

Werkwijze piping simulatie

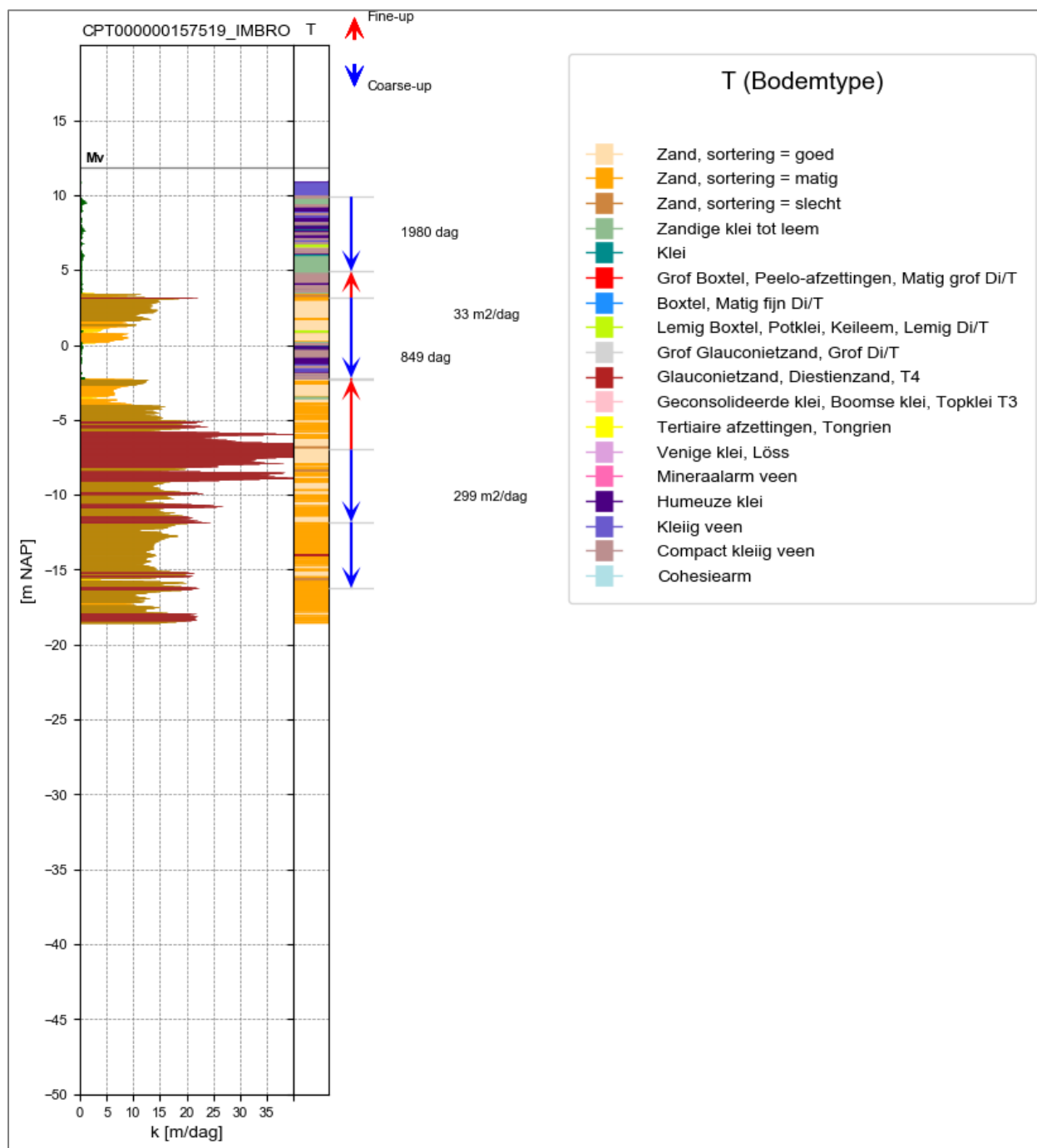
Deze simulatie is niet bedoeld om te voorspellen hoe een pipe ontstaat of zich voortvreet in de ondergrond, maar om het grote debiet (bron: Acacia documenten/WSRL) in combinatie met de ondiepe ligging van de pipe (net onder de deklaag) na te bootsen. Basisvraag hierin was of er binnen de grenzen van mijn mogelijkheden een methode te bedenken is waarmee het debiet, de ligging van een pipe en de bodemopbouw te combineren is. Dit is dus eerder een gedachte-experiment dan een kloppende verklaring van het fenomeen piping.

Maar misschien brengt het anderen enige inspiratie.

Basis

Sondering TG013+100 (= CPT 000000157519_IMBRO), vlak bij Tiel. Het maaiveld in de omgeving ligt rond +5, de sondering is van de kruin van de dijk. Deze interpretatie is door de computer gegenereerd, de parameters zijn door de computer bepaald evenals het bodemtype (T). het Python script om deze interpretatie te genereren staat op [GitHub - Died1808/Public: Python scripts voor bewerken Nederlandse en Vlaamse bodeminformatie](#)

Sondeerinterpretatie:



Zoals te zien is, een normale bodemopbouw voor het rivierengebied met een tussenzandlaag.

Laag 37 (zie onderstaande tabel) is dus de eerste goed watervoerende laag onder de deklaag, waarin de pipe zich theoretisch gaat ontwikkelen. NB: ik ga er dus van uit dat op een klein oppervlakte (niet meer dan 100*100 meter) een sondering representatief is voor de lokale bodemopbouw, net zoals geotechnici dit doen. Op een andere locatie is het verstandig een andere sondering door te rekenen. De rekentijd ligt over het algemeen tussen 5/15 minuten per locatie.

Gehanteerde werkvolgorde

1. Bepaal (NB: dit doet de computer dus) op basis van een sondering de ondergrondparameters (in dit geval voor een stationaire situatie, dus zonder S). Voor sondering TG013+100 is hiervan een overzichtje van de bovenste 40 lagen. :

	depth	npor	k	kzkh
0	10,80	0,05	0,05	2,98E-02
1	10,60	0,05	0,01	2,97E-02
2	10,40	0,05	0,00	2,97E-02
3	10,20	0,05	0,00	2,97E-02
4	10,00	0,05	0,01	2,97E-02
5	9,80	0,10	0,11	2,99E-02
6	9,60	0,10	0,35	3,04E-02
7	9,40	0,10	0,24	3,02E-02
8	9,20	0,10	0,12	3,00E-02
9	9,00	0,10	0,15	3,00E-02
10	8,80	0,05	0,03	2,98E-02
11	8,60	0,05	0,02	2,98E-02
12	8,40	0,10	0,13	3,00E-02
13	8,20	0,05	0,05	2,98E-02
14	8,00	0,08	0,10	2,99E-02
15	7,80	0,10	0,23	3,02E-02
16	7,60	0,10	0,20	3,01E-02
17	7,40	0,10	0,14	3,00E-02
18	7,20	0,08	0,12	2,99E-02
19	7,00	0,05	0,02	2,98E-02
20	6,80	0,08	0,10	2,99E-02
21	6,60	0,05	0,03	2,98E-02
22	6,40	0,05	0,03	2,98E-02
23	6,20	0,10	0,12	3,00E-02
24	6,00	0,10	0,28	3,03E-02
25	5,80	0,10	0,21	3,01E-02
26	5,60	0,10	0,12	2,99E-02
27	5,40	0,05	0,07	2,99E-02
28	5,20	0,05	0,09	2,99E-02
29	5,00	0,05	0,07	2,99E-02
30	4,80	0,10	0,11	2,99E-02
31	4,60	0,05	0,09	2,99E-02
32	4,40	0,05	0,08	2,99E-02
33	4,20	0,10	0,12	3,00E-02
34	4,00	0,10	0,16	3,00E-02
35	3,80	0,10	0,12	3,00E-02
36	3,60	0,10	0,10	2,99E-02
37	3,40	0,25	7,92	5,01E-02
38	3,20	0,25	14,74	7,86E-02
39	3,00	0,25	14,65	7,82E-02
40	2,80	0,25	13,72	7,35E-02

In totaal rekent het model met ongeveer 150 lagen van 0.2 meter dik.

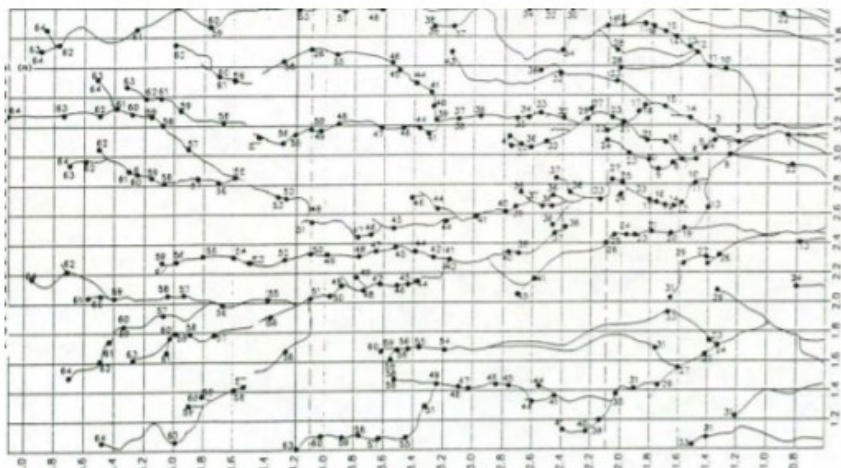
NB: het is technisch geen enkel probleem om de laagdikte terug te brengen naar het sondeerinterval van 0,02 meter maar dan neemt de rekentijd wel erg toe. 0,2 meter lijkt me een redelijk goede optimalisatie. Voor de bepaling van de $kzkh^1$ en de k^2 zijn er onderbouwingen. Het voert te ver om deze hier nader toe te lichten.

¹ Volgt nog

² <http://www.rvde.nl/pdf/Doorlatendheid%20notitie.pdf>

2. Gebruik deze tabel als input in TIMML³. *Tijdsafhankelijk rekenen (met TTIM) is eveneens mogelijk maar dan neemt de rekentijd erg toe. Het is dus in praktijk mogelijk om de drukontwikkeling op elk tijdstip op elke locatie te berekenen bij een voorbijtrekkende hoogwatergolf, maar dan moet je wat geduld hebben.*
3. Definieer de verschillende randvoorwaarden, in dit geval
 - a. Stel hoogwater op +9 [m NAP]
 - b. Bepaal de afstand tot het intredepunt (op deze locatie op 100 meter gesteld)
 - c. Zet water op het voorland tussen rivier en dijk (hier gesimuleerd als een watergang tussen maaiveld (+5,0 [m NAP]) en hoogwaterniveau)
 - d. Stel een fictieve wel in (hier een punt op 25 meter uit de kruin binnendijs), waar de waterdruk gelijk is aan maaiveld. Bij een hogere druk gaat het water dus over het maaiveld afstromen. Ik ga hier dus niet in op hoe het gat ontstaan is, maar van de situatie dat het gat er al is. In TIMML kan dit door het waterniveau te fixeren en vervolgens het af te voeren debiet om op dat punt het waterniveau te handhaven te laten berekenen.

Nu is bekend uit Acacia onderzoek⁴ dat het debiet in een gemeten pipe erg hoog kan zijn (> 100 [m³/dag]) en dat dit impliceert dat *of* er sprake is van een zeer diepe pipe (denk aan een soort pompput over de gehele aquifer), *of* een zeer uitgebreide, vertakte pipe op een zeker niveau. Dit laatste is in mijn ogen gevonden door Deltares onder laboratoriumomstandigheden waarbij zogenaamde bifurcated structures zijn gevonden net onder de deklaag:

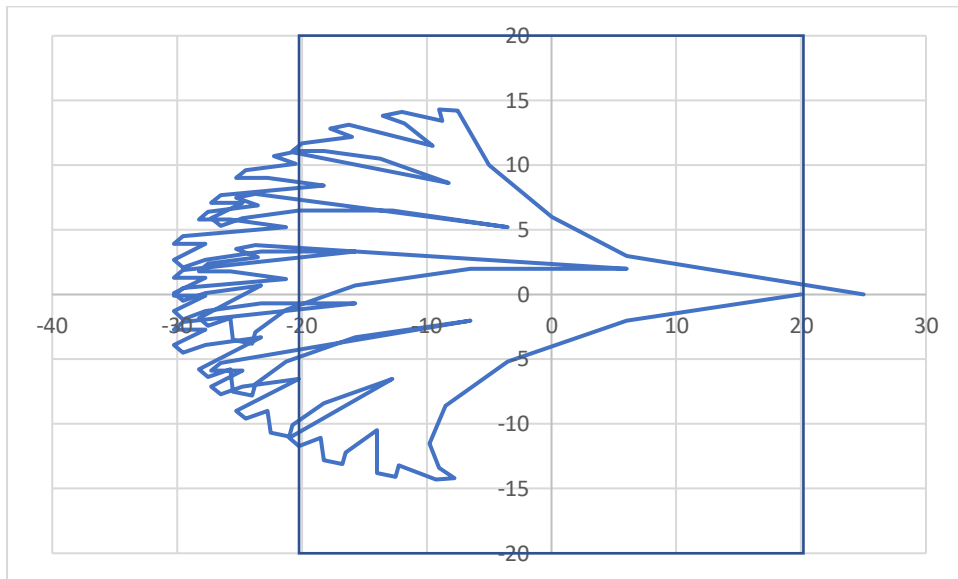


Figuur 6: Waargenomen vertakking van pipes in de Deltagoot proeven (Silvis, 1991). De schaal is 5 bij 4 m.

³<https://github.com/mbakker7/timml>

⁴ POV-piping, Acacia water, 16-03-2018 inclusief bijlagen

Deze structuren heb ik gemodelleerd als drainagestructuren, hoog 0,1 meter met een invloed tot 0,6 meter naast de buisjes. De ligging is geheel in laag 37 en de vorm is gebaseerd op fractal vormen (makkelijk te maken in Python):

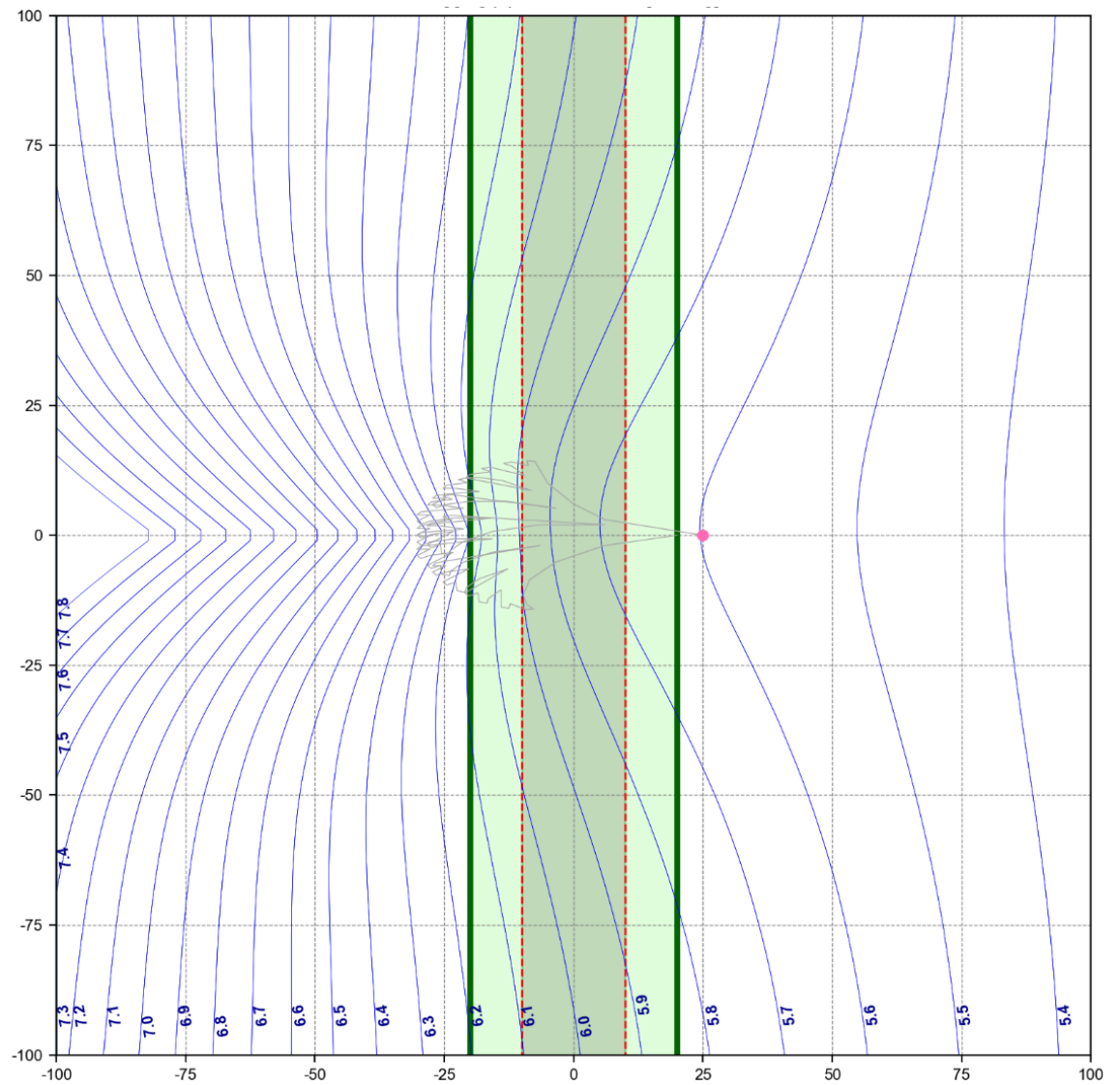


Bedachte pipe structuur t.b.v. de berekening x,y in meterschaal

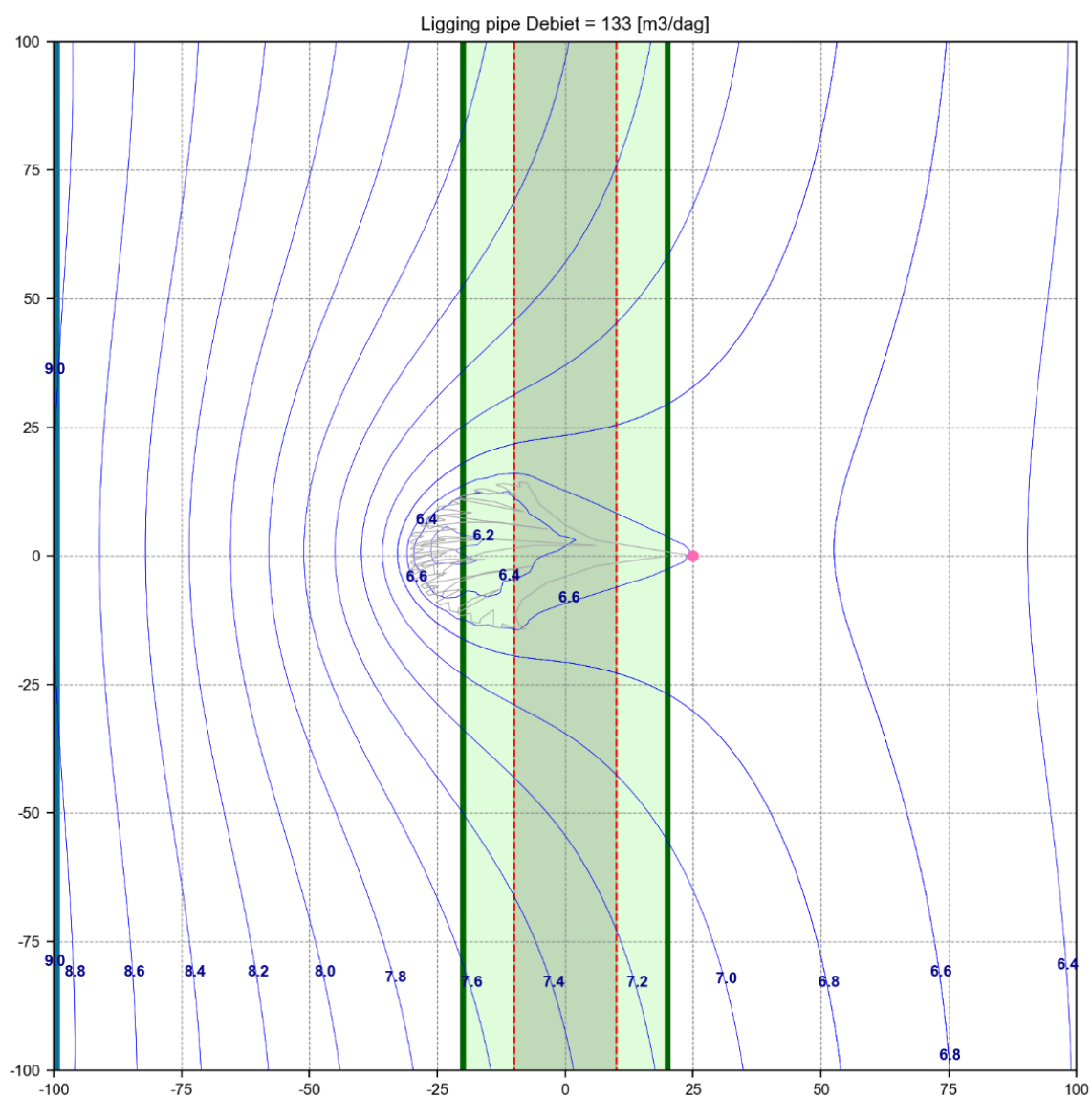
Deze vorm is natuurlijk alleen maar een vorm, maar de grootte bij een dijk tussen $x-20$ en $x+20$, uittredepunt op 25 en een instroom vanaf $x-30$, lijkt me instinctief wel een redelijke inschatting van de schaal van een pipstructuur. In deze theoretische benadering zou een pipe dus water happen totdat er ergens een wat groter kanaal ontstaat wat vervolgens (als een bliksem door de initiële geleidende kanaaltjes) een hoofdroute kiest waardoor er echt stroming begint te komen).

4. Laat de computer rekenen

5. Plot (ter illustratie) vervolgens de berekende drukverdeling op verschillende diepten:
 - a. In de sterk zandige klei op +6,4 [m NAP]

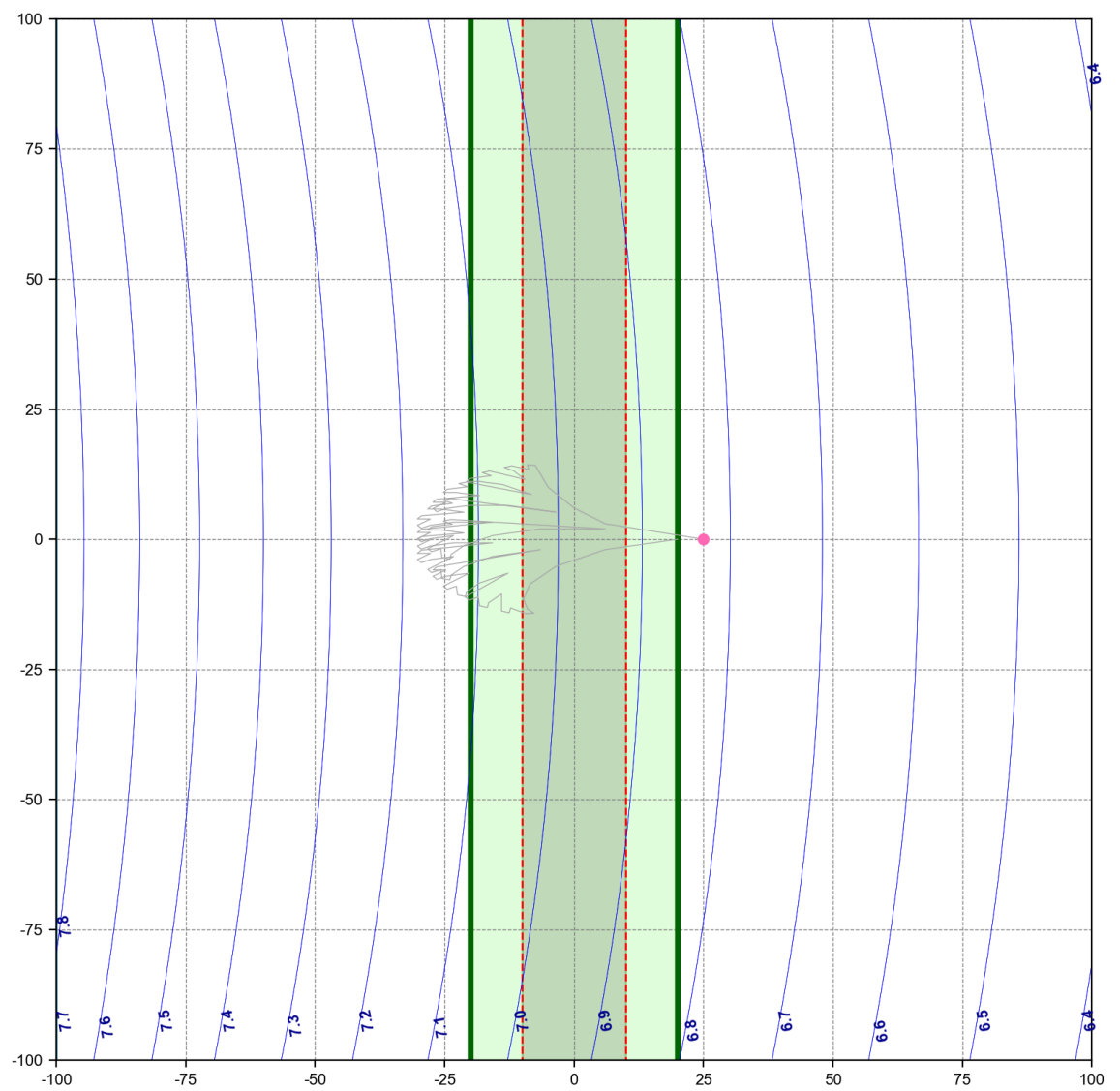


b. In de doellaag 37 op +3,4 [m NAP]



De uitstroom uit deze pipe is hier berekend op 133 [m³/dag].

c. Op -3,6 [m NAP], in onderliggende aquifer:

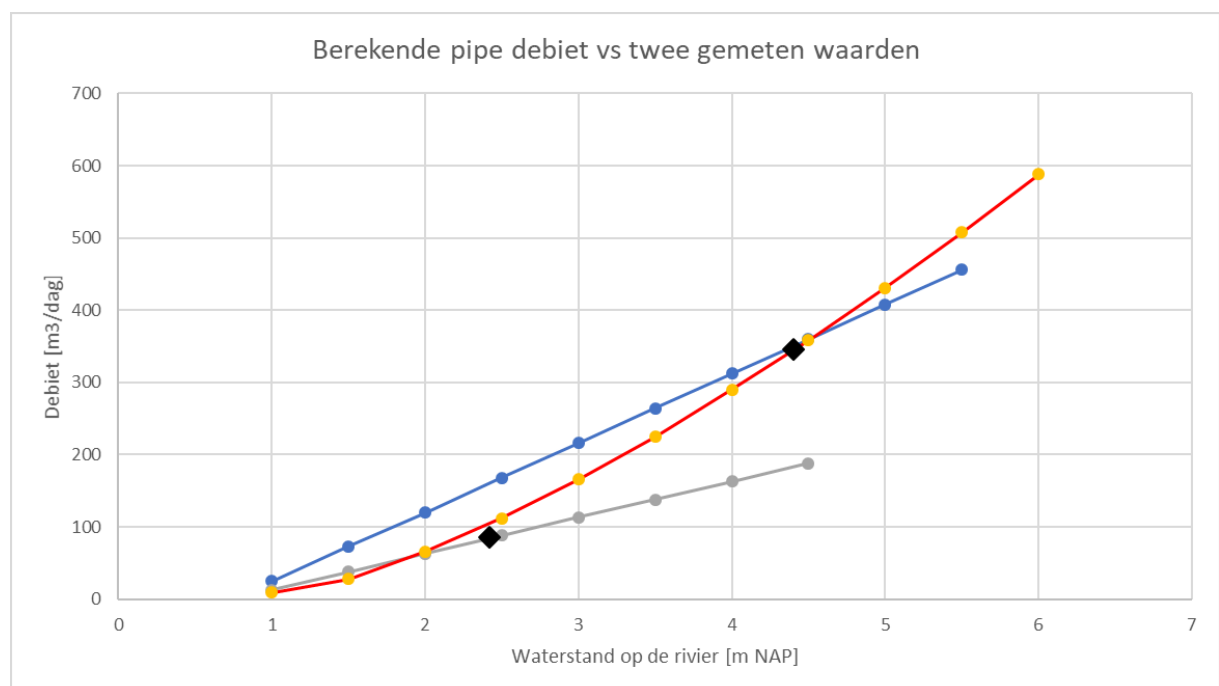


Debietregistraties

Door deze simulatietechniek te correleren met gemeten debieten (waar er overigens bedroevend weinig van zijn) uit een pipe tijdens hoogwater kan er een vergelijking worden gemaakt tussen de modeluitkomsten en de daadwerkelijke metingen. Opgemerkt wordt dat op twee meetpunten natuurlijk alles te fitten is, dus dit is en blijft een gedachte experiment.

In onderstaande figuur zijn de twee debietmetingen (zwarte ruiten) voor een bekende wel bij Lingewaal opgenomen. Hiervan zijn zowel het debiet als de bijbehorende hoogwaterniveau bekend

Op deze locatie is een nabije sondering doorgerekend en zijn de debieten bepaald bij verschillende hoogwaterniveau's



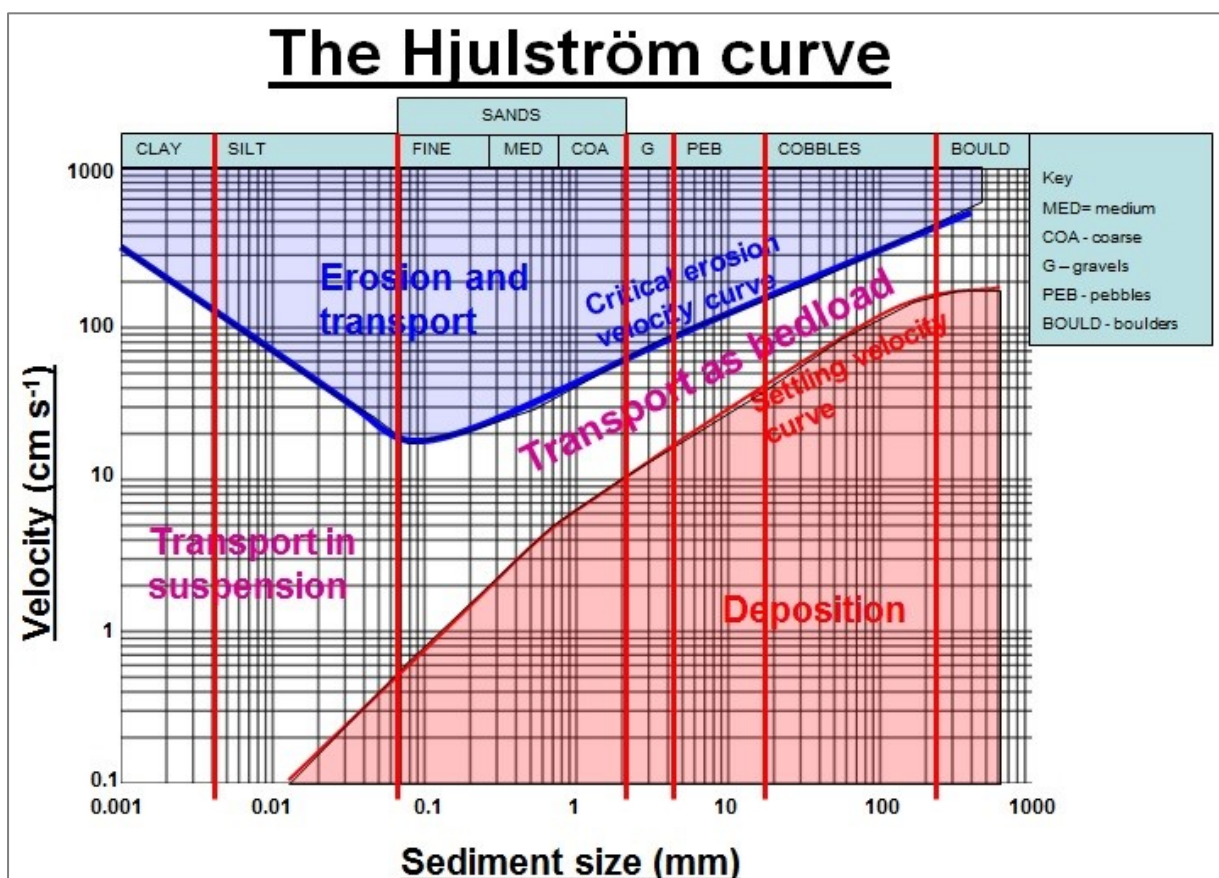
De grijze lijn is het berekende debiet bij een intredeweerstand in de pipe (doorsnede 0.1 meter) van 5 dagen, de blauwe lijn is de berekende debiet bij een intredeweerstand in de pipe bij 2 dagen. Ik kon geen lineair verband vinden waarmee beide punten konden worden gehonoreerd.

Op basis hiervan heb ik verondersteld dat er geen lineair verband (NB: *in dit type modellering*) is tussen debiet en waterstand op de rivier, maar een afnemende weerstand bij grotere drukverschillen. De oranje lijn gaat uit van een afnemende weerstand bij hogere waterstanden (grotere stroomsnelheid) of een groter intrekgebied bij een groter drukverschil.

Omdat in de hydrologie dit soort radiale aspecten wel vaker optreden lijkt het mij ergens wel logisch (NB. Dit is natuurlijk een doelredenering, ook hier zal een verdere toetsing nuttig zijn) dat er een soort exponentiele toename in het debiet te zien kan zijn.

Stroomsnelheid

Op basis van het debiet en de (lokaal) gemeten doorsnede van een pipe (rond 0,1 meter) kan een inschatting worden gemaakt van de stroomsnelheid in het open deel van een pipe. Omdat een pipe ergens een overgang heeft van stroming tussen de poriën naar stroming in een open buis (daar gaat de weerstand in een pipe van een waarde X naar nul) en uit waarnemingen naar voren komt dat als eerste fijnkorrelig zand verschijnt lijkt het me een logisch idee dat het Hjulström diagram opgeld doet. Dit diagram beschrijft de noodzakelijke stroomsnelheid om erosie en transport van deeltjes te bewerkstelligen versus de grootte van de deeltjes. Hier is een minimum bij fijnzandig materiaal wat op 18 [cm/sec] is bepaald:



Dan is de volgende rekenexercitie (NB: dit is slechts iets rekentechnisch, of het in werkelijkheid ook zo gaat is onbekend) aan de hand van uit de leidingtechniek bekende uitgangspunten:

Vloeistof debiet	5	m ³ /hr
Buisdiameter d	100	10 ⁻³ m
Buislengte L	3	m
Wandruwheid (RMS)	5	10 ⁻⁶ m
Dichtheid	1	10 ³ kg/m ³
Dynamische viscositeit	1	10 ⁻³ Pa·s
<input type="button" value="Solve"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Buis doorsnede	78.54	10 ⁻⁴ m ²
Gemiddelde snelheid	0.18	m/s
Reynolds getal	17684	-
Relatieve Ruwheid e/d	0.00004999	-
Wrijvingsfactor f	0.02679615	-
Drukval in meters hoogte z	0.00128168	m
Drukval	12.5695286	Pa

De drukval in buizen met cilindrische doorsnede wordt berekend met Darcy-Weisbach vergelijking:

$$\Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \zeta \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad \text{where} \quad \zeta = f \cdot \frac{L}{D}$$

De stroming is laminair verondersteld zolang $Re < 2300$. Bij een laminaire stroming is de wrijvingsfactor f berekend met $f = 64/Re$.

Voor $Re > 2300$ is de stroming turbulent verondersteld waarbij de wrijvingsfactor f is berekend met de Colebrook interpolatie functie:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{1}{3.7} \cdot \frac{e}{d} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Deze curvefit vergelijking beschrijft de curves in het Moody Diagram.

In de literatuur worden twee definities voor de wrijvingsfactor gebruikt. De zogenaamde SI en Imperial gebaseerde wrijvingsfactor welke precies vier keer zo groot is als de eerste (deze calculator).

Oftewel, met alle onzekerheden heb je een verticaal gat, rond 0.1 meter, nodig van 3 meter (= gat in deklaag tot watervoerende laag) en een debiet van 5 [m³/uur] om een snelheid van 18 [cm/sec] mogelijk te maken. Dit strookt met veel observaties dat een pipe pas bij een zekere waterstand (fijnkorrelig) materiaal gaat vervoeren. Het beschouwen van een open pipe als een watervoerende leiding is natuurlijk ook een aanname mijnerzijds.

Slotwoord

Natuurlijk is dit maar een simulatie in de computer, maar de belangrijkste les voor mij is dat de debieten van een pipe in combinatie met de diepte misschien op het correcte detailniveau te modelleren zijn. En dat er in de hierbij gekozen aannames veel leermomenten kunnen zitten over het gedrag van waterdruk in de ondergrond. Er zullen nog heel veel metingen moeten komen aan dit fenomeen (ik hou me aanbevolen als iemand al metingen heeft!!)

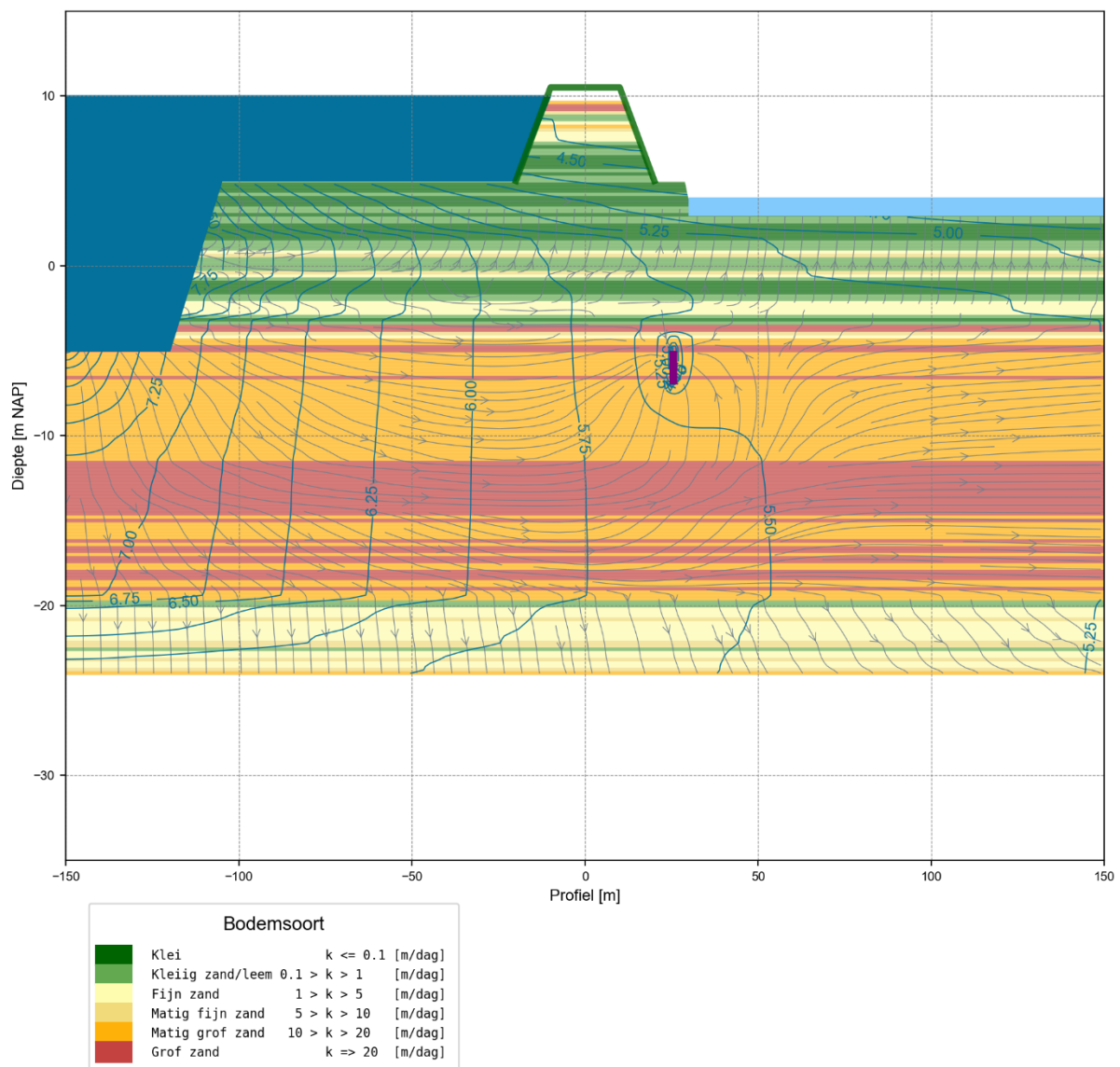
Hierbij valt te denken aan wat voor data er eigenlijk gemeten moeten worden (debieten, locaties, peilbuisregistraties); wat de onzekerheden in een model zijn (k-waarde, te hanteren laagdikte, anisotropie) etc. In een Python simulatie kan eenvoudig de gevoeligheid van deze aspecten worden bekeken. Ook de huidige proefnemingen in bijvoorbeeld de Hedwige polder worden belangstellend gevolgd.

NB: Omdat in dit type modelstudie vrijwel alle parameters handmatig zijn aan te passen (overigens een aspect wat in mindere mate ook speelt bij Moria, Azure, Modflow, iMod etc.) kan een exacte fit van meetdata op model en vice versa altijd worden benaderd.

Deze notitie is dus geen waarheid maar een redelijk kloppende benadering (in mijn opinie dan toch).

Voordeel van deze Python simulatie ligt m.i. in:

- Volledig geautomatiseerde input
- Hiermee kan elke sondering doorgerekend worden (dus worden al je meetdata gebruikt)
- De extreem grote flexibiliteit van de in de modellering in te bouwen maatregelen (denk aan waterontspanners, damwanden, watergangen etc.) in TIMML/TTIM
- Het visualiseren van stromingspatronen, je kan een plaatje beter bespreken dan de bijbehorende wiskunde (zie onderstaand voorbeeldfiguur)
- Het grote detailniveau, tot op decimeter dikke lagen.
- Het genereren van matrices waarmee je een waterdruk voor (bijvoorbeeld) een ingreep kan vergelijken met een situatie na de ingreep, bijvoorbeeld om de drukafname onder een gebouw of ter weerszijden van een damwand te berekenen.



Voorbeeld 2D stroming m.b.v. TIMML naar waterontspanner en een kopsloot tijdens hoogwater op de rivier. Isohypsen in meter NAP