

Reistijdberekeningen MIPWA 3.0

9 januari 2017

Reistijdberekeningen MIPWA 3.0

Effect laagdikte wisselingen op stroombanen en verblijftijden

Verantwoording

Titel	Reistijdberekeningen MIPWA 3.0
Opdrachtgever	Provincie Overijssel
Projectleider	Mariska Overbeek - te Vaarwerk
Auteur(s)	André Blonk
Projectnummer	1238845
Aantal pagina's	34 (exclusief bijlagen)
Datum	9 januari 2017
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

Tauw bv
BU Water & Ruimtelijke Kwaliteit
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon +31 57 06 99 91 1

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001

Kenmerk R001-1238845ATB-mdg-V01-NL

Inhoud

Verantwoording en colofon	5
1 Inleiding en voorbeeld laagdikte wisselingen	9
1.1 Aanleiding en doel	9
1.2 Voorbeeld laagdikte wisselingen	9
1.3 Voorbeeld stroombaanberekening	10
2 Ernst van laagdikte wisselingen	12
3 Bouw testmodel	15
3.1 Kenmerken testmodellen	15
3.2 Variatie in laagopbouw	15
3.3 Controle 2 lagenmodellen	16
4 Modelberekeningen met testmodel	18
4.1 Uitleg stroombaanberekeningen	18
4.2 Stroombaanberekeningen met lmod	21
4.3 Effect van laagdikte wisselingen op stijghoogten en flux	24
4.4 Effect op verblijftijden	27
5 Oplossingsrichting verblijftijden	30
6 Conclusies en aanbevelingen	34
6.1 Conclusies	34
6.2 Aanbevelingen	34
Bijlage(n)	
1 Runfile testmodel	
2 Stroombanen met startpunten bovenzijde modellaag 1 in lmod	

1 Inleiding en voorbeeld laagdikte wisselingen

1.1 Aanleiding en doel

In opdracht van de MIPWA gebruikersgroep werkt Deltares aan de actualisatie van het grondwatermodel MIPWA naar versie 3.0, waarbij ondermeer een nieuw lagenmodel van de ondergrond is gebouwd. Bij de bouw van het lagenmodel zijn keuzes gemaakt in de schematisatie waarbij het onduidelijk is of deze keuzes gevolgen heeft voor de berekende reistijden van het grondwater naar grondwateronttrekkingen.

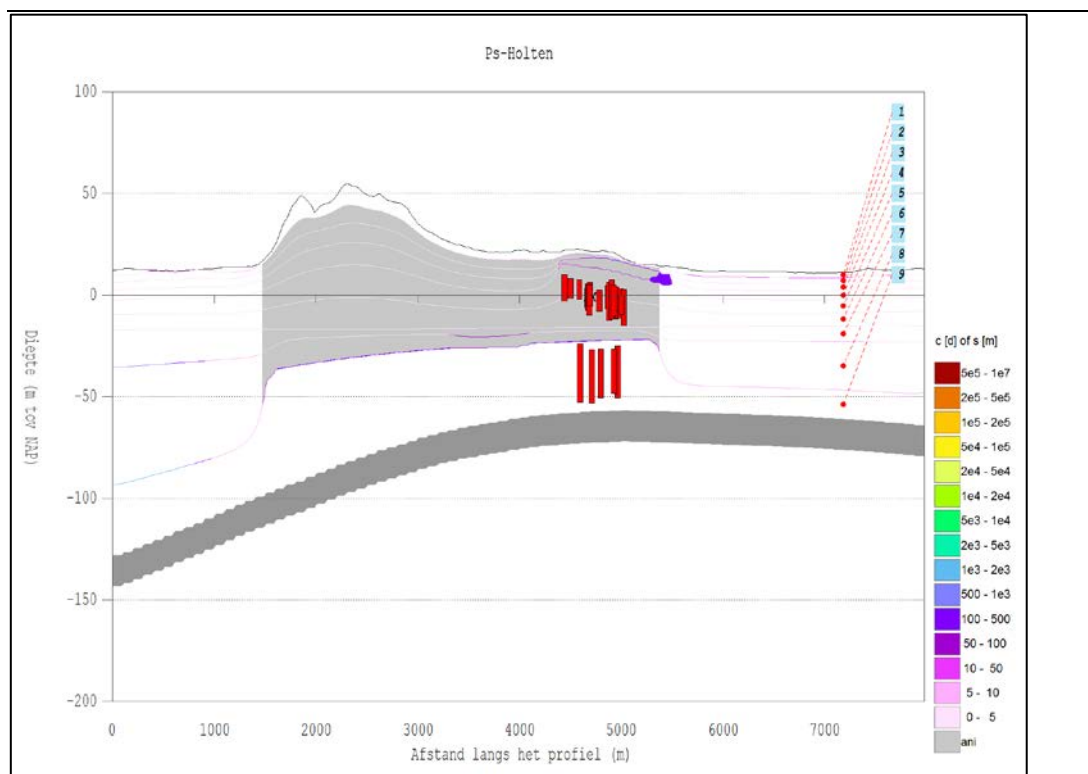
Het doel van voorliggende rapportage is:

- het visualiseren van de sterke laagdikte wisselingen en de locaties waar dit voorkomt.
- Voorbeeldberekeningen om vast te stellen of de laagdikte wisselingen effect heeft op de berekende reistijden en indien dit het geval is hoe daar dan mee kan worden omgegaan.

In dit hoofdstuk zijn 2 voorbeelden van laagdikte wisselingen weergegeven. Vervolgens is in hoofdstuk 2 de intensiteit c.q. ernst van de laagdikte wisselingen weergegeven in MIPWA 3.0. In hoofdstuk 3 en 4 zijn de resultaten van de voorbeeldberekeningen opgenomen en vervolgens in hoofdstuk 5 is een mogelijke oplossing gepresenteerd. In hoofdstuk 6 zijn conclusies en aanbevelingen opgenomen.

1.2 Voorbeeld laagdikte wisselingen

Het lagenmodel van Mipwa3.0 bevat soms sterke laagdikte wisselingen. Als voorbeeld is een deel van het lagenprofiel van Mipwa3.0 in figuur 1.1 weergegeven waarbij de laagdikte wisselingen duidelijk zichtbaar zijn. In de figuur is voor drinkwaterwinlocatie Holten een stroombaanberekening uitgevoerd. Het lagenmodel ter plaatse van de drinkwaterwinning wordt gekenmerkt door een sterke laagdikte vergroting van modellaag 9.



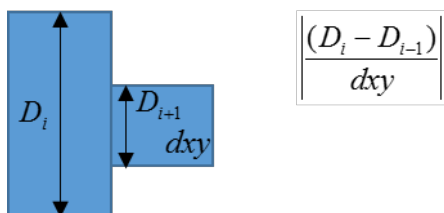
Figuur 1.1 Profiel met sterke wisseling in de dikte van de modellaag

1.3 Voorbeeld stroombaanberekening

De berekening is uitgevoerd met de opgeleverde versie van januari 2016. Deze versie rekent slechts ten dele door allerlei technische en data-onvolkomenheden. De berekening is uitgevoerd voor een rekenwindow van $x_{min}-x_{max}=213600.00-233600.00$ en $y_{min}-y_{max} 498600.00-518600.00$ in een resolutie van 50 m. In figuur 2 is een 3 dimensionaal beeld van het stromingsbeeld ter plaatse van het puttenveld in combinatie met de modellagen gepresenteerd. Door de "tafelberg" ontstaan hier springerige stroombanen. Het bovenaanzicht zoals in figuur 3 is gepresenteerd geeft het herkenbare stromingsbeeld van drinkwaterwinning Holten.

2 Ernst van laagdikte wisselingen

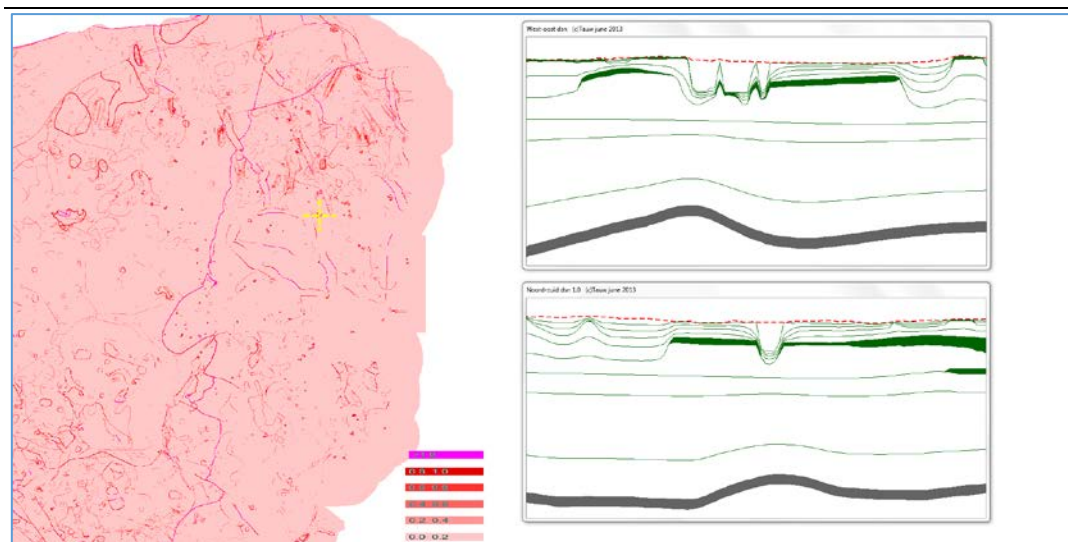
Om de laagdikte wisselingen beter zichtbaar te maken is voor het lagenmodel van Mipwa3.0 per cel de maximale laagdikte gradiënt bepaald. Onder deze laagdikte gradiënt wordt verstaan het verschil in laagdikte tussen 2 naburige cellen gedeeld door de celsize. Een gradiënt van 1 bij een celsize van 25 m geeft dus aan de laagdikten tussen 2 naburige cellen 25 m van elkaar verschillen. In de volgende figuur is dit schematisch weergegeven.



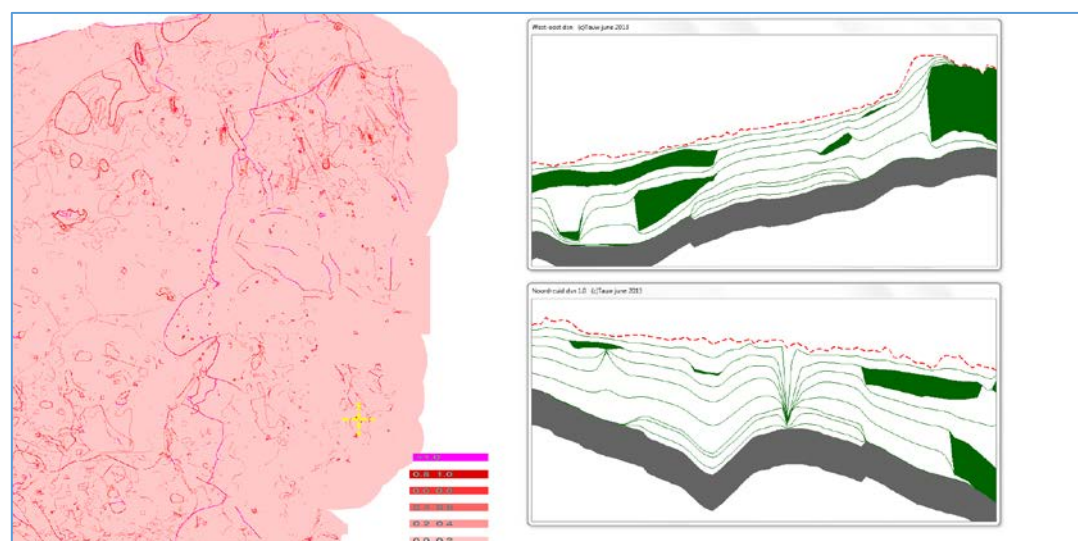
Figuur 2.1 Schematische weergave berekening laagdikte gradiënt

Deze laagdikte wisselingen komen vaak voor in intensiteit en in verschillende vorm. In figuur 2.2 t/m 2.4 zijn voorbeelden van een “zandwinplas”, een “spike” en een “tafelberg” weergegeven. De “tafelberg” bevindt zich ter plaatse van de Holterberg en hier kan de waterwinning Holten worden getoetst op afwijkingen. In deze figuren worden lijnpatronen en puntlocaties zichtbaar waarvan de laagdikte gradiënt groter dan 1 is (en dus de laagdikte van twee naburige cellen minimaal halveren/verdubbelen). Deze zijn weergegeven met de bovenste rode kleur in de legenda. In een groot deel van het modelgebied is van noord naar zuid een verticale paarse lijn zichtbaar die de sprong in de hydrologische basis zichtbaar maakt.

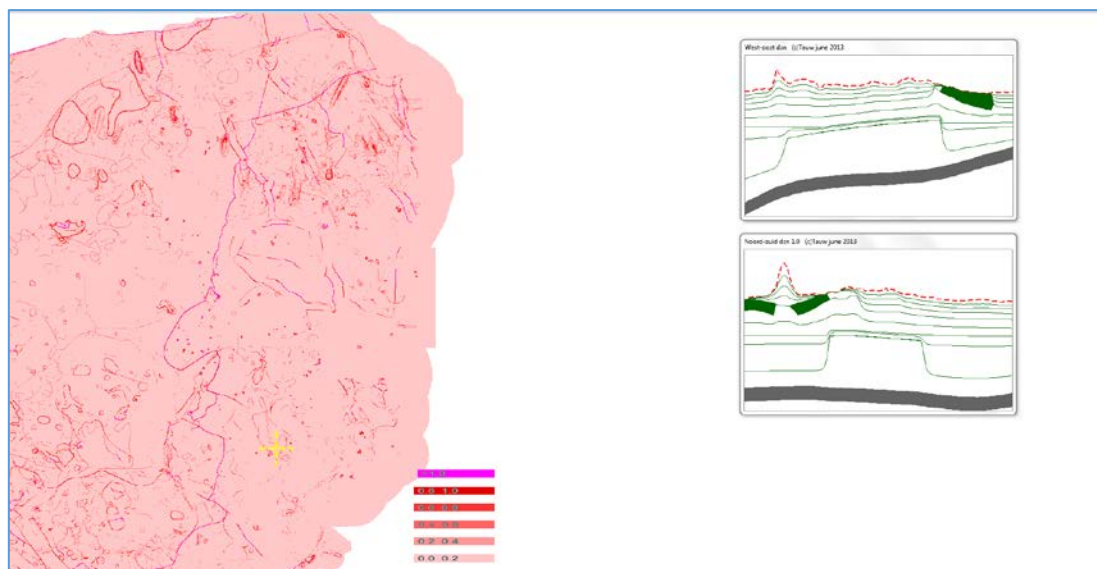
Kenmerk R001-1238845ATB-mdg-V01-NL



Figuur 2.2 Maximale dikte gradiënt lagenmodel, voorbeeld van een zandwinplas



Figuur 2.3 Maximale dikte gradiënt lagenmodel, voorbeeld van een spike



Figuur 2.4 Maximale dikte gradiënt lagenmodel (geel is grad>1 dus > 45 graden), voorbeeld van een tafelberg

3 Bouw testmodel

Voor het vaststellen van het effect van laagdikte variaties op het stroombanenbeeld en de verblijftijden is een klein test-model gemaakt. Het voordeel van een testmodel is dat een variabele laagdikte kan worden aangenomen en het stromingspatroon snel kan worden bepaald. Het testmodel rekent in analogie met Mipwa3.0 met k-waarden en laagdiktes zodat bij wisselende laagdikte de juiste kD en c-waarden worden bepaald.

3.1 Kenmerken testmodellen

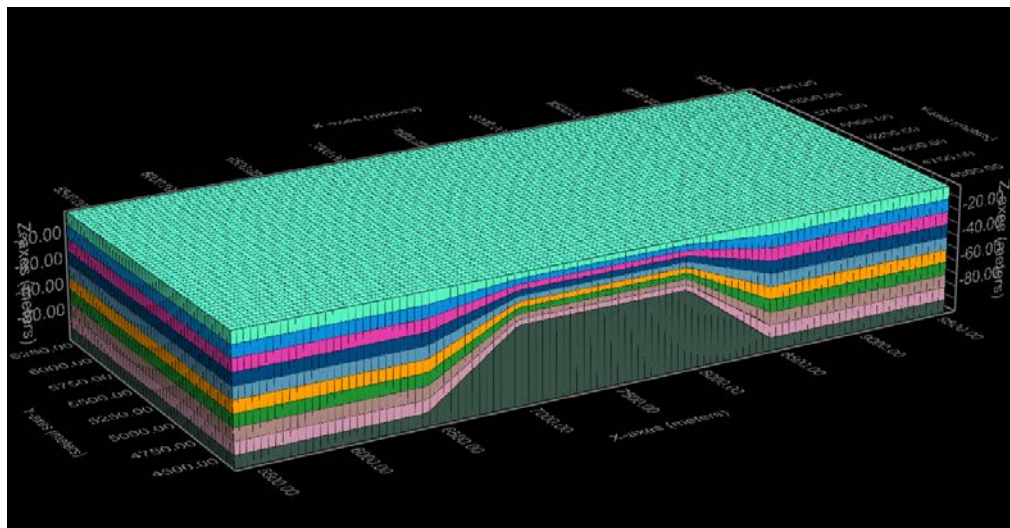
Het testmodel kenmerkt zich als volgt:

- Het model omvat een gebied van 10x10 km² (x=0-10000,y=0-10000).
- Het model omvat is een confined aquifer opgebouwd uit 10 modellagen met een totale dikte van 100 m, de top van het model is gedefinieerd op 0.
- De horizontale doorlatendheid van de modellagen is constant en bedraagt 10 m/dag
- De verticale anisotropie van de modellagen is constant en bedraagt 0.3
- De verticale doorlatendheid van de scheidende lagen bedraagt 0.01 m/dag
- De starting head van het model is constant en bedraagt 0 m
- Op het model valt een uniforme neerslag van 1 mm/dag op de bovenzijde van modellaag 1
- De randen van het model zijn stijghoogte gespecificeerd
- De ibound, tops en bots zijn gedefinieerd in een resolutie van 25 m

3.2 Variatie in laagopbouw

In dit testmodel worden 2 lagenmodellen onderscheiden, te weten:

- Lagenmodel 1: alle modellagen met een constante dikte van 10 m
- Lagenmodel 2: modellaag 10 met een dikte van 10 m oplopend naar een dikte van 61 m en vervolgens weer gradueel aflopend naar 10 m; in dit lagenmodel worden de modellagen 1-9 gradueel verdeeld tussen 0 en de top van modellaag 9, zie figuur 3.1

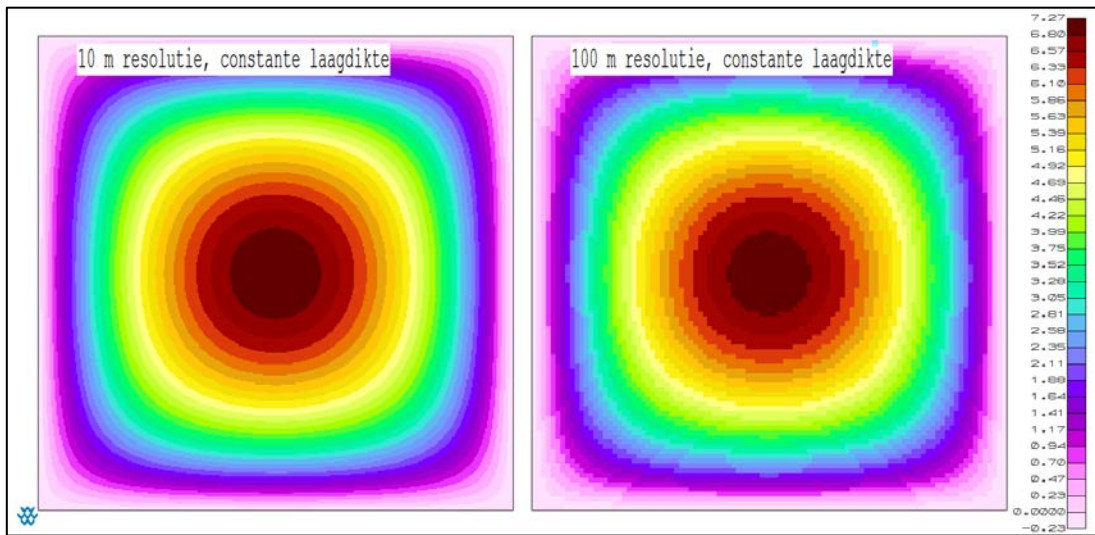


Figuur 3.1 Lagenmodel 2 met variabele laagdikte

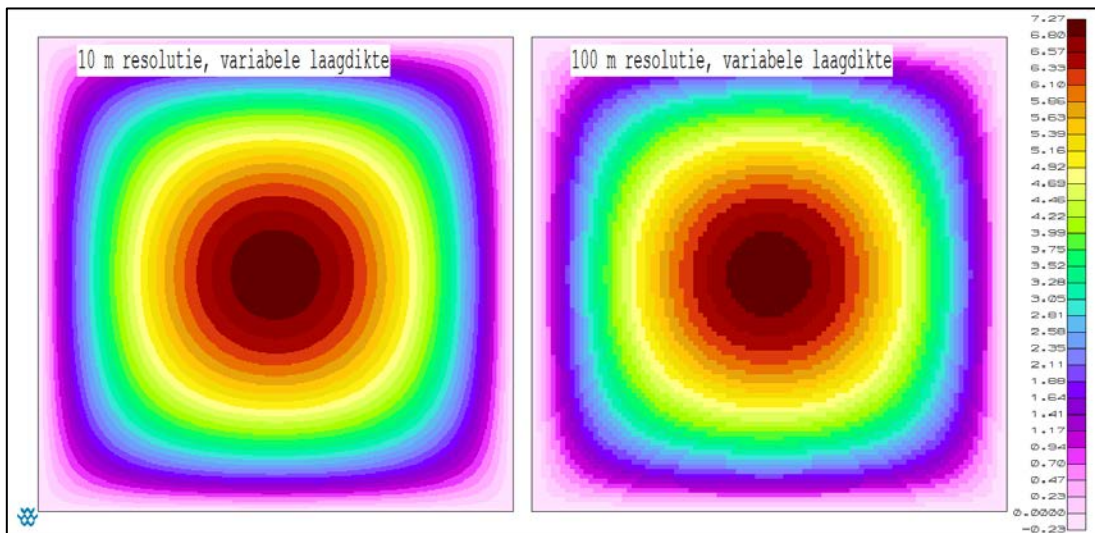
Doordat de testmodellen met k-waarden rekest verdeelt Imodflow automatisch de kD-waarden en c-waarden op basis van de laagdikten. De scheidende lagen hebben een laagdikte gelijk aan 0. De top van de onderliggende modellaag is steeds gelijk aan de bodem van de bovenliggende modellaag. De weerstand van deze hypothetische grensvlakken tussen de modellagen wordt berekend op basis van de verticale anisotropiefactor van 0.3 in de aquifers. De runfile van het model is opgenomen als bijlage 1.

3.3 Controle 2 lagenmodellen

Voor het model met constante laagdikte en het model met variabele laagdikten zijn de stijghoogten berekend en in de figuren 3.2 en 3.3 weergegeven. De beelden zijn overeenkomstig.



Figuur 3.2 Isohyetsbeeld model met constante laagdikte van 10 m in een resolutie van 10 en 100 m

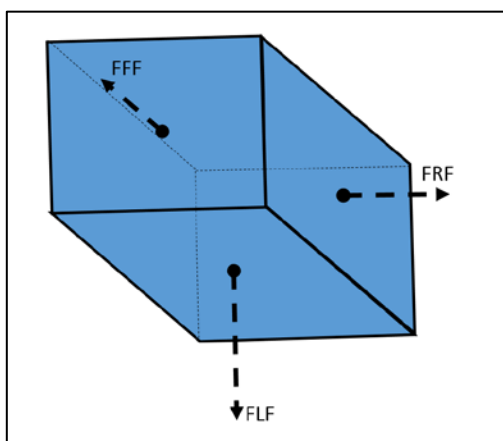


Figuur 3.3 Isohyetsbeeld model met variabele laagdikte van 10 m in een resolutie van 10 en 100 m

4 Modelberekeningen met testmodel

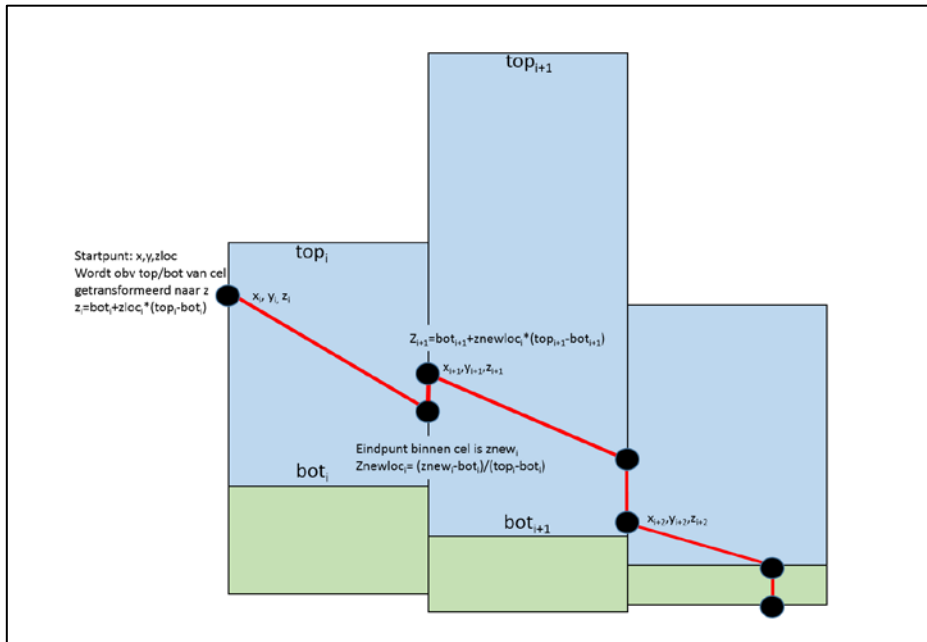
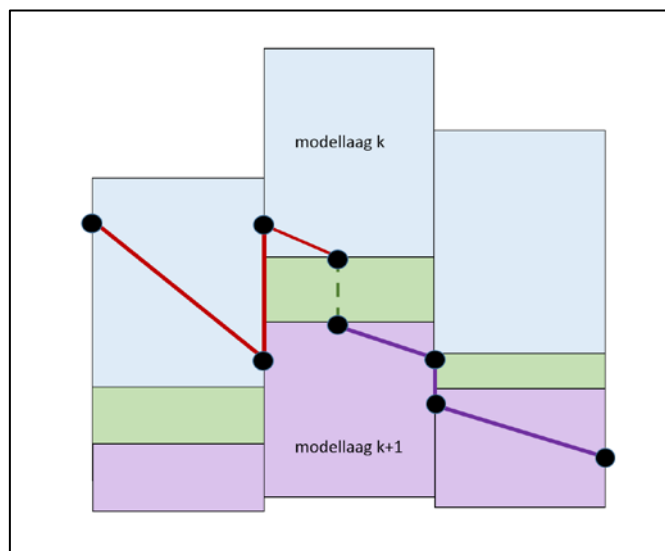
4.1 Uitleg stroombaanberekeningen

De stroombaanberekening wordt met 'forward trace' uitgevoerd met iMOD_V3_0_X32R.exe in batch mode. Stroombaanberekeningen met (i)Modflow worden gedefinieerd door de onderlinge celfluxen. Deze celfluxen hebben de eenheid L³/T en worden qua naamgeving onderscheiden in Flow-front-face (FFF), Flow-right-face (FRF) en Flow-Lower-face (FLF), zie figuur 4.1.

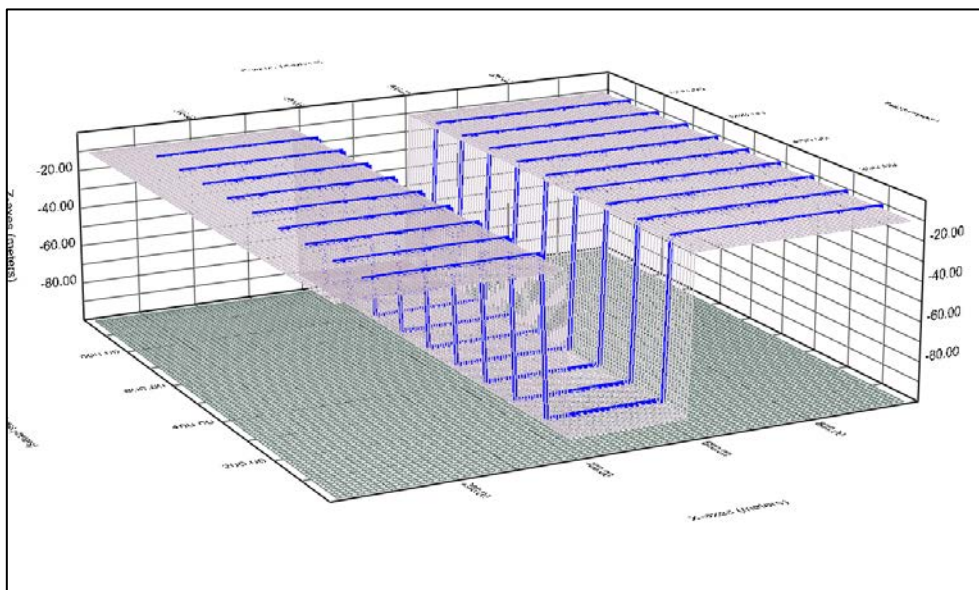


Figuur 4.1 Fluxterminen tussen de cellen

Voor een stroombaanberekening worden coördinaten van startpunten gedefinieerd van waaruit in stroomafwaartse (forward flow) of stroomopwaartse richting (backward flow) de stroombaan wordt berekend. Voor het startpunt wordt bepaald in welke modellaag en in welke modflow cel deze zich bevindt. Bij de overgang van de stroombaan van een cel naar een naburige cel wordt de z-coördinaat omgezet naar een lokale z-waarde binnen deze cel en in de naburige cel weer omgezet naar een absolute waarde zie de figuren 4.2 en 4.3. In figuur 4.2 is geïllustreerd hoe een stroombaan een sprong krijgt bij de overgang tussen 2 cellen in dezelfde watervoerende modellaag. In figuur 4.3 is een voorbeeld gegeven waarbij een cel met een scheidende laag op het niveau ligt van een watervoerende laag van een naburige cel.

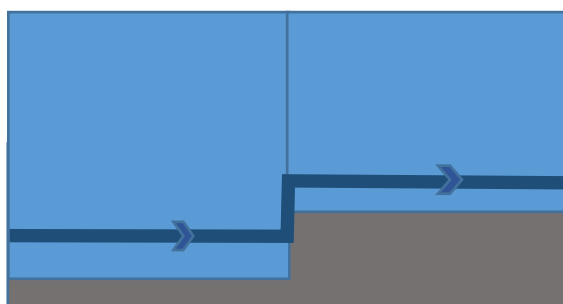

Figuur 4.2 Sprongerig verloop van een stroombaan bij wisselende laagdikten (1)

Figuur 4.3 Sprongerig verloop van een stroombaan bij wisselende laagdikten (2)

In een extreme situatie van zuiver horizontale grondwaterstroming in combinatie met een extreme laagdiktewisseling is het resultaat in figuur 4.4 weergegeven.



Figuur 4.4 Rekenvoorbeeld van zuiver horizontale stroming i.c.m. extreme laagdikte wisseling, stroombaan zakt van -10 naar -90 m-top

De gehanteerde rekenmethodiek zorgt ervoor dat stroombanen ondanks een hobbelende onderkant of bovenkant van een modellaag niet vastlopen op een verticale wand maar door de hantering van een relatieve z door kunnen stromen (zie figuur 4.5).



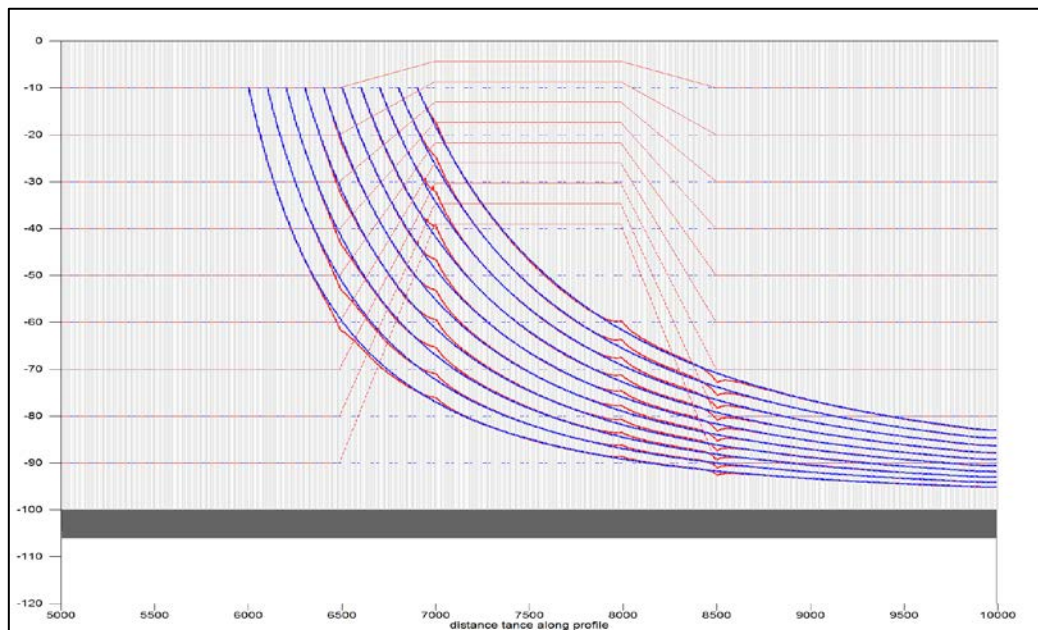
Figuur 4.5 Stroombanen stoppen niet bij een "verticale" wand

In het rekenvoorbeeld worden de startpunten van de stroombanen worden aan de bovenzijde van modellaag 1 gedefinieerd langs een lijn met coördinaten (6000,5000) tot (7000,5000) in een “spacing” van 100 m. Voor alle stroombaanberekening geldt een relativering. De stroombanen profielen worden in verband met zichtbaarheid getekend met een overdreven verticale schaal waardoor de afwijkingen ernstiger lijken.

4.2 Stroombaanberekeningen met Imod

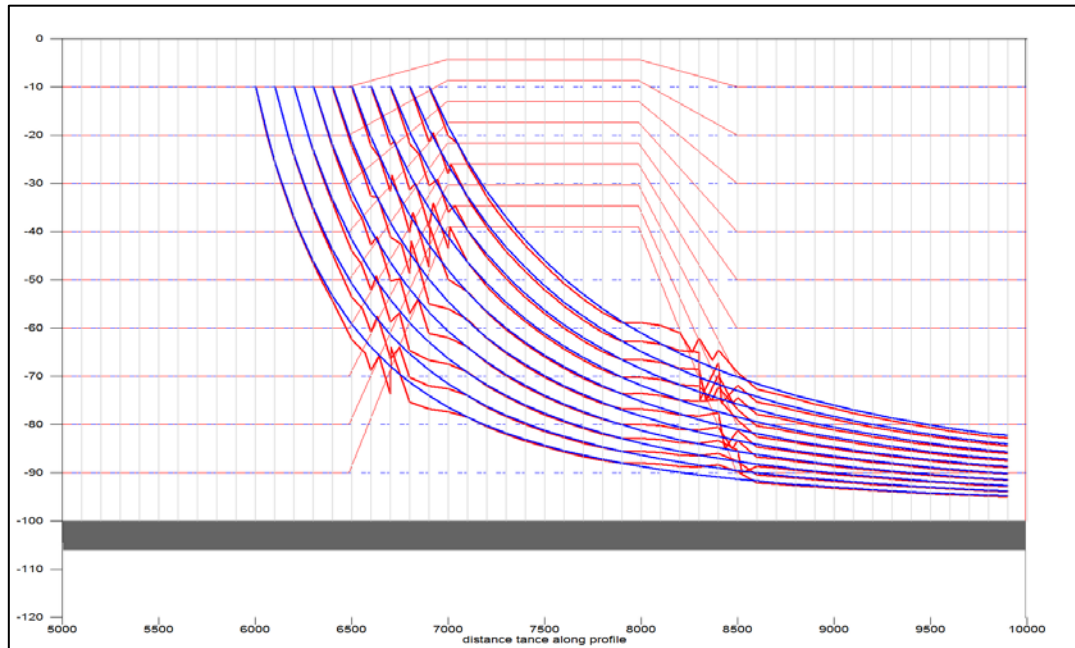
Voor het model met constante en variabele laagdikte zijn de stroombanen berekend met Imodflow. In eerste instantie zijn de startpunten van de stroombanen gekozen aan de bovenzijde van modellaag 1, maar dan ontstaat een onrealistisch beeld. In bijlage 2 is dit fenomeen nader toegelicht. In tweede instantie zijn de startpunten van de stroombanen aan de onderzijde van modellaag 1 gekozen en ontstaat wel een realistisch beeld. Indien de eerste modellaag dun is, kunnen bij ‘forward trace’ de startpunten zonder veel problemen aan de onderzijde van modellaag 1 worden gedefinieerd. Het verschil met het starten van de stroombanen aan de bovenzijde is dan verwaarloosbaar. Bij eerste modellagen (over het algemeen dikker) waar de verblijftijd in de eerste modellaag wel belangrijk is kan dat niet. In die gevallen moet de methode beschreven in bijlage 2 worden toegepast. Bij ‘backward trace’ sommen vanuit putten zullen de stroombanen afhankelijk van het afbreekcriterium wel “horizontaal” eindigen aan de bovenzijde van modellaag 1. Een aanpassing van Imodflow met een Flow-top-face is het verstandigst.

In onderstaande figuur (4.6) blijken slechts geringe verschillen in de stroombanen tussen het model met variabele laagdikten en het model met constante laagdikten bij een 10 m resolutie.

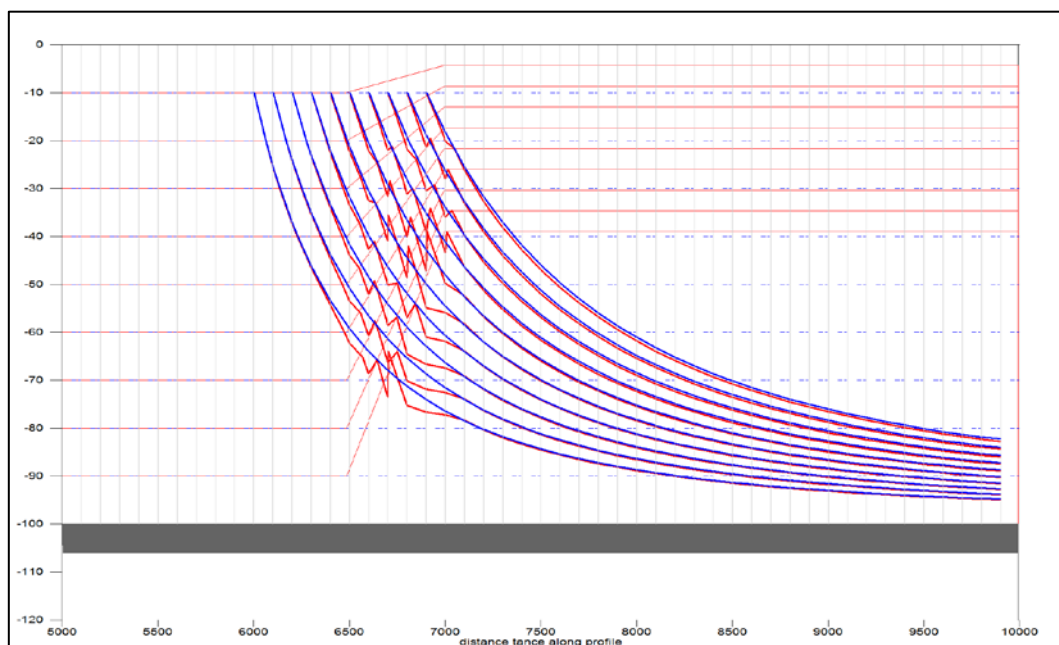


Figuur 4.6 Stroombaanberekening met Imod voor een modelberekening in een resolutie van 10 m. Met constante laagdikte (blauwe lijn) en variabele laagdikte (rode lijn). De startpunten zijn gekozen aan de onderzijde van modellaag 1

Wanneer de rekenresolutie groter wordt gekozen, bijvoorbeeld 100 m, dan worden de afwijkingen ook groter (zie figuur 4.7 en figuur 4.8). Ter plaatse van de laagdikte variaties treden er opeens sterke afwijkingen op met verschuivingen in het verticale vlak van 10 m. Begin- en eindpunt van de stroombanen komen wel nagenoeg overeen.



Figuur 4.7 Stroombaanberekening met lmod voor een modelberekening in een resolutie van 100 m. Met constante laagdikte (blauwe lijn) en met variabele laagdikte (rode lijn)



Figuur 4.8 Stroombaanberekening met I mod voor een modelberekening in een resolutie van 100 m. Met constante laagdikte (blauwe lijn) en met variabele laagdikte (rode lijn).

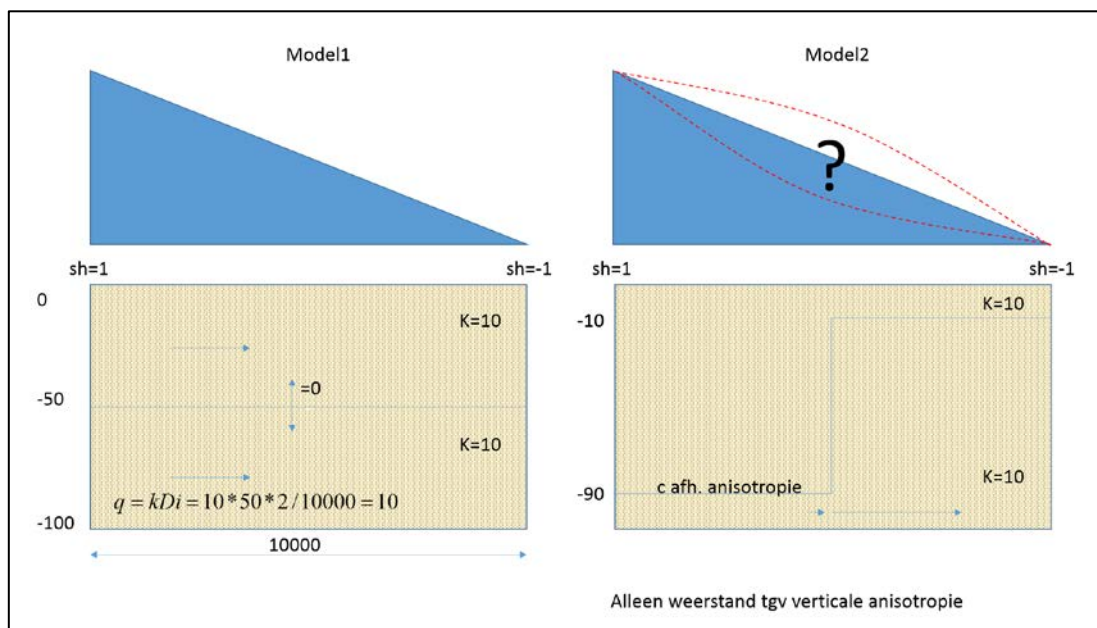
4.3 Effect van laagdikte wisselingen op stijghoogten en flux

Binnen een homogeen verticaal anisotroop watervoerend pakket hebben laagdikte laagdiktewisselingen ook effect op de stijghoogten en de verticale flux tussen de modellagen. Door de verticale anisotropie ontstaan gediscrèteerde weerstand op de modellaag overgangen als gevolg van de verticale anisotropiefactor.

In onderstaande figuur 4.9 wordt aan de hand van een eenvoudig voorbeeld het fenomeen nader verklaard. Rechts is een lagenmodel gepresenteerd (model 1) waarbij de bovenste – en onderste modellaag een constante identieke dikte hebben. Het lagenmodel heeft aan de randen een vaste stijghoogte en de grondwaterstroming is constant van links naar rechts. Het rechterdeel van de figuur geeft een lagenmodel weer (model 2) waar een sterke laagdikte wisseling plaats vindt. Beide modellen hebben een gelijke identieke horizontale doorlaatfactor en een identieke factor van de verticale anisotropie.

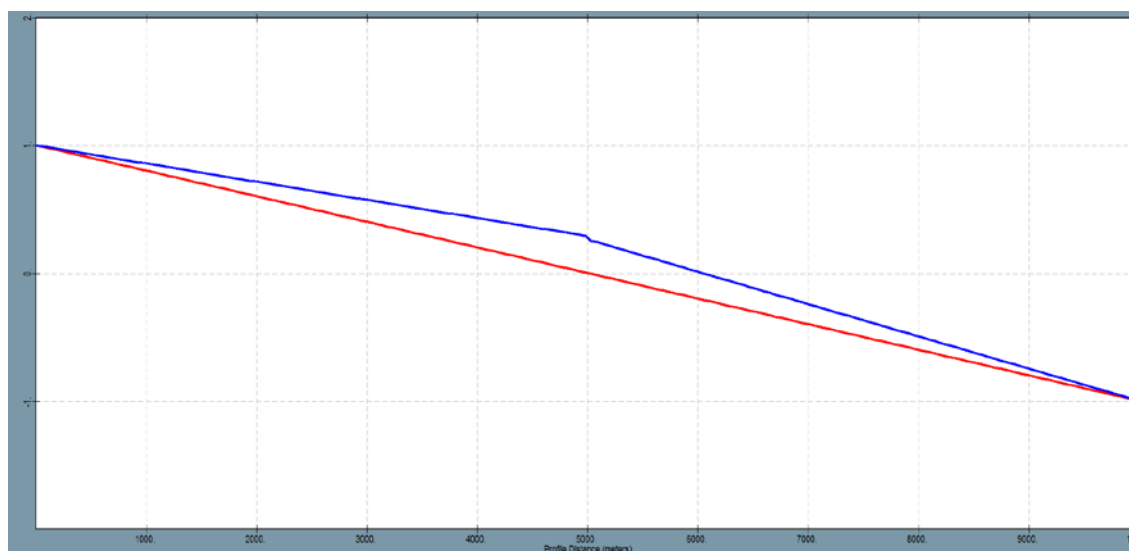
In het linkermodel zal er geen stroming plaats vinden over de scheiding tussen de modellagen. Het stijghoogte verloop is 100 % lineair. In het rechtermodel zal op het grensvlak van de laagdikte wisseling op basis van continuïteit de horizontale flux links en rechts gelijk moeten zijn.

Aangezien de laagdikte verschillen zullen ook de verhangen moeten verschillen. In het linker model zal ter plaatse van de laagdiktewisseling een flux over de scheiding tussen de modellagen ontstaan.



Figuur 4.9 Laagdikte variaties in een uniform pakket

In figuur 4.10 is het stijghoogtepatroon van het linker- (1) en rechtermodel (2) gepresenteerd. Het linker model heeft een constant verhang (rode lijn) terwijl het rechter model links en rechts van de laagdikte wisseling een verschillend verhang (blauwe lijn) vertoond.

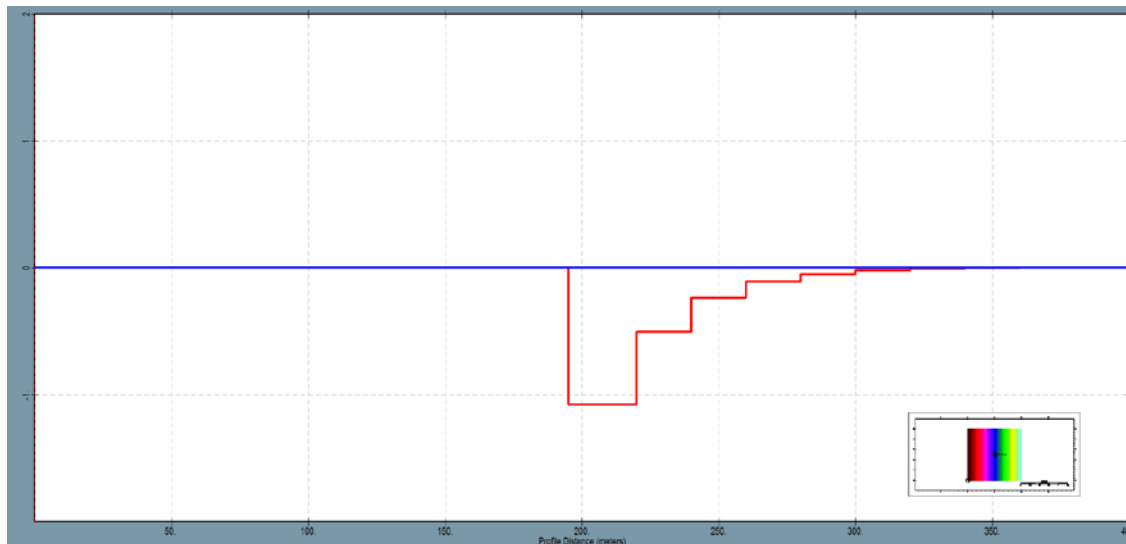


Figuur 4.10 Verschillende stijghoogteverloop linker- en rechtermodel

Hiermee is aangetoond dat een laagdiktewisseling als neveneffect tot gevolg heeft op het stijghoogteverloop. In dit voorbeeld is het verschil 20 cm, hetgeen significant is.

Naast het effect op het stijghoogteverloop is ook een effect waarneembaar in de berekende fluxen (lek). De lek door de scheiding tussen de modellagen ter plaatse van de laagdikte wisseling is in figuur 4.11 gepresenteerd. Voor het linkermodel (1) is de lek over de hele scheiding tussen de modellagen gelijk aan 0. Hetgeen ook theoretisch verwacht mag worden in een homogeen systeem. Het rechtermodel (2) vertoont ter plaatse van de laagdikte wisseling een sterke lekverandering.

Hiermee is ook aangetoond dat een laagdikte wisseling als neveneffect tot gevolg heeft dat er lokaal, rondom de locatie met een laagdikte wisseling, een fluxverandering wordt berekend. Dit houdt in dat lokaal (rondom de rode en paarse lijnen in de figuren 2.2 t/m 2.4) fluxveranderingen zichtbaar zijn als gevolg van laagdikte wisselingen.



Figuur 4.11 Lek over scheidende laag ter plaatse van de laagdiktewisseling

Beide neveneffecten (op stijghoogte en op flux) zijn in het MIPWA 3.0 model niet direct zichtbaar, omdat het gehele model niet-homogeen is.

4.4 Effect op verblijftijden

De verblijftijden van een stroombaan worden bepaald door de horizontale verplaatsing in het model. De tijdstap wordt bepaald door de grootte van de cel waarbinnen de snelheid constant is. De verticale verplaatsing is eigenlijk een afgeleide en wordt bepaald door deze tijdstap en de verticale flux. In tabel 4.1 zijn de verblijftijden van de verschillende stroombaanberekeningen weergegeven.

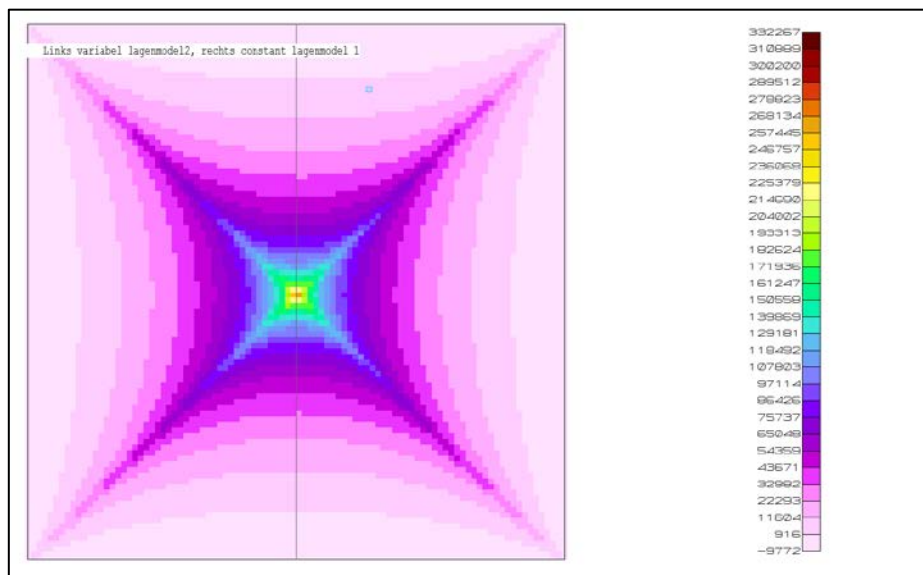
De blauwe kolommen geeft de berekende reistijd van een stroombaan weer van een lagenmodel zonder laagdikte wisselingen en de rode kolommen de berekende reistijd van een stroombaan met laagdikte wisselingen.

Tabel 4.1 Verblijftijden van de stroombanen (blauw bij constant lagenmodel en rood bij laag diktewisselingen)

	lagenmodel resolutie	lagenmodel			lagenmodel			lagenmodel		
		constant	variabel	%	constant	variabel	%	constant	variabel	%
		10 m	10 m		100 m	100 m		250 m	250 m	
stroombaan	1	216	215	-0.57	214	211	-1.12	218	211	-3.31
Stroombaan	2	201	200	-0.79	198	196	-1.09	204	196	-4.13
Stroombaan	3	187	185	-1.03	185	182	-1.64	188	182	-3.38
Stroombaan	4	174	172	-1.22	172	169	-1.61	175	169	-3.49
Stroombaan	5	162	160	-1.29	160	157	-1.90	162	157	-3.13
Stroombaan	6	151	149	-1.11	149	146	-1.59	150	146	-2.70
Stroombaan	7	140	139	-0.79	138	136	-1.15	139	136	-2.67
Stroombaan	8	129	129	-0.43	127	126	-0.61	128	126	-1.53
Stroombaan	9	120	120	-0.18	118	117	-0.49	119	117	-1.61
stroombaan	10	111	111	-0.08	109	109	-0.07	111	109	-2.46

Het verschil in verblijftijden tussen het lagenmodel met en zonder laagdikte wisselingen is klein. De gridgrootte speelt daarbij wel een rol. In de tabel is af te lezen dat de afwijking in verblijftijden bij een model met een grotere resolutie oploopt. Bij een resolutie van 250 m is de afwijking in verblijftijd opgelopen naar ruim 4 %.

De verwachting is dat het horizontale snelheidsveld tussen beide lagenmodellen weinig verschilt. In onderstaande figuur 4.12 zijn de verblijftijden weergegeven van stroombanen die starten aan de bovenzijde van het model. Het rechterdeel in de figuur zijn de verblijftijden van het lagenmodel met variatie in laagdikte (in 100 m resolutie). Het linkerdeel van de figuur zijn de verblijftijden van het constante lagenmodel (in 100 m resolutie).

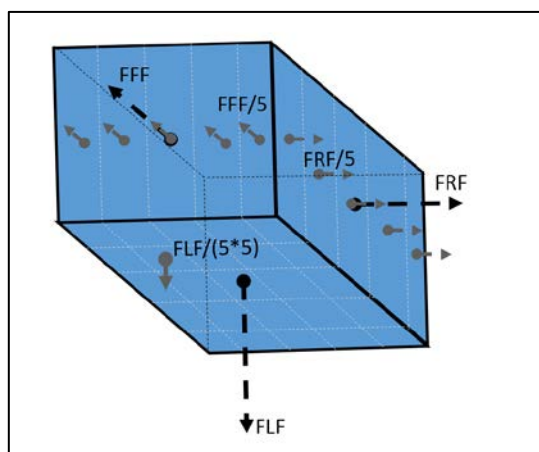


Figuur 4.12 Verblijftijden van stroombanen voor het model met constante laagdikte (links) en voor het model met variabele laagdikte rechts in 100 m resolutie

Qua beeld is de figuur nagenoeg symmetrisch, met kleine verschillen. Deze verschillen zijn waarschijnlijk niet significant. De verschillen worden veroorzaakt door de verschillende niveaus waarop de gediscretiseerde weerstanden zich bevinden.

5 Oplossingsrichting verblijftijden

In paragraaf 4.4 is geconstateerd dat de verblijftijden grotere afwijkingen gaat vertonen bij grotere rekenresoluties. Een mogelijke oplossing ter voorkoming van de op en neergaande stroombanen is het verfijnen van de modeluitkomsten. In figuur 5.1 is weergegeven hoe de cellen kunnen worden verfijnd en hoe de celfluxen moeten worden aangepast.

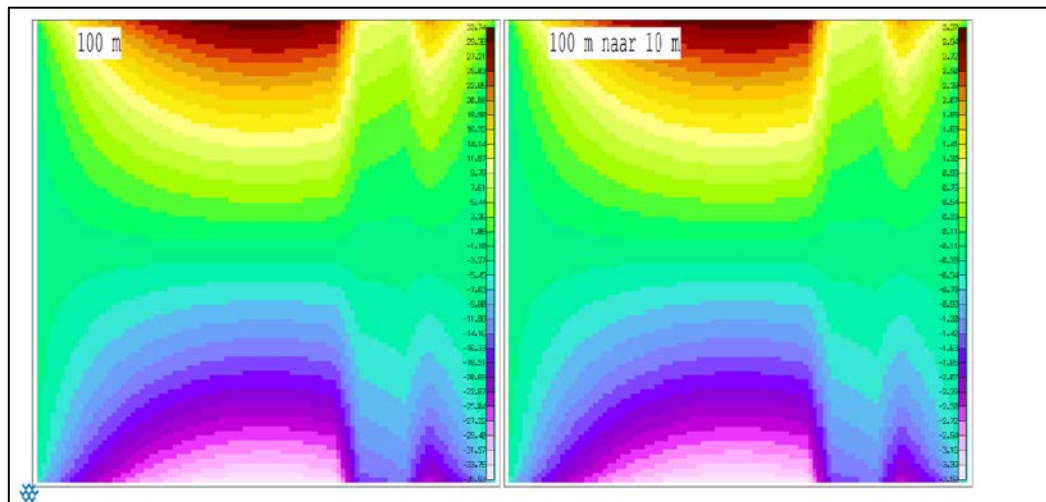


Figuur 5.1 Voorbeeld verfijnen celfluxen met een factor 5 (Flow-Lower-Face=FLF, Flow-Front-Face=FRF en Flow-Right-Face=FRF)

In dit voorbeeld worden de resultaatfiles met een resolutie van 100x100 m resolutie omgezet naar een resolutie van 10x10 m. De getalswaarde van elke gridcel moet dan worden aangepast volgens:

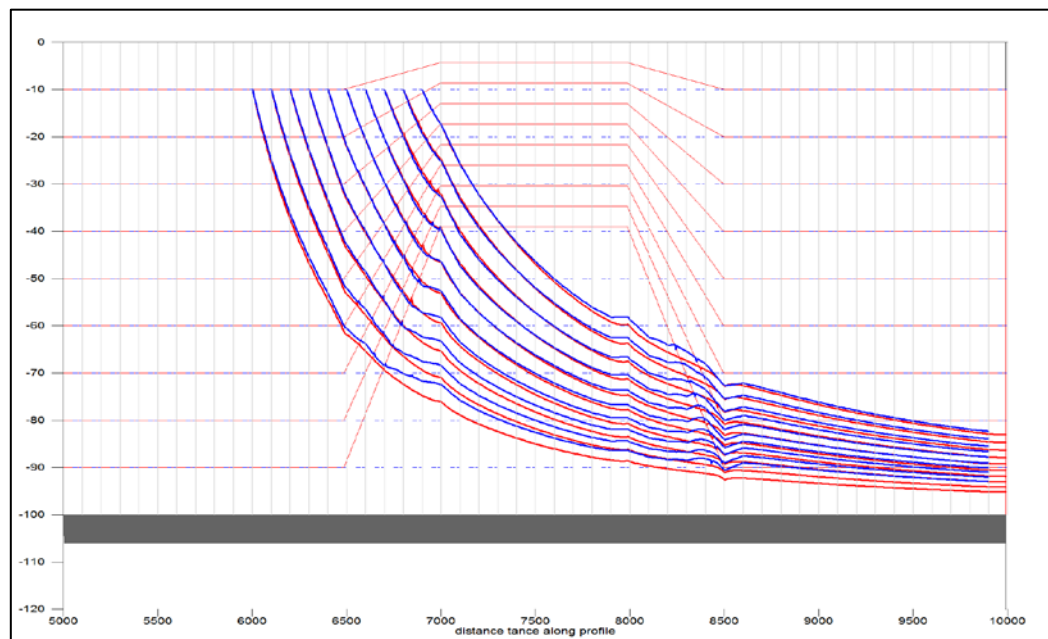
- Flow-lower-face/(10x10)
- Flow-front-face/10
- Flow-right-face/10

In figuur 5.2 is een voorbeeld van de originele en de aangepaste Flow-Front-Face weergegeven



Figuur 5.2 Verfijnen modelresultaten 100 m resolutie naar 10 m resolutie voor de Flow-Front-Face

Door het verfijnen van de Flow-Lower-Face, Flow-Front-Face en Flow-Right-Face worden de stroombanen op de laagdikte overgangen minder springerig, dit is ook te zien in figuur 5.3. Door deze verfijning eindigen de stroombanen op een iets hoger niveau.



Figuur 5.3 Stroombaanberekening met lmod met het model met variabele laagdikte. Rood is berekening in resolutie van 10 m. Blauw is berekening in resolutie van 100 m verfijnd naar 10 m

Als gevolg van de verfijning van de modeluitkomsten is echter geen sprake van een minder grote afwijking in verblijftijden. Dit is ook af te lezen in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Verblijftijden van de stroombanen (blauw bij constant lagenmodel en rood bij laag diktewisselingen)

Jaren	lagenmodel resolutie	lagenmodel			lagenmodel			lagenmodel		
		constant	variabel	%	constant	variabel	%	Constant (gridverfijning)	Variabel (gridverfijning)	%
		10 m	10 m		100 m	100 m		100-10	100-10	
stroombaant	1	216	215	-0.57	214	211	-1.12	216	211	-2.64
Stroombaan	2	201	200	-0.79	198	196	-1.09	201	197	-1.95
Stroombaan	3	187	185	-1.03	185	182	-1.64	187	184	-1.59
Stroombaan	4	174	172	-1.22	172	169	-1.61	174	172	-1.20
Stroombaan	5	162	160	-1.29	160	157	-1.90	162	161	-0.91
Stroombaan	6	151	149	-1.11	149	146	-1.59	151	150	-0.60
Stroombaan	7	140	139	-0.79	138	136	-1.15	140	139	-0.69
Stroombaan	8	129	129	-0.43	127	126	-0.61	129	128	-1.17
Stroombaan	9	120	120	-0.18	118	117	-0.49	120	118	-1.61
stroombaant	10	111	111	-0.08	109	109	-0.07	111	109	-2.22

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op basis van voorliggend onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij verschillende lagenmodellen (met en zonder laagdikte wisselingen) in zandige afzettingen (dus met gelijke k-waarden en som-kD waarden) is het bovenaanzicht van de berekende stroombanen identiek.
- Laagdiktevariaties leiden tot numerieke verticale sprongetjes van de stroombanen waardoor de verticale positie van de stroombaan onzeker is. Deze onzekerheid kan zeker 10 m bedragen. Dit betekent dat:
 - Een model met grote laagdiktevariaties minder geschikt is om de herkomst van de kwaliteit van grondwater vast te stellen
 - Er sprake kan zijn van ongewenste pluimverplaatsingen bij stoftransportberekeningen
 - Peilbuizen en pompfilters van onttrekkingen kunnen in verkeerde modellagen worden geplaatst
- Sterke laagdiktevariaties in combinatie met grotere cel afmetingen geeft in verticale aanzichten een onrealistisch stroombanenbeeld en kunnen het vertrouwen in het model ondermijnen. Dit lijkt alleen een esthetisch probleem en openbaart zich alleen bij stroombanen in doorsneden of 3D visualisaties. Oplossingen ter voorkoming van dit minder gewenste beeld zijn:
 - Rekenen in een fijnere resolutie (vaak lastig) eventueel i.c.m. met kleinere rekenwindows
 - Voorkomen van laagdiktevariaties
 - Modeluitkomsten verfijnen is mogelijk een oplossing
- Sterke laagdiktewisseling hebben een effect op de stijghoogten en de lek door de scheidende lagen. Dit neveneffect kan lokaal tot afwijkingen leiden. Vermijden van extreme laagdikte wisselingen lost dit neveneffect op en verdient daarom sterk de voorkeur.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van voorliggend onderzoek kan de volgende aanbeveling worden gedaan:

- De stroombaan berekening met Imod moet altijd aan de onderzijde van modellaag 1 starten door het ontbreken van een Flow-Top-Face. Een Flow-Top-Face kan, middels het toevoegen van een extra modellaag worden "getruct". De sterke voorkeur gaat uit naar een aanpassing in Imod, zodat de stroombanen wel aan de bovenzijde van modellaag 1 kunnen worden gekozen.

Bijlage

1

Runfile testmodel


```

d:\test_lagenmodel\model1\uitvoer
  10  10  1  0  1  0  1  0
  1  0  0  0  0  0  0  1
 1000  15  0.001  10.0  0.998
0 0 10000 10000 10 0
ACTIVE MODULES
  1  0 (bnd) !BAS - OUTPUT:BOUNDARY
  1  10,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (shd)
  1  10,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (khv)
  1  10,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (kva)
  1  10,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (kvv)
  1  0 (top)
  1  0 (bot)
  1  1,1 (rch) !RCH - OUTPUT:GROUNDWATER RECHARGE
0.0 0.0 10000.0 10000.0
MODULES FOR EACH LAYER
  10,(bnd)
  1,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  2,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  3,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  4,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  5,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  6,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  7,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  8,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  9,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  10,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\ib.idf
  10,(shd)
  1,1.0,0.0,0.0
  2,1.0,0.0,0.0
  3,1.0,0.0,0.0
  4,1.0,0.0,0.0
  5,1.0,0.0,0.0
  6,1.0,0.0,0.0
  7,1.0,0.0,0.0
  8,1.0,0.0,0.0
  9,1.0,0.0,0.0
  10,1.0,0.0,0.0
  10,(khv)
  1,1.0,0.0,10
  2,1.0,0.0,10
  3,1.0,0.0,10
  4,1.0,0.0,10
  5,1.0,0.0,10
  6,1.0,0.0,10
  7,1.0,0.0,10
  8,1.0,0.0,10
  9,1.0,0.0,10
  10,1.0,0.0,10
  10,(kva)
  1,1.0,0.0,0.3
  2,1.0,0.0,0.3
  3,1.0,0.0,0.3

```

4,1.0,0.0,0.3
5,1.0,0.0,0.3
6,1.0,0.0,0.3
7,1.0,0.0,0.3
8,1.0,0.0,0.3
9,1.0,0.0,0.3
10,1.0,0.0,0.3
9,(kvv)
1,1.0,0.0,0.01
2,1.0,0.0,0.01
3,1.0,0.0,0.01
4,1.0,0.0,0.01
5,1.0,0.0,0.01
6,1.0,0.0,0.01
7,1.0,0.0,0.01
8,1.0,0.0,0.01
9,1.0,0.0,0.01
10,(top)
1,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top01.idf
2,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top02.idf
3,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top03.idf
4,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top04.idf
5,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top05.idf
6,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top06.idf
7,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top07.idf
8,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top08.idf
9,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top09.idf
10,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\top10.idf
10,(bot)
1,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot01.idf
2,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot02.idf
3,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot03.idf
4,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot04.idf
5,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot05.idf
6,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot06.idf
7,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot07.idf
8,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot08.idf
9,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot09.idf
10,1.0,0.0,d:\test_lagenmodel\model1\bot10.idf

PACKAGES FOR EACH LAYER AND STRESS-PERIOD

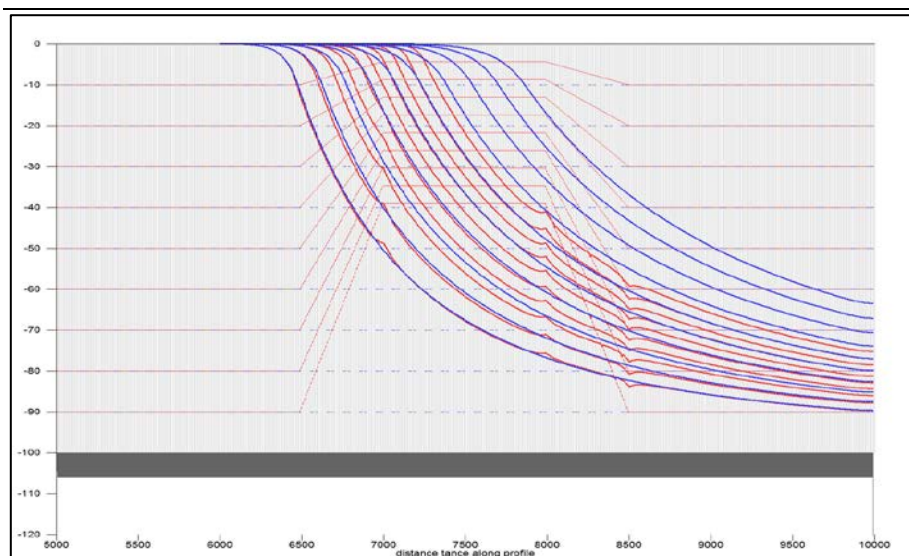
1,0.00,steady-state,1
-1 ,(chd)
1 ,(rch)
1,1.0,0.0,1.0

Bijlage

2

Stroombanen met startpunten bovenzijde modellaag 1 in Imod

Voor het model met constante en variabele laagdikte zijn de stroombanen berekend en in figuur B2.1 weergegeven. Opvallend is dat de stroombanen in deze figuur in eerste instantie horizontaal afstromen. De oorzaak is dat lmod geen Flow-top-face kent en dat de verticale grondwatersnelheid aan de bovenzijde van dit modelconcept 0 is. Doordat de startpunten aan de bovenzijde van modellaag (er iets onder) zijn gekozen kunnen de stroombanen zeer moeizaam afstand nemen van de bovenzijde van het model. Door de interpolatie van de verticale grondwatersnelheid tussen de bovenzijde van modellaag 1 en de onderzijde van modellaag 1 kent het model ter plaatse een zeer kleine grondwatersnelheid. Hierdoor zien we de stroombanen nagenoeg horizontaal wegstromen en uiteindelijk de diepte ingaan.

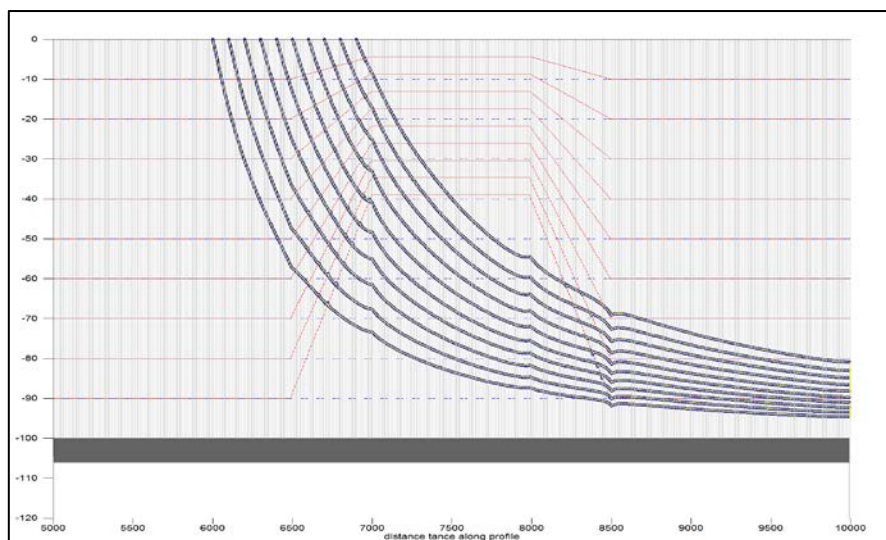


Figuur B2.1 Stroombaanberekening (modelberekening resolutie 10 m). Met constante laagdikte (blauwe lijn) en variabele laagdikte (rode lijn). De startpunten zijn gekozen aan de bovenzijde van modellaag 1

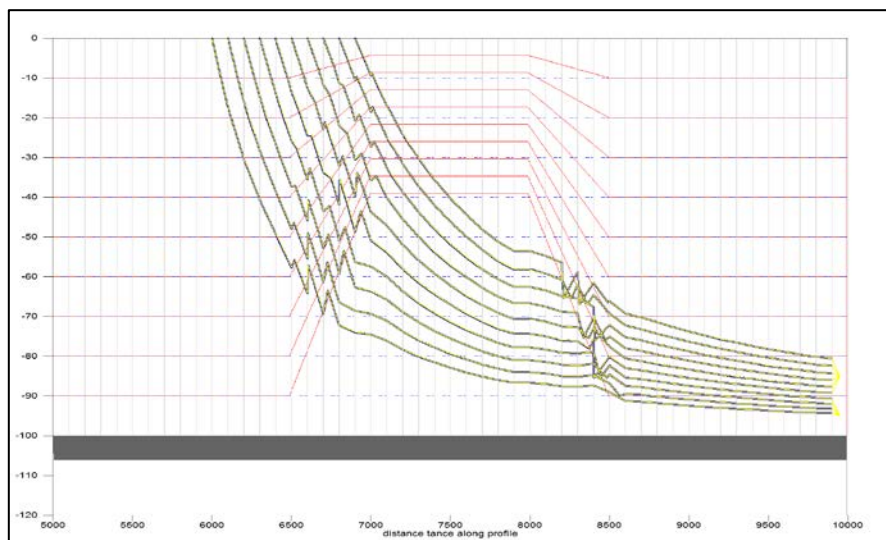
Door de variabele laagdikte van lagenmodel 2 wordt de bovenste modellaag dunner. Duidelijk zichtbaar is dat bij het dunnere gedeelte de rode stroombanen (met variabele laagdikte) eerder de diepte induiken. Dit is ook logisch omdat door de dunnere laagdikte de verticale startsnelheid groter is. Een oplossing om deze conceptuele fout te voorkomen is het toevoegen van een extra modellaag boven op het model en de Recharge-flux als Flow-lower-face voor deze extra modellaag te gebruiken. De Recharge-flux moet dan wel met -1 worden vermenigvuldigd. De startpunten moeten dan worden gekozen aan de onderzijde van die extra modellaag dus aan de bovenzijde van het model. Verder zal ook Flow-right-face en Flow-front-face voor deze modellaag moeten worden gecreëerd. Deze fluxtermen moeten de waarde 0 krijgen.

In de volgende figuren B2.2 en B2.3 is een vergelijking gemaakt tussen lmod en de Tauw-stroombanentool voor lagenmodel 2. Voor de lmod berekening is een extra modellaag toegevoegd volgens bovenstaande beschrijving. De Tauw stroombanen tool kent wel een Flow-top-face. Duidelijk is dat beide methoden een gelijk resultaat leveren. De verticale

snelheidscomponent aan de bovenzijde van het model is aanwezig en voert de stroombanen direct naar de diepte.



Figuur B2.2 Vergelijking stroombaanberekening met Imod met toevoeging extra dummy modellaag (geel) en met Tauw-tool (blauw) voor lagenmodel 2 (variabele dikte) in 10 m resolutie



Figuur B2.3 Vergelijking stroombaanberekening met Imod met toevoeging extra dummy modellaag (geel) en met Tauw-tool (blauw) voor lagenmodel 2 (variabele dikte) in 100 m resolutie

Concluderend blijkt dat de Tauw-tool en de extra modellaag in Imod een identiek stromingsbeeld leveren.