.f90 van het NHI-instrumentarium. Daarin zijn drie wijzigingen/uitbreidingen aangebracht:

- Calls naar de NHI-componenten die niet meedoen (Mozart, Transol) zijn verwijderd, net als de daaraan gerelateerde data-uitwisselings-calls.
- Calls naar D-Flow FM zijn toegevoegd.
- Er een koppelingsmodule ontwikkeld die de data-uitwisseling verzorgt tussen D-Flow FM en iMODFLOW, respectievelijk tussen D-Flow FM en MetaSWAP. (De data-uitwisseling tussen iMODFLOW en MetaSWAP was in de bestaande driver code aanwezig en is ongewijzigd gebleven).

De driver roept volgens een bepaald tijdstapschema beurtelings de drie model-componenten aan (zie paragraaf 'tijdstapschema' verderop), waarbij tussendoor de koppelingsmodule wordt aangeroepen. Dit gebeurt telkens volgens het stramien:

- Ontvang variabele A op locatieverzameling 1 van component I
- Map de waarden van variabele A op locatieverzameling 1 naar variabele B op locatieverzameling 2 van component II
- Geef variabele B op locatieverzameling 2 aan component II

Daarbij zijn de locatieverzamelingen:

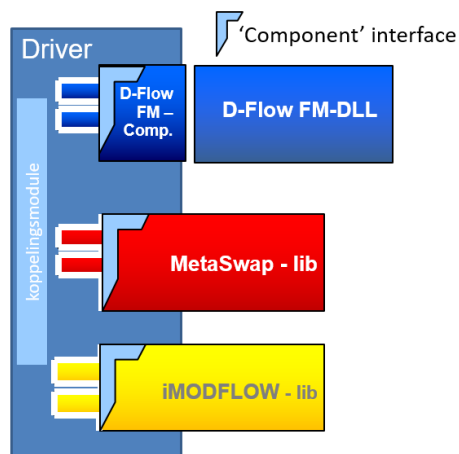
- Alle river-element-id's van iMODFLOW die interactief gekoppeld zijn met D-Flow FM (RIV)
- Alle drain- id's van iMODFLOW (DRN)
- Alle river-element-id's van iMODFLOW die interactief gekoppeld zijn met D-Flow FM (RIV2)
- Alle SVAT-id's van MetaSWAP
- Alle 1D-nodes van D-Flow FM
- Alle 2D-cellen van D-Flow FM

Het aanroepen van de model-componenten gebeurt volgens een geüniformeerde 'component-interface':

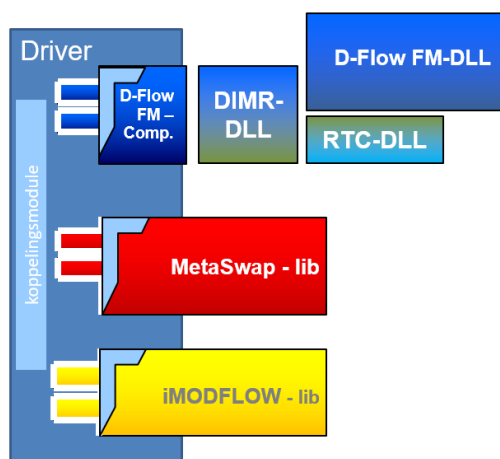
- Initieel:
 - o Initialiseer jezelf
 - o Geef aan in welke volgorde je op welke locatie-id's je data gaat leveren en/of wilt ontvangen
- Tijdens de tijdstap-loop:
 - o Set/get een variabele
 - o Doe een tijdstap of een iteratie

Deze geüniformeerde 'component-interface' bestond al voor MetaSWAP en iMODFLOW (maar beide zijn uitgebreid, zie het volgende hoofdstuk), en is geïmplementeerd voor D-Flow FM. Daarbij roepen de functies deze D-Flow FM component de grotendeels reeds bestaande functies aan in de D-Flow FM DLL, het FM rekenhart dat ook in andere applicaties wordt gebruikt.

Het systeem ziet er globaal dus als volgt uit:



In het geval dat de D-Flow FM schematisatie ook sturing bevat roept de D-Flow FM niet de D-Flow FM DLL aan, maar de DIMR DLL (Deltares Integrated Model Runner), die per D-Flow FM tijdstap beurtelings de D-Flow FM DLL en de RTC DLL @@@ aanroept (Real Time Control, de sturingsmodule). Dan is de systeem-opzet dus:



De keuze voor het al of niet meeladen van DIMR-DLL en RTC-DLL wordt bepaald op basis van het argument dat aan D-Flow FM wordt meegegeven:

- een *.mdu file: draai alleen D-Flow FM (en laad dus alleen de D-Flow FM DLL).
- een *.xml file: dit is een DIMR-configuratie file; laad dan de DIMR DLL (die op zijn beurt de D-Flow FM DLL en de @@@ DLL laadt).

Opmerkingen:

1) binnen de DIMR configuratie-file wordt verwezen naar een subdirectory waarin het D-Flow FM model staat (met daarin de *.mdu). De huidige versie van de code gaat ervan uit dat deze subdirectory altijd @@@ heet. Dit moet configureerbaar worden gemaakt (zie hoofdstuk TODO's).

2) het mee laten draaien van @@@ is nog maar zeer beperkt, namelijk in slechts één configuratie getest (@@@).

3 Uitbreidingen aan de modelcomponenten

3.1 Uitbreidingen aan iMODFLOW

De modflow-component is intern op een aantal punten aangepast om hem om te kunnen laten gaan met het niet meer uitwisselen van gegevens met de NHI-componenten die niet meer gebruikt worden.

In plaats daarvan zijn in mf2005_comp.f90 calls toegevoegd voor de door de koppelmodule verzorgde communicatie met de 1D-nodes van D-Flow FM:

- Lever het aantal river-elementen nModRiv.
- Ontvang de (door de koppelingmodule ruimtelijk geïnterpoleerde) waterstand op deze river-elementen, in de volgorde 1 – nModRiv.
- Lever de infiltratie resp. drainage op deze river-elementen, in de volgorde 1 – nModRiv.
- Ontvang een eventuele correctie van de infiltratie op deze river-elementen (dit is het geval als de voor de komende dag door iMODFLOW berekende hoeveelheid infiltrerend water bij nader inzien niet in de D-Flow FM watergangen aanwezig blijkt te zijn), wederom in de volgorde 1 – nModRiv.

Op vergelijkbare wijze zijn calls toegevoegd voor het door iMODFLOW aan de koppelmodule leveren van:

- Debieten uit de niet interactief gekoppelde river-elementen (aantal elementen :nModRiv2)
- Debieten uit drains (nModDrn)

3.2 Uitbreidingen aan MetaSWAP

In MetaSWAP zijn de SIMGRO-bakjes verwijderd en is de berekeningsstap van het top-model geïsoleerd uit simgro.f90, zodat deze berekeningsstap apart door de driver kan worden aangeroepen. Deze deels verschoven en deels nieuwe code staat in simgro_dtsw.f90.

T.b.v. van de communicatie met D-Flow FM zijn in metaswap_comp.for calls toegevoegd voor het opragen en leveren van gegevens aan de koppelmodule. Het basis-schema werkt als volgt:

- Lever het aantal MetaSWAP SVATs (nMswSvats).
- Lever de id's van al die svat-elementen, in de volgorde waarin MetaSWAP data gaat leveren en wil ontvangen.
- Ontvang de (door de koppelingmodule ruimtelijk geïnterpoleerde) waterdiepte op deze SVATs in de aangegeven volgorde.
- Lever de gevraagde wijzigingen in ponding volume op deze SVAT-elementen, in genoemde volgorde.
- Lever de beregeningsvraag op deze SVAT-elementen, in genoemde volgorde. Op SVATs zonder beregeningsvraag wordt een missing value gegeven.
- Ontvang de gerealiseerde pondingverandering en beregeningsvraag op deze SVAT-elementen, in genoemde volgorde. De SVATs zonder beregeningsvraag krijgen een missing value binnen.

Het basis-schema kan optioneel worden uitgebreid door de module voor regelbare drainage en subirrigatie te activeren. In dat geval worden de volgende interacties toegevoegd:

- Ontvang het 1D peil waar een peilvak op afwatert; dit peil kan stremmend werken op de drainage;

- Lever de watervraag voor subirrigatie, dan wel leverantie door drainage
- Ontvang de gerealiseerde watervraag

3.3 Uitbreidingen aan D-Flow FM

Daar waar iMODFLOW en MetaSWAP reeds als component in de NHI-code aanwezig zijn, is D-Flow FM toegevoegd. Dit is gedaan door in analogie met de andere twee componenten de FM component `dflowm_comp.90` te implementeren. De functies en routines in deze code doet niet veel anders dan de calls doorsluizen naar de gerelateerde functie of routine in de D-Flow FM DLL. Deze D-Flow FM DLL biedt de zogenaamde BMI-interface, waardoor op een min of meer gestandaardiseerde manier variabelen kunnen worden opgevraagd uit en gezet worden in het rekenhart.

In `dflowm_comp.for` zijn de calls aanwezig voor de door de koppelmodule verzorgde communicatie met de svats van MetaSWAP en de river-elementen van iMODFLOW:

- Lever het aantal 1D-knopen
- Lever de id's van al die 1D-knopen, in de volgorde waarin D-Flow FM data op die knopen gaat leveren en/of wilt ontvangen
- Lever de waterstanden in deze 1D-knopen, in de bij de vorige stap aangegeven volgorde
- Ontvang de (door de koppelingsmodule samengevoegde) fluxen vanuit iMODFLOW op deze 1D-knopen, in de genoemde volgorde.
- Lever het aantal 2D-knopen (i.e. cellen)
- Lever de id's van al die 2D-knopen, in de volgorde waarin D-Flow FM data op die knopen gaat leveren en/of wilt ontvangen
- Lever de waterstanden in deze 2D-knopen, in de bij de vorige stap aangegeven volgorde
- Ontvang de (door de koppelingsmodule ruimtelijk geïnterpoleerde) wijzigingen in ponding volume vanuit MetaSWAP op deze 2D-knopen, in de genoemde volgorde.

Daarnaast zijn er twee extra methodes toegevoegd om op te vragen wat de id is van een 1D-knoop of een 2D-knoop, gegeven de x,y-coördinaten van de knoop (zie volgend hoofdstuk, 'De koppelingsmodule').

4 De koppelingsmodule

4.1 Basisstructuur

Kern van de koppelingsmodule is een datastructuur met daarin de administratie voor het koppelen van N source-elementen aan 1 target-element. Deze administratie wordt voor alle koppelingen gebruikt, en werkt altijd in één richting. Een m:n koppeling bestaat dus in feite uit twee koppelingen: m:1 de ene kant op en n:1 de andere kant op.

Een koppeling bestaat uit een groot aantal linkjes, waarbij per link wordt geadmistreerd wat het target element is, wat de source elementen zijn, en wat de gewichtsfactoren zijn van de source elementen (gezamenlijk gewicht 1.0 bij een te middelen grootte zoals waterstand, elk individueel gewicht 1.0 bij een te sommeren grootte zoals flux).

Een koppelingsadministratie zie er dus altijd als volgt uit:

- link
 - targetId
 - source
 - id
 - gewicht
 - source
 - id
 - gewicht
- link
 - targetId
 - source
 - id
 - gewicht
 - source
 - id
 - gewicht
 - source
 - id
 - gewicht
 -
 -

Een 1:1-koppeling heeft dezelfde structuur, waarbij er per target maar één source aanwezig is, met gewicht 1.

Per n:1 koppeling wordt een configuratiebestand ingelezen waarin de target-elementen en de source-elementen staan. Zo'n configuratiebestand heeft de extensie .dmm (**D-Flow FM**, **iMODFLOW**, **MetaSWAP**) en bevat aan de FM-kant x,y-coördinaten van een gekoppelde 1D- of 2D-knoop, en aan de iMODFLOW respectievelijk MetaSWAP-kant de integer id van het river-element respectievelijk de SVAT.

De koppelingsmodule vraagt aan de D-Flow FM DLL wat de integer id van de 1D- respectievelijk 2D-node is die gespecificeerd is door de x,y-coördinaten, zodat bovengenoemde koppelingsadministratie op id's gebaseerd kan blijven, wat zeer efficiënt werkt voor het uitvoeren van de mapping (i.e. interpolatie).

De eerste kolom(men) bevat(ten) de target. Als iMODFLOW of MetaSWAP de target is staat er een kolom, afhankelijk van de betreffende koppeling, de RIV-, de DRN- of de SVAT-id. Als FM de target is bevatten de eerste twee kolommen de x,y-coördinaten van, afhankelijk van de betreffende koppeling, de FM-1D-gridpunten of de FM-2D-cellen.
(In de modelschematisatie van D-Flow FM zijn dit in de *_net.nc file de variabelen mesh1d_node_x/y voor de 1D-gridpunten, en de variabelen Mesh2d_face_x/y voor de FM-2D-cellen.)

De target is in de eerste kolom(men) gezet om snel te kunnen zien welke sources gecombineerd toeleveren aan welk target.

Combinatie van volumes naar D-Flow FM 1D gridpunten.

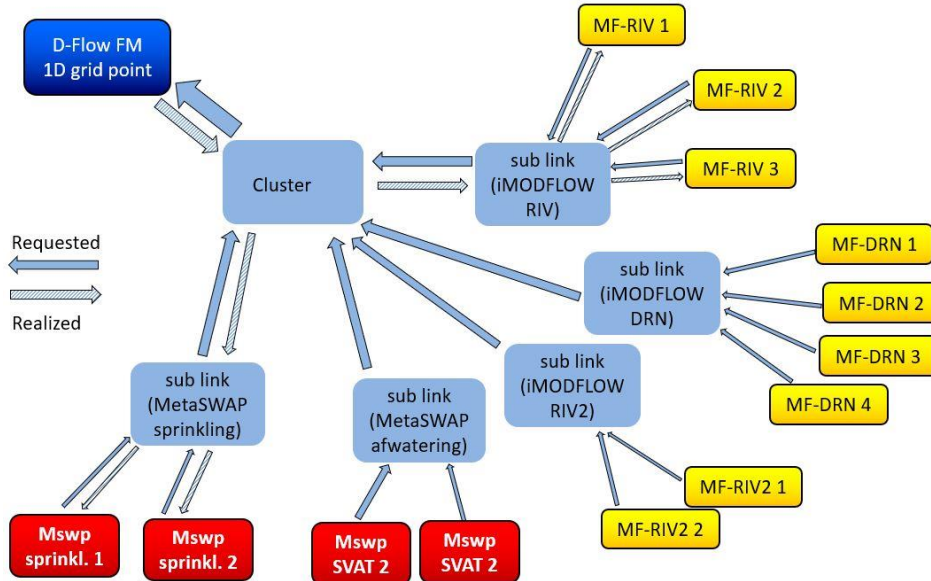
In het meest complexe geval kunnen de volgende volumes vanuit iMODFLOW en MetaSWAP elementen richting een D-Flow FM 1D gridpunt gaan, of eruit gevraagd worden:

1. infiltratie/drainage (iMODFLOW interactief gekoppelde RIV elementen)
2. drainage A (iMODFLOW niet-interactief gekoppelde RIV elementen)

3. drainage B (iMODFLOW DRN elementen)
4. beregeningsvraag (MetaSWAP SVATs)
5. runoff (MetaSWAP SVATs; aanwezig wanneer D-Flow FM zonder 2D-deel rekent)

In de code worden deze volume-uitwisselingen gecombineerd door per D-Flow FM target punt de linkjes vanuit de verschillende koppelingen te combineren, waarbij de link van het type 1 de hoofdlink is; zie onderstaande figuur.

De door D-Flow FM in het target punt gerealiseerde flux wordt terug gemeld aan deze gecombineerde linkjes, waarbij de koppelsoftware een eventueel tekort verdeelt naar rato van de vragende sources, waarbij type 4 eerst wordt gekort, en daarna pas type 1.



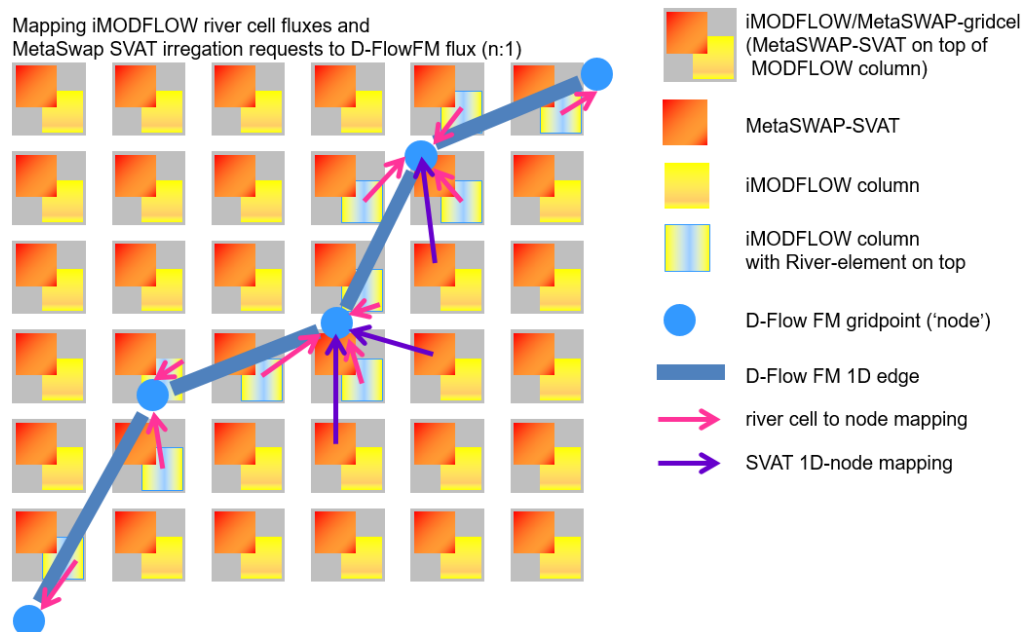
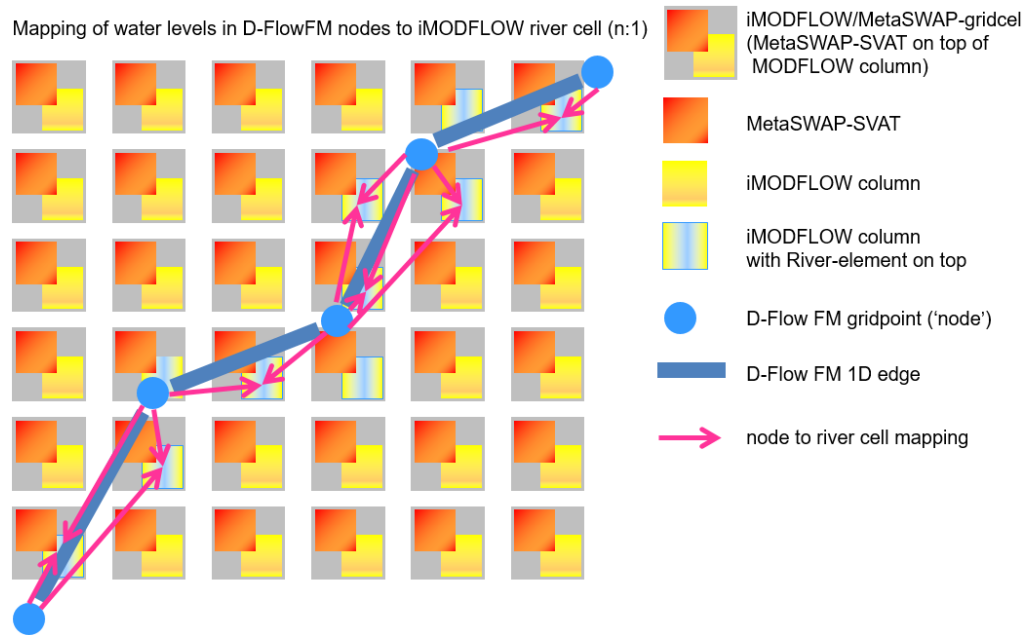
Fluxes from MetaSWAP and iMODFLOW to D-Flow FM,
and realized fluxes backward

4.2 Genereren van de koppeltabellen

De koppeltabellen worden gegeneerd vanuit het iMOD user interface, op basis van het D-Flow FM model en het iMODFLOW/MetaSWAP-model.

Daarbij worden de relaties gelegd tussen de D-Flow FM elementen en de iMODFLOW respectievelijk MetaSWAP elementen. Voor de uitwisseling van waterstanden worden t.b.v. van de interpolatie de gewichtsfactoren bepaald. (Voor de uitwisseling van volumes hoeft dat niet, omdat die worden gesommeerd.)

Onderstaande figuren laten een voorbeeld zien van de te leggen relaties.



Zie het hoofdstuk 'SVN repositories' aan het eind van dit document voor een beschrijving van de aanpassingen aan iMOD om de koppelingstabellen te kunnen genereren.

4.3 Loggen van door de koppeling uitgewisselde gegevens

De uitwisseling van gegevens kan gelogd worden door naast een *.DMM file een *.DMS van dezelfde naam te plaatsen. Als deze file aanwezig is wordt de uitwisseling gelogd in een *.CSV file van dezelfde naam.

Als de *.DMS file leeg is wordt alles gelogd. Dit wordt al snel erg veel, en daarom kan een tijdsperiode en/of een ruimtelijk gebied worden geselecteerd waarbinnen gelogd moet worden; op andere plaatsen en/of tijdstippen wordt dan niet gelogd. Een voorbeeld van zo'n *.DMS file:

```
# only log time step 10 to 20
tStart=10
```


tEnd=20
only log time in this area
llCorner=175750,412000
urCorner=178500,416000

4.4 Tijdstappenoverzicht

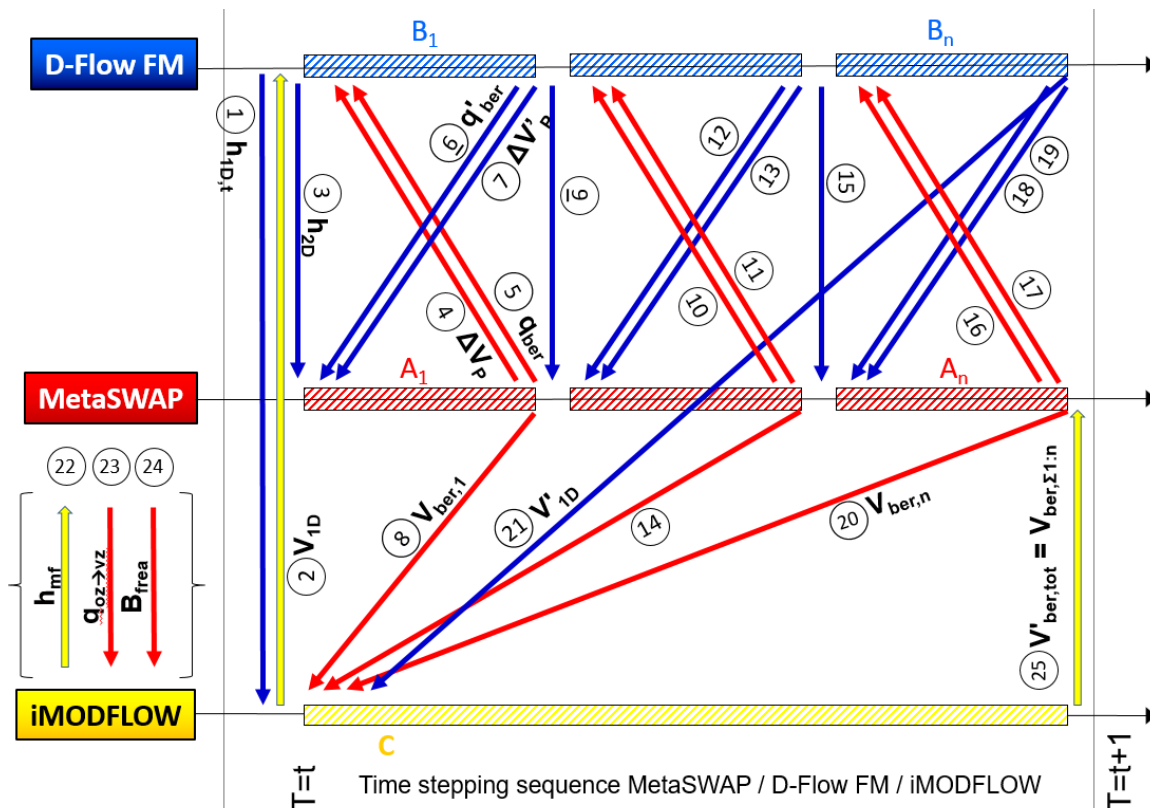
De figuur en tabel op de volgende pagina beschrijven de tijdstappen en de tussen die tijdstappen uitgewisselde variabelen, waarbij d.m.v. kleur is aangegeven welke component de waarden van welke variabele berekent.

Belangrijk onderdeel van het schema is de manier waarop de volume-uitwisselingen tussen D-Flow FM en iMODFLOW gemodelleerd worden. Voor de komende iMODFLOW-stap (van T naar $T+1$, vaak een dag) wordt het volume richting D-Flow FM geschat op basis van de huidige iMODFLOW-grondwaterstand en de peilen in de D-Flow FM watergang. Als iMODFLOW een infiltratie heeft berekend die niet gerealiseerd kan worden, vanwege droogval in een beekje in de komende D-Flow FM stappen, wordt dit gecorrigeerd door aan het eind van iMODFLOW-stap een correctie (de gerealiseerde waarde minus de gevraagde waarde) terug te geven, die iMODFLOW vervolgens verwerkt als korting voor de komende dag.

Voor de volume-uitwisselingen tussen D-Flow FM en MetaSWAP wordt een zelfde mechanisme gehanteerd, waarbij echter:

- Aan het eind van de MetaSWAP tijdstap de gerealiseerde waarde wordt teruggegeven in plaats van een correctie.
- Aan het eind van de MetaSWAP-tijdstap niet alleen deze gerealiseerde waarde wordt verwerkt, maar ook alvast de op dat tijdstip door D-Flow FM berekende waterdiepte op het maaiveld.

Er zit in de huidige koppelingsopzet dus tussen iMODFLOW en MetaSWAP een verschil in de verwerking van de waterstand op het nieuwe tijdstip.



Stap	var	Van	naar	Omschrijving	
1	$H_{1D,t}$	D-Flow FM (1D-deel)	iMODFLOW W	Waterpeilen in de 1D-waterlopen aan het begin van de iMODFLOW-tijdstap. ($T=t$)	
2	V_{1D}	iMODFLOW W	D-Flow FM (1D-deel)	In de komende iMODFLOW-tijdstap door MODFLOW gevraagde infiltratie/drainage vanuit/naar de 1D-waterlopen, geschat op basis van de in de vorige iMODFLOW-tijdstap berekende grondwaterstanden en FM-peilen op $T=t$	
Herhalen	3 (9 15)	H_{2D}	D-Flow FM	MetaSWAP	2D-waterpeilen van (water op maaiveld)
	$A_{(1..n)}$	<i>MetaSwap</i>		<i>topstelsysteem van MetaSWAP rekent</i>	
	4 (10 16)	ΔV_p	MetaSWAP	D-Flow FM (2D-deel)	Wijziging van het volume in ponding over de afgelopen MetaSWAP tijdstap
	5 (11 17)	q_{ber}	MetaSWAP	D-Flow FM (2D-deel)	Beregeningsvraag uit oppervlaktewater over de afgelopen MetaSWAP/FM-tijdstap
	$B_{(1..n)}$	<i>D-Flow FM</i>		<i>D-Flow FM rekent</i>	
	6 (12 18)	q'_{ber}	D-Flow FM (2D-deel)	MetaSWAP	Gerealiseerde berekening over de afgelopen MetaSWAP/FM-tijdstap
	7 (13 19)	$\Delta V'_p$	D-Flow FM (2D-deel)	MetaSWAP	Gerealiseerde wijziging van het volume in ponding over de afgelopen MetaSWAP/FM-tijdstap
	8 (14 20)	$V_{ber,i}$	MetaSWAP	iMODFLOW W	Beregeningsvraag uit grondwater over de afgelopen MetaSWAP-tijdstap; accumuleren in iMODFLOW
21	V'_{1D}	D-Flow FM (1D-deel)	iMODFLOW W	In de door FM doorgerekende dag gerealiseerde infiltratie/drainage vanuit/naar de 1D-waterlopen (aan iMODFLOW aangeboden als correctie)	
-	<i>In iMODFLOW de correctie toevoegen</i>				
22, 23, 24	<i>iMODFLOW</i>		<i>iMODFLOW rekent, iteratief met bodemsysteem van MetaSWAP (uitwisseling van head, flux en freatische berging - h_{mf}, $q_{oz \rightarrow vz}$, B_{frea})</i>		
25	$V'_{ber,tot}$	iMODFLOW W	MetaSWAP	Gerealiseerde cumulatieve berekening. Momenteel altijd gelijk aan de vraag ($V_{ber,\Sigma 1:n}$), meer een check dus	
-	$V_{1D+V'_1D}$	iMODFLOW		Berekening MODFLOW waterbalans	

5 Verdere ontwikkelingen aan de code

5.1 Inzicht in de koppelcode

Voor verdere ontwikkelingen is het van belang om te weten waar in de code wat gebeurt. Om dat te zien is het voldoende om de onderstaande variabelen te kennen die de handles vormen naar de koppelingen (de zgn. 'mappers'):

```
integer :: mapperWatLev2D      = 0
integer :: mapperDeltaPonding = 0
integer :: mapperWatLev1D     = 0
```

```
integer :: mapperMfRivToDfm1D = 0
integer :: mapperMfRiv2ToDfm1D = 0
integer :: mapperSprinkling = 0
integer :: mapperMfDrnToDfm1D = 0
integer :: mapperMswRunoffToDfm1D = 0
```

Elke koppeling doet zijn werk als volgt:

- Het initialiseren gebeurt door zijn configuratiebestand in te lezen (doorgaans components.inp genoemd) dat als argument aan de driver wordt meegegeven: `Driver_lumbricus.exe -components components.inp`. Bij een koppeling die niet gelegd wordt omdat deze niet in components.inp staat blijft de mapperhandle op 0 staan.)
- Vervolgens wordt de koppeling gevoed met de element-id's uit de source-component en de element-id's uit de target-component, zodat de koppeling de mapping-administratie op kan bouwen.
- Daarna kan de koppeling worden aangeroepen op de momenten dat er gemapt moet worden.

Door in de code van driver.f90 te zoeken op b.v. `mapperMfRivToDfm1D` komen deze stappen duidelijk naar voren, waarbij ook duidelijk wordt welke variabele aan welke component wordt opgevraagd en vervolgens – na mapping – onder welke naam aan een andere component wordt doorgegeven.

Er is een testprogramma geschreven voor de uitwisseling van de diverse soorten gegevens. Daarin zijn de stappen van de inhoudelijke componenten slechts als enkele commentaarregels aanwezig, waardoor de uitwisselingsstappen in één oogopslag te zien zijn. Dit testprogramma bestaat uit 4 onderdelen:

- @@@

5.2 Aanvullende activiteiten

Er moeten nog een aantal – doorgaans kleine – dingen gebeuren aan de code voordat deze als voldoende operationeel kan worden bestempeld. Deze zijn als TODO's in de code opgenomen. De twee belangrijkste zijn.

- Write errors to log file instead of fort.NNNN file
- Make some hard coded variable values configurable (b.v. the iMODFLOW time step, die momenteel hard op een dag staat, en de subdirectory waarin D-Flow FM draait)

M.b.t. het configureerbaar maken van de subdirectory waarin D-Flow FM draait:

Meest eenvoudig is waarschijnlijk een toevoeging in de components.inp:

- @@@ .xml:fmDir
achter de ":" wordt dan de subdirectory-naam opgegeven. De D-Flow FM component (@@@) kan de deel eraf parsen (in de functie @@@)

5.3 Importeren van D-Flow FM naar ISG-bestanden

De koppeltabellen voor D-Flow FM kunnen alleen worden gemaakt vanuit één ISG-bestand. Dit ISG-bestand wordt geconverteerd vanuit D-Flow FM. Hiervoor is er een uitbreiding gemaakt op de bestaande **IMPORTSOBEK**-functie binnen iMOD Batch. De volgende toevoeging aan deze functie is gemaakt:

DFLOWFMDIR:

Dit is de locatie van de bestanden FLOWFM_NET.NC, CRSDEF.INI en CRSLOC.INI.

ISFINAL:

Hiermee is het mogelijk om af te dwingen dat alleen de laatste waarde van de door D-Flow FM berekende oppervlaktewaterpeilen wordt overgenomen uit de resultaten (SEA_SURFACE_HEIGHT) die in FLOWFM_NET.NC zijn opgeslagen. Als er geen oppervlaktewaterpeilen van D-Flow FM beschikbaar zijn dan wordt voor het peil van de watergangen de bodemhoogte + 1 meter berekend.

5.4 Software voor het genereren van de koppeltabellen

De koppeltabellen worden binnen iMOD gegenereerd op basis van een PRJ-bestand van het model. Hierin staan alle benodigde bestanden voor een modelberekening. Het ISG-bestand dat is omgezet vanuit D-Flow FM moet daarnaast **altijd** het eerste ISG-systeem zijn in het PRJ-bestand. Bij de koppeling is er vanuit gegaan dat die ISG een representatie is van het D-Flow FM-model. De schaal en locatie van het model wordt uiteindelijk bepaald in de iMOD Batch functie **RUNFILE**. Hierbinnen zijn de volgende toevoeging aangebracht:

AFWATIDF:

Hiermee is een IDF op te geven met een uniek nummer voor ieder afwateringsgebied. Gebieden die geen afwateringseenheid vertegenwoordigen kunnen voorzien worden van een *nodata*-waarde. Een RIVER/DRAIN-element dat in een *nodata* zone ligt, wordt per definitie niet gekoppeld als er een AFWATIDF is opgegeven. Deze worden gebruikt bij het aanmaken van een aantal van onderstaande koppelingstabellen. Het geeft de mogelijkheid om koppelingen binnen afwateringseenheden te bepalen.

DMMFILE:

Door DMMFILE=1 op te nemen zal iMOD de koppeltabellen voor de koppelingen tussen MetaSWAP en D-Flow FM en voor de koppelingen tussen MODFLOW en D-Flow FM genereren. Het gaat hierbij om de volgende bestanden:

MetaSWAP gerelateerd:

- DFM2DWATLEVTOMSW_H.DMM (NODE,X,Y,WEGING):
Beschrijft de koppeling van het 2D netwerk van D-Flow FM met MetaSwap voor de afvoer en/of aanvoer van water uit ponding zoals berekend door MetaSwap en/of het 2D netwerk van D-Flow FM.
- MSWPONDINGTODFM2D_DV.DMM (X,Y,NODE):
Beschrijft de koppeling van MetaSwap met het 2D netwerk van D-Flow FM voor de afvoer van ponding zoals berekend door MetaSwap en/of het 2D netwerk van D-Flow FM.
- MSWSPRINKTODFM1D_Q.DMM (X,Y,NODE):
Beschrijft de koppeling van MetaSwap met het 1D netwerk van D-Flow FM voor de beregeningsvraag te onttrekken uit D-Flow FM. Hierbij wordt er altijd een koppeling gelegd met het dichtbijgelegen knooppunt van het 1D netwerk van D-Flow FM.
- MSWRUNOFFTODFM1D_Q.DMM (X,Y,NODE):
Beschrijft de koppeling van MetaSwap met het 1D netwerk van D-Flow FM voor de zogenaamde "rural-runoff". Hierbij wordt er een keuze geboden om af te wateren naar het dichtbijgelegen knooppunt in het 1D netwerk van D-Flow FM, of het dichtbijgelegen knooppunt van D-Flow FM en tevens binnen hetzelfde stroomgebied als de beregeningslocatie (gebruik van een **AFWATIDF**).

MODFLOW gerelateerd:

- MFRIVTODFM1D_Q.DMM (X,Y,ID_IRIV):
Beschrijft de koppeling voor het 1D netwerk van D-Flow FM naar een MODFLOW RIVER element van het eerste systeem in het PRJ-bestand en het dichtbijgelegen knooppunt van het segment van het 1D netwerk van D-Flow FM. Dit wordt gebruikt om afvoeren te sommeren die worden berekend door MODFLOW naar het 1D netwerk van D-Flow FM.
- DFM1DWATLEVTOMFRIV_H.DMM (ID_IRIV,X,Y,WEGING):
Beschrijft de koppeling voor MODFLOW naar het 1D netwerk van D-Flow FM voor een MODFLOW-element van het eerste systeem in het PRJ-bestand waarbij een waterpeil vanuit het 1D netwerk van D-Flow FM wordt overgenomen naar het betreffende RIVER-element. Hierbij wordt een gewogen peil berekend op basis van de locatie van dit RIVER-element op het segment van het 1D netwerk van D-Flow FM. Een peil kan bestaan uit maximaal twee gewogen middelingen die gezamenlijk altijd een weging van 1 hebben. Bij kleinere fracties dan 0.01 wordt het peil overgenomen van het dichtst bijgelegen knooppunt van het 1D netwerk van D-Flow FM.
- DFLOWFM_POINTS.DAT (ISEG,INODE,IZONE,X,Y)':
Dit bestand is een tijdelijk bestand dat nodig is voor de berekening van de twee, hierna beschreven koppeltabellen. Het bestand geeft per segment van het 1D netwerk van D-Flow FM aan in welk knooppunt (INODE) en zone (IZONE) van de AFWATIDF de knooppunten van het 1D netwerk van D-Flow FM liggen. Als AFWATIDF niet is gedefinieerd, is IZONE=0 voor alle locaties.

Voor beide DMM-bestanden die hieronder worden beschreven wordt er een keuze geboden om af te wateren naar het dichtbijgelegen knooppunt in D-Flow FM, of het dichtbijgelegen knooppunt van D-Flow FM en tevens binnen hetzelfde stroomgebied als de beregeningslocatie (gebruik van een **AFWATIDF**).

- MFRIV2TODFM1D_Q.DMM (X,Y,ID_IRIV):
Beschrijft de koppeling van MODFLOW **RIVER** elementen naar het 1D netwerk van D-FLOW FM. Hierbij worden de berekenden volumes van MODFLOW (positief en negatief) verwerkt in het 1D netwerk van D-Flow FM.
- MFDRNTODFM1D_Q.DMM (X,Y,ID_IDRN):
Beschrijft de koppeling van MODFLOW **DRAIN** elementen naar het 1D netwerk van D-Flow FM. Hierbij worden de berekenden volumes van MODFLOW (negatief) verwerkt in het 1D netwerk van D-Flow FM.

Opmerking:

De COMPONENTS.INP dient gevuld te worden met de noodzakelijke instellingen die nodig zijn voor het rekenen met de koppelingen tussen MetaSwap, MODFLOW en DFlow-FM. Deze dient o.a. een verwijzing te hebben naar het DFlow-FM-model en de benodigde koppeltabellen. Het expliciet weglaten van een koppelingstabel (*.DMM) heeft als resultaat dat de modellen wel draaien maar zonder een koppeling die wordt beschreven door de weggelaten koppelingstabel. Hieronder een voorbeeld van een COMPONENTS.INP met alle mogelijke koppelingstabellen.

```
MODFLOW -wd MODELINPUT -namfile .\t-model-D.NAM -dxc .\MODELINPUT\T-MODEL-  
D.DXC  
METASWAP -wd MSWAPINPUT  
DFLOWFM -wd fm -mdu FlowFM.mdu  
MAPPING -wd . -exchType waterlevel2D -config .\DFM2DWATLEVTOMSW_H.DMM  
MAPPING -wd . -exchType deltaPonding -config .\MSWPONDINGTODFM2D_DV.DMM  
MAPPING -wd . -exchType waterlevel1D -config .\DFM1DWATLEVTOMFRIV_H.DMM
```

```
MAPPING -wd . -exchType riverFlux -config .\MFRIVTODFM1D_Q.DMM
MAPPING -wd . -exchType sprinkling -config .\MSWSPRINKTODFM1D_Q.DMM
MAPPING -wd . -exchType mfDrains -config .\MFDRNTODFM1D_Q.DMM
MAPPING -wd . -exchType riverFlux2 -config .\MFRIV2TODFM1D_Q.DMM
```

5.5 SVN-Repositories

Driver, componenten en koppelsoftware

Het prototype voor het uitvoeren van de berekeningen bevindt in twee repositories:

- a) De GWSobek repository
(<https://repos.deltares.nl/repos/GWSobek>)
(naam komt voort uit de historie, n.l. de koppeling tussen **G**ro**n**d**W**ater en Sobek).
Deze repository bevat de koppelsoftware, de MetaSWAP code, en het stekkertje naar de D-Flow FM DLL.
- b) De iMOD open source repository
(<https://svn.oss.deltares.nl/repos/imod>).
Deze repository bevat de iMODFLOW code.
Hij bevindt zich als zgn. *external* onder het hoofdniveau van eerstgenoemde repository,

In deze repositories zijn de volgende twee branches aangebracht:

1. https://repos.deltares.nl/repos/GWSobek/branches/dfm_fase2,
Deze branch bevat de ontwikkelingen van afgelopen jaar.
Tevens is daarin de laatste versie van MetaSWAP code gemerged.
De bijbehorende iMOD open source branch is:
https://svn.oss.deltares.nl/repos/imod/branches/lumbricus_combined_mappers.
2. https://repos.deltares.nl/repos/GWSobek/branches/dfm_fase2_subirr
In deze branch is peilgestuurde drainage toegevoegd. Deze ontwikkeling zit nog niet in de reguliere branch, omdat de implementatie op leidde tot afwijkend gedrag van twee regulier testen. Wanneer dit verholpen is kan de peilgestuurde drainage worden toegevoegd.
De bijbehorende iMOD open source branch is dezelfde als onder punt 1.

5.6 iMOD

De iMOD v5.2 code waar de ontwikkelingen mee zijn uitgevoerd voor de aanmaak van de koppeltabellen en het omzetten van DFlow-FM naar ISG bestanden is te vinden in: <https://svn.oss.deltares.nl/repos/imod/tags/version5.2>, deze functionaliteit is ook meegenomen in recentere versies van iMOD 5.