



Universiteit
Antwerpen

Departement Bio-ingenieurswetenschappen
Academiejaar 2013 - 2014
8 mei 2014

Bodemprocessen

Verslag praktische oefeningen

Prof. Dr. ir. P. Seuntjens
Dr. ir. I. Joris
Uwe Schneidewind

Kevin Gui
3Ba BIR

Inhoud

Oefening 1: berekening van drukhoogte- en vochtprofielen onder steady state scenario's	3
1a.....	3
1b.....	6
Oefening 2: berekening van infiltratie in onverzadigde bodems	10
Vertikale kolom	10
Horizontale kolom	12
Oefening 3: berekening van uitspoeling van een niet-reactieve stof (nitraat) onder natuurlijke condities	14
3a.....	14
3b.....	16
Oefening 4: simulatie van het transport van een niet-lineair sorberende stof	18
4a.....	18

Oefening 1: berekening van drukhoogte- en vochtprofielen onder steady state scenario's

1a.

Handmatige berekeningen

Porositeit

$$\varepsilon = 1 - \theta_s = 1 - \frac{V_{solid}}{V_{soil}} = 1 - \frac{m/\rho}{L \cdot r^2 \cdot \pi} = 1 - \frac{910,15 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / 2670 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{22,2 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \left(\frac{5,94}{2} \cdot 10^{-2} \text{ m}\right)^2 \cdot \pi} = 0,45$$

Hydraulische gradiënt

$$\text{Hydraulische gradiënt} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{23,2 \text{ cm}}{22,2 \text{ cm}} = 1,045$$

Hydraulische geleidbaarheid

$$K_s = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta P} = \frac{12 \frac{\text{mL}}{\text{min}} \cdot 22,2 \text{ cm}}{\left(\frac{5,94}{2} \text{ cm}\right)^2 \cdot \pi \cdot 23,2 \text{ cm}} = 0,414 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 596,69 \frac{\text{cm}}{\text{dag}}$$

Darcy Flux

$$J_w = - \frac{K_s \cdot (b + L)}{L} = - \frac{596,69 \text{ cm/dag} \cdot (1 \text{ cm} + 22,2 \text{ cm})}{22,2 \text{ cm}} = -623,57 \frac{\text{cm}}{\text{dag}}$$

Het minteken wijst erop dat de flux naar beneden gericht is.

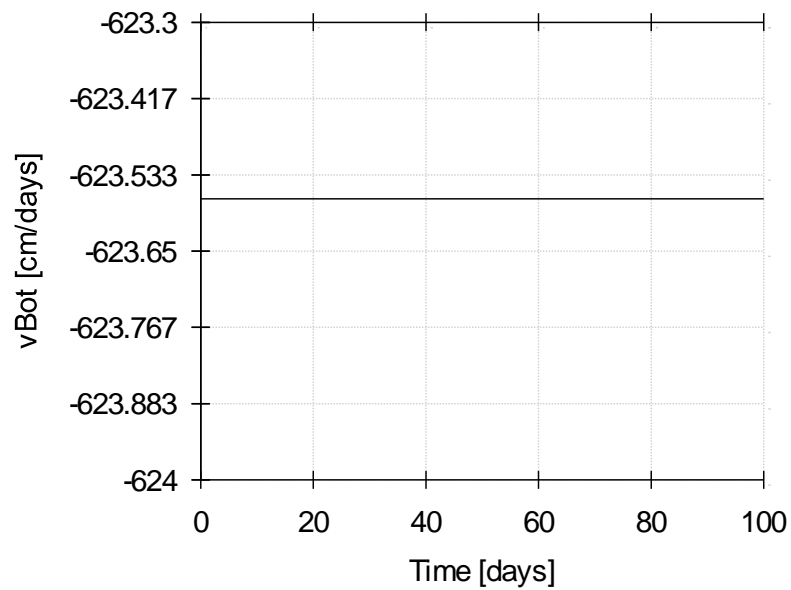
Watersnelheid

$$v = \frac{J_w}{\varepsilon} = \frac{-623,57 \text{ cm/dag}}{0,45} = -1385,71 \frac{\text{cm}}{\text{dag}}$$

Het minteken wijst erop dat de snelheid naar beneden gericht is.

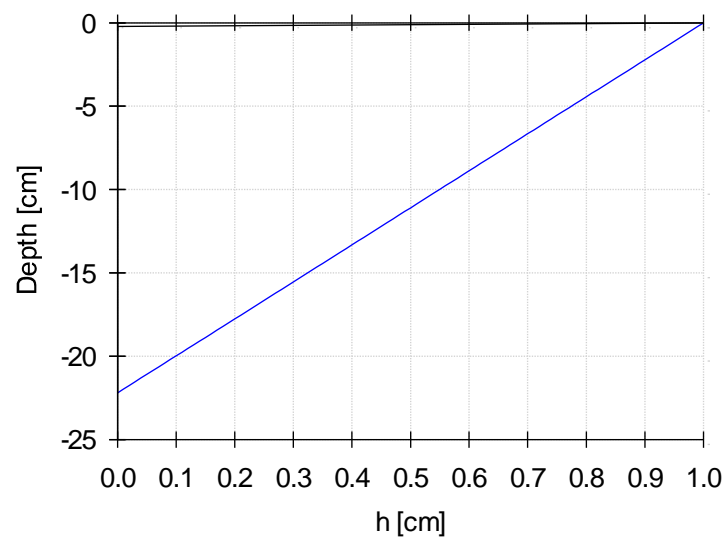
Figuren

BottomFlux



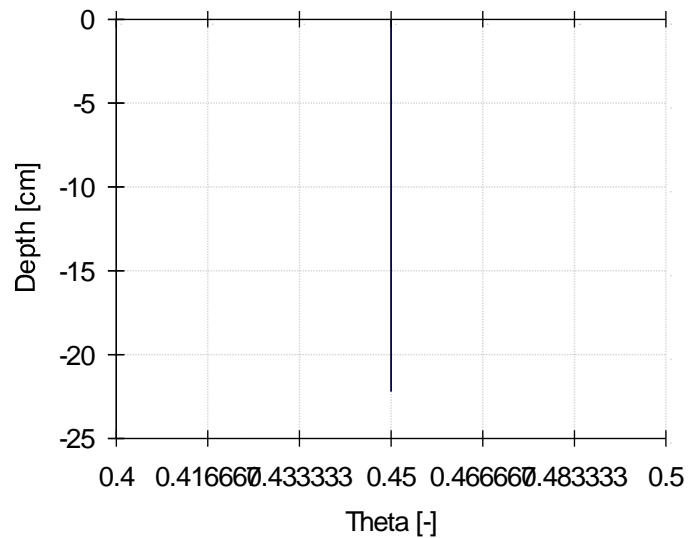
Figuur 1: De flux [cm/dag] uit oefening 1a uitgezet t.o.v. de tijd [dag].

Profile Information: Pressure Head



Figuur 2: Het verloop van de drukhoogte uit oefening 1a. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de drukhoogte h [cm].

Profile Information: Water Content



Figuur 3: Het vochtgehalte uit oefening 1a met op de y-as de diepte [cm] en op de x-as het vochtgehalte Θ .

Bespreking

De Darcy flux (zie Figuur 1) bedraagt -623,57 cm/dag. Deze komt exact overeen met de flux die met de hand werd uitgerekend.

Onderaan de kolom bedraagt de drukhoogte 0 cm, deze stijgt evenredig met de afname van de diepte van de kolom. Bovenaan de kolom bedraagt de drukhoogte 1 cm (zie Figuur 2).

Het vochtgehalte is constant doorheen de kolom en bedraagt 0,45 (zie Figuur 3).

Dat de flux en het vochtgehalte constant zijn mag niet verbazen. Het gaat hier immers om een homogeen verzadigde bodem waarop een constante waterhoogte van 1 cm wordt aangehouden.

De hydraulische hoogte H [m] kan worden berekend met volgende formule:

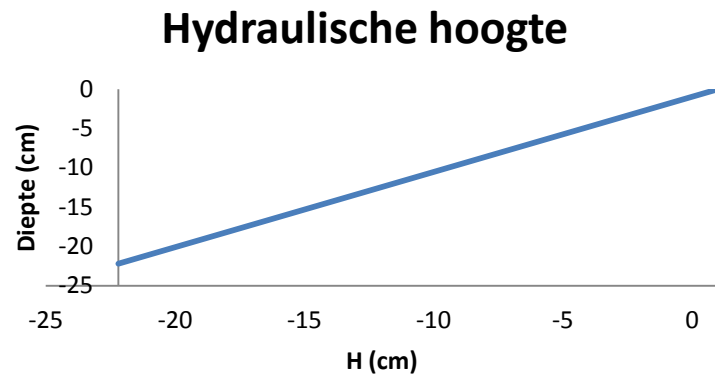
$$H = h + z$$

Waarin h de drukhoogte [m] en z de gravitationele hoogte [m] voorstelt.

In Figuur 4 wordt het verloop van de hydraulische hoogte weergegeven.

Tabel 1: de waarden die gebruikt worden om het verloop van de hydraulische hoogte te bepalen.

h (cm)	z (cm)	H (cm)
0	-22,2	-22,2
1	0	1

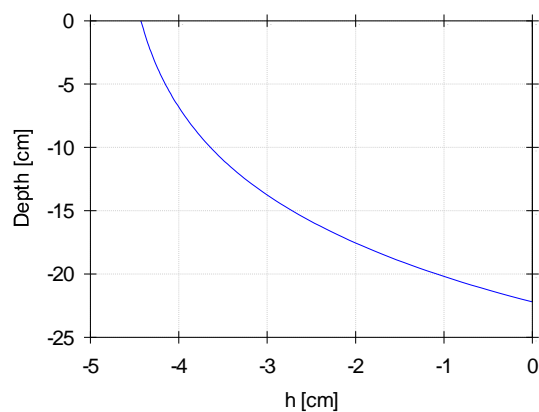


Figuur 4: Het verloop van de hydraulische hoogte met op de y-as de diepte [cm] en op de x-as de hydraulische hoogte H [cm].

1b.

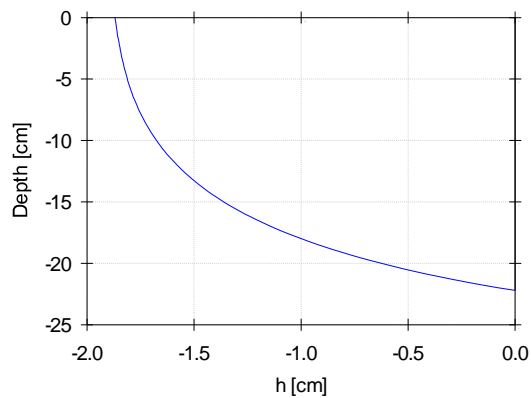
Figuren

Profile Information: Pressure Head



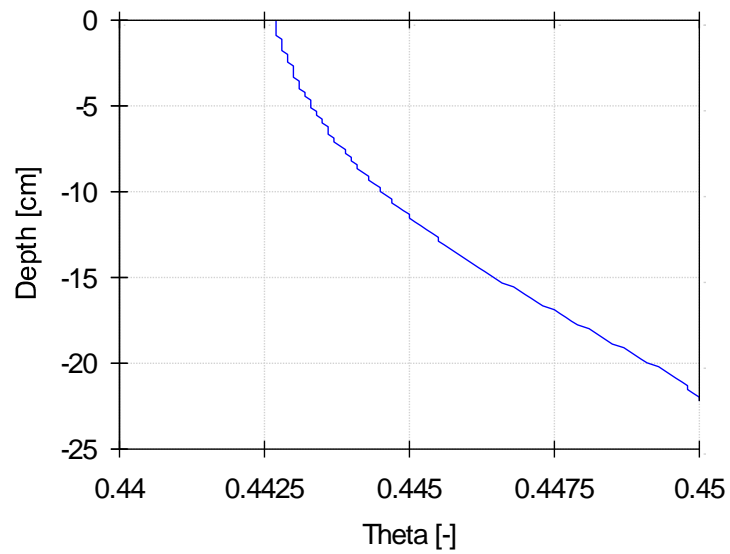
Figuur 5: Het verloop van de drukhoogte in oefening 1b voor flux = 10 cm/uur. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de drukhoogte h [cm].

Profile Information: Pressure Head



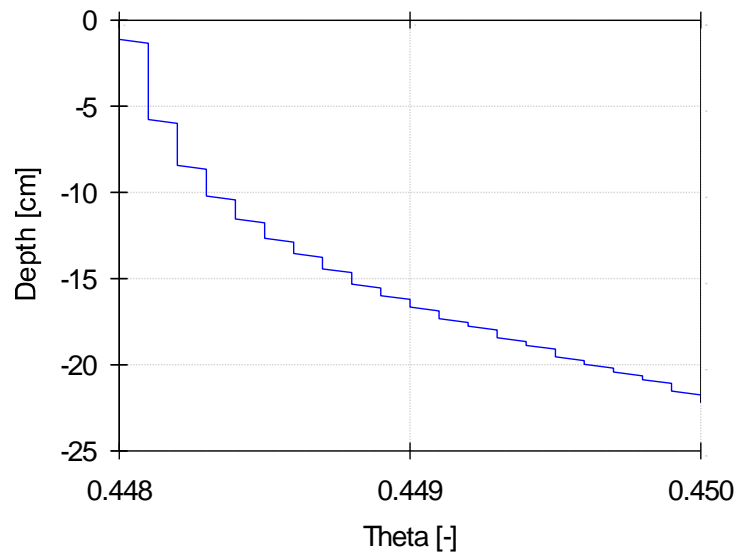
Figuur 6: Het verloop van de drukhoogte in oefening 1b voor flux = 15 cm/uur. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de drukhoogte h [cm].

Profile Information: Water Content



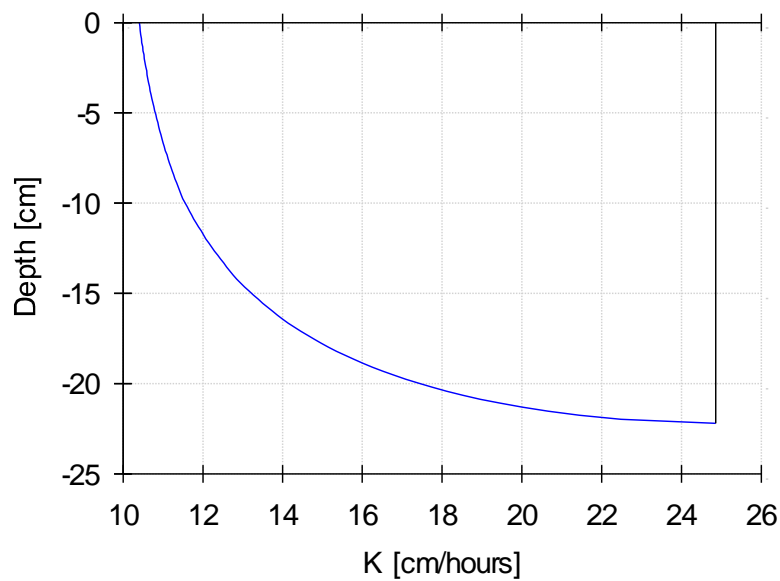
Figuur 7: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 1b voor flux = 10 cm/uur. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as het vochtgehalte Θ .

Profile Information: Water Content



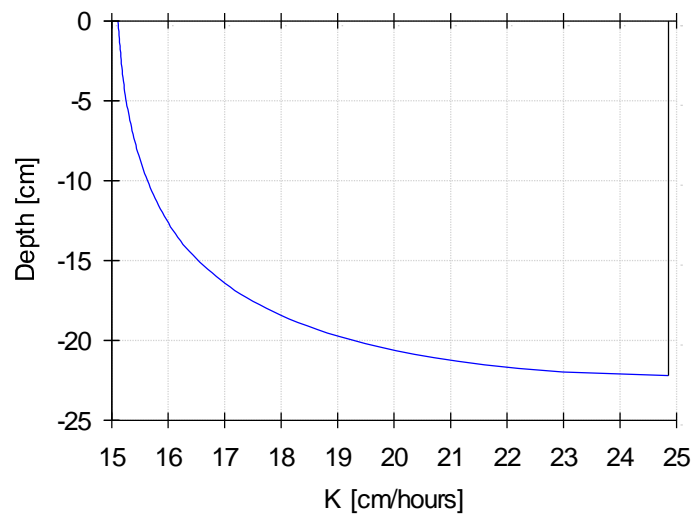
Figuur 8: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 1b voor flux = 15 cm/uur. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as het vochtgehalte Θ .

Profile Inform: Hydraulic Conductivity



Figuur 9: Het verloop de hydraulische geleidbaarheid in oefening 1b voor flux = 10 cm/uur. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de hydraulische geleidbaarheid K [cm/uur].

Profile Inform: Hydraulic Conductivity



Figuur 10: Het verloop de hydraulische geleidbaarheid in oefening 1b voor flux = 15 cm/uur. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de hydraulische geleidbaarheid K [cm/uur].

Bespreking

Als men bovenstaande grafieken vergelijkt dan kan men waarnemen dat de drukhoogte over het algemeen hoger ligt wanneer de waterflux toeneemt (zie Figuur 5 en 6). Bijvoorbeeld op een hoogte van 0 cm bedraagt de drukhoogte ongeveer -4,3 cm bij een flux van 10 cm/uur en ongeveer -1,9 cm bij een flux van 15 cm/uur. In beide grafieken evolueert de drukhoogte uiteindelijk naar 0 cm bij een diepte van 22,2 cm. Dit kan men als volgt verklaring. In een gesatureerde bodem, waar alle poriën gevuld zijn met water, is de drukhoogte positief. Hier is echter sprake van een onverzadigde bodem, waar de poriën ook lucht bevatten. Bij een grotere waterflux geraken de poriën meer en sneller gevuld met water, waardoor de drukhoogte toeneemt. Dat de grond meer water bevat bij een hogere flux kan men afleiden uit de *water content* grafieken (zie Figuur 7 en 8). Het is allereerst belangrijk op te merken dat we in beide grafieken toespitsen op een klein interval op de x-as (dit verklaart ook de ruis). Beide gevallen evolueren naar een watergehalte van 0,45 (zoals in oefening 1a). Bij de flux van 10 cm/uur is het vochtgehalte ongeveer 0,4425 bovenaan de bodemkolom, terwijl het vochtgehalte bovenaan de bodemkolom met een flux van 15 cm/uur ongeveer 0,448 bedraagt.

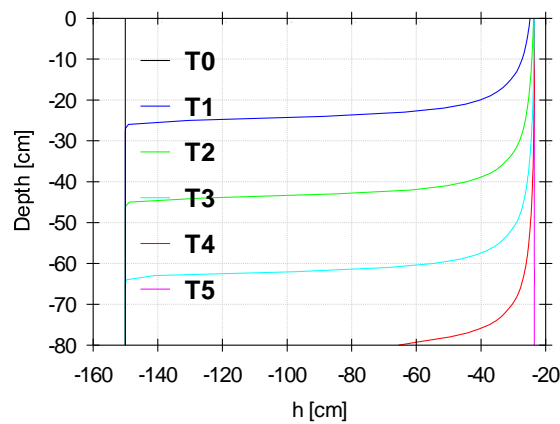
Verder kan men afleiden uit figuren 9 en 10 dat de hydraulische geleidbaarheid afneemt bij een dalende waterflux. Want bij een dalende waterflux is de bodem meer onverzadigd, is er minder water aanwezig in de bodem en is de ratio waarmee water zich door het medium kan verplaatsen dus ook kleiner.

Oefening 2: berekening van infiltratie in onverzadigde bodems

Verticale kolom

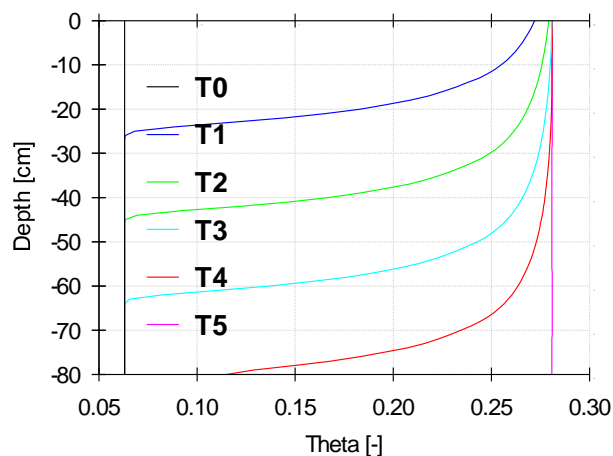
Figuren na 0, 2, 4, 6, 8 en 10 uur

Profile Information: Pressure Head



Figuur 11: Het verloop van de drukhoogte in oefening 2 met een verticale kolom. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de drukhoogte h [cm]. Met $T_0 = 0$ h, $T_1 = 2$ h, $T_2 = 4$ h, $T_3 = 6$ h, $T_4 = 8$ h en $T_5 = 10$ h.

Profile Information: Water Content



Figuur 12: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 2 met een verticale kolom. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as het vochtgehalte Θ . Met $T_0 = 0$ h, $T_1 = 2$ h, $T_2 = 4$ h, $T_3 = 6$ h, $T_4 = 8$ h en $T_5 = 10$ h.

Bespreking

De lichtgroene lijn in figuren 11 en 12 stelt de drukhoogte- en vochtalteproufiel na 4 h voor. De eerste 20 cm blijft de drukhoogte (zie Figuur 11) vrij stabiel. Vanaf dan begint de drukhoogte af te nemen met de diepte, maar vanaf een diepte van 40 cm zakt het water niet veel verder meer, terwijl de drukhoogte sterker blijft toenemen.

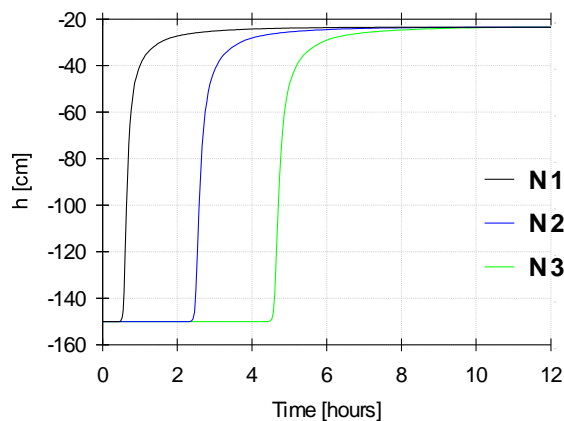
Het vochtgehalteprofiel (zie Figuur 12) vertoont min of meer hetzelfde verloop. Echter begint voor $t = 4$ h het vochtgehalte meteen af te nemen met de diepte, maar dit is in het begin vrij minimaal.

Een beetje dieper neemt het vochtgehalte verder af. Vanaf dan zakt het water niet veel verder meer, terwijl het vochtgehalte snel blijft afnemen.

Het infiltratiefront bevindt zich na 4 h op een diepte van 45 cm.

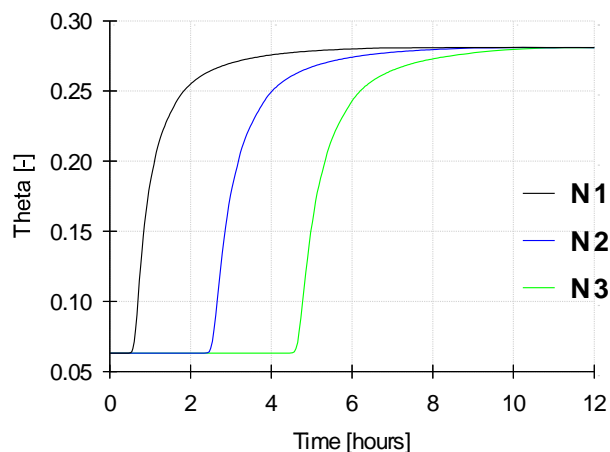
Figuren op diepte van 10, 30 en 50 cm

Observation Nodes: Pressure Heads



Figuur 13: Het verloop van de drukhoogte in oefening 2 met een verticale kolom. Op de y-as staat de drukhoogte [cm] en op de x-as de tijd [uur]. Met N 1 = 10 cm, N 2 = 30 cm, N 3 = 50 cm.

Observation Nodes: Water Content



Figuur 14: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 2 met een verticale kolom. Op de y-as staat het vochtgehalte Θ en op de x-as de tijd [uur]. Met N 1 = 10 cm, N 2 = 30 cm, N 3 = 50 cm.

Bespreking

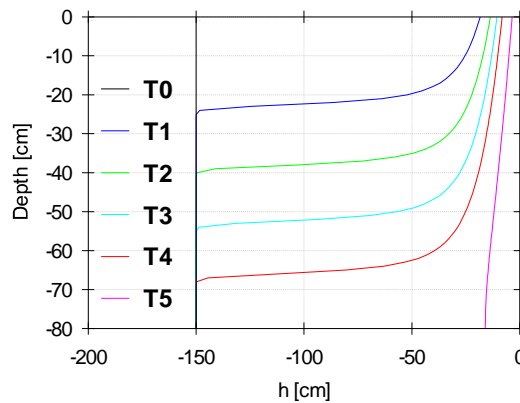
Figuren 13 en 14 hebben dezelfde vorm. Eerst hebben ze een gemeenschappelijke constante waarde, dan stijgen ze één voor één (wat logisch is, het water heeft tijd nodig om dieper in de grond te infiltreren) naar eenzelfde constante waarde.

Uit deze figuren kunnen we afleiden dat het infiltratiefront zich op een diepte van 50 cm bevindt iets na 4 uur. Dit komt overeen met de conclusie die getrokken werd uit de vorige figuren 11 en 12.

Horizontale kolom

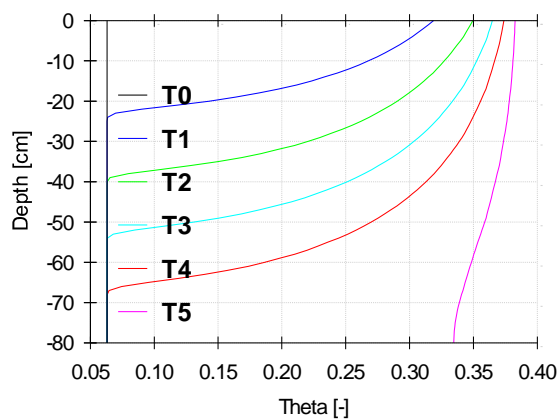
Figuren na 0, 2, 4, 6, 8 en 10 uur

Profile Information: Pressure Head



Figuur 15: Het verloop van de drukhoogte in oefening 2 met een horizontale kolom. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as de drukhoogte h [cm]. Met T0 = 0 h, T1 = 2 h, T2 = 4 h, T3 = 6 h, T4 = 8 h en T5 = 10 h.

Profile Information: Water Content



Figuur 16: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 2 met een horizontale kolom. Op de y-as staat de diepte [cm] en op de x-as het vochtgehalte Θ . Met T0 = 0 h, T1 = 2 h, T2 = 4 h, T3 = 6 h, T4 = 8 h en T5 = 10 h.

Bespreking

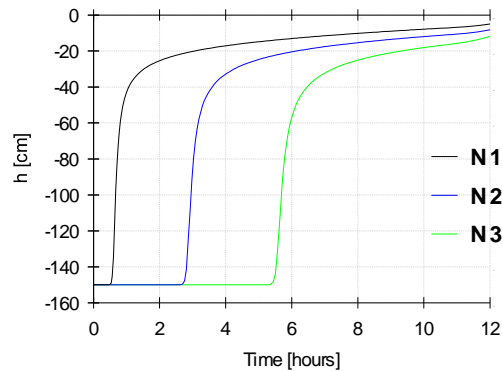
De bespreking voor figuren 15 en 16 komt overeen met de bespreking van de figuren 11 en 12. Wat wel opvalt is dat de "bocht" in de grafiek minder scherp wordt. De overgangen gebeuren dus minder abrupt dan bij figuren 11 en 12.

Het infiltratiefront zit hier 40 cm diep na 4 h.

Dit verschil in diepte kan heel intuïtief worden uitgelegd. Stel je hebt een horizontale kolom waarbij langs links water met een constante flux wordt toegevoegd. Om dieper te gaan moet het water hier naar rechts bewegen, maar deze beweging wordt bemoeilijkt door de zwaartekracht die het water naar beneden trekt. Bij een verticale kolom stroomt het water van boven naar beneden, en de zwaartekracht zorgt er hier juist voor dat dit sneller gebeurt.

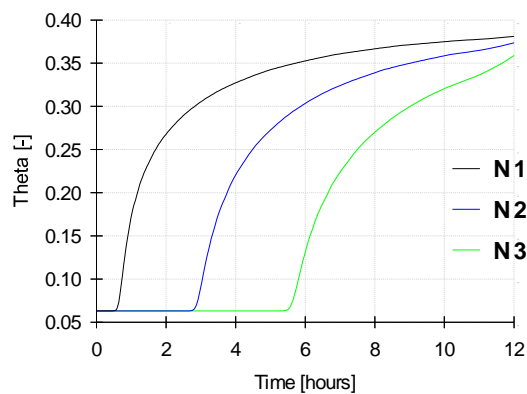
Figuren op diepte van 10, 30 en 50 cm

Observation Nodes: Pressure Heads



Figuur 17: Het verloop van de drukhoogte in oefening 2 met een horizontale kolom. Op de y-as staat de drukhoogte [cm] en op de x-as de tijd [uur]. Met N 1 = 10 cm, N 2 = 30 cm, N 3 = 50 cm.

Observation Nodes: Water Content



Figuur 18: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 2 met een horizontale kolom. Op de y-as staat het vochtgehalte Θ en op de x-as de tijd [uur]. Met N 1 = 10 cm, N 2 = 30 cm, N 3 = 50 cm.

Bespreking

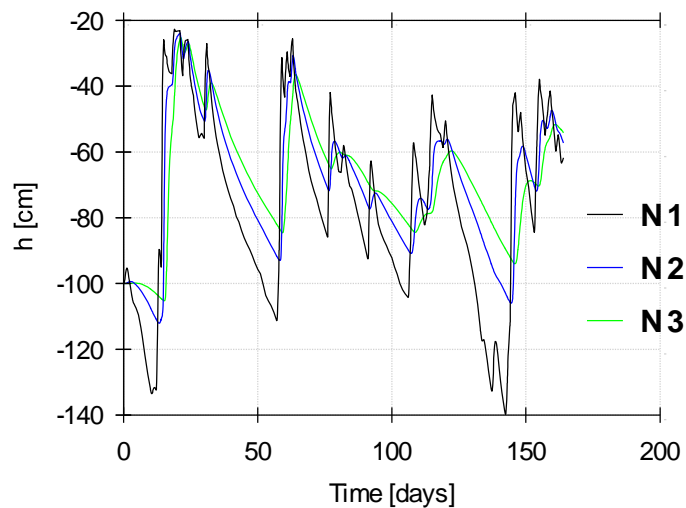
De bespreking van figuren 17 en 18 komt overeen met de bespreking van figuren 13 en 14 bij de verticale kolom. Enkel duurt het langer voordat het infiltratiefront een bepaalde diepte bereikt.

Oefening 3: berekening van uitspoeling van een niet-reactieve stof (nitraat) onder natuurlijke condities

3a.

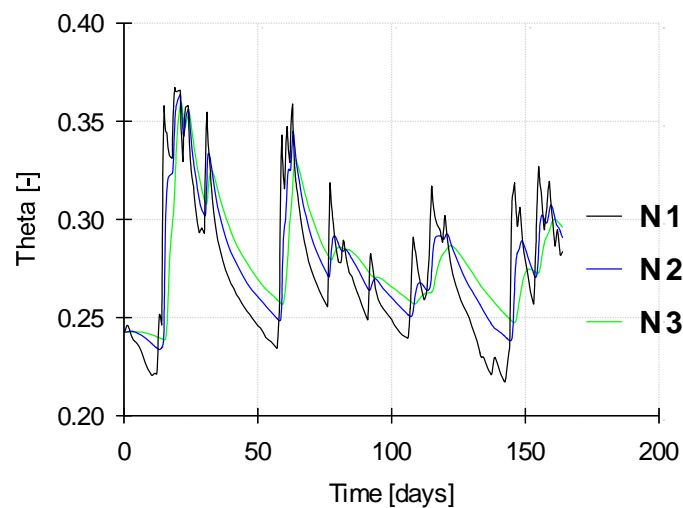
Figuren

Observation Nodes: Pressure Heads



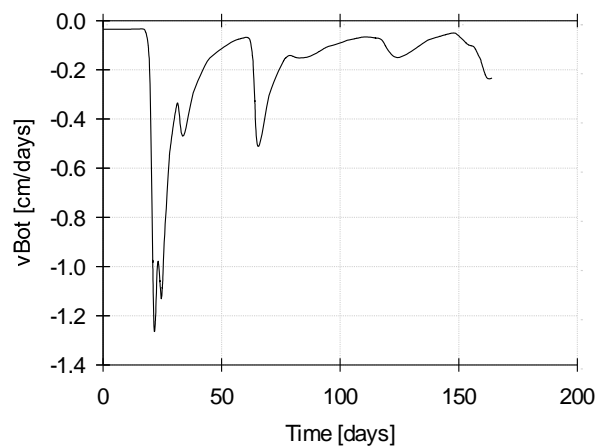
Figuur 19: Het verloop van de drukhoogte in oefening 3a. Op de y-as staat de drukhoogte [cm] en op de x-as de tijd [dag]. Met N 1 = 10 cm diep, N 2 = 30 cm diep, N 3 = 50 cm diep.

Observation Nodes: Water Content



Figuur 20: Het verloop van het vochtgehalte in oefening 3a. Op de y-as staat het vochtgehalte Θ en op de x-as de tijd [dag]. Met N 1 = 10 cm diep, N 2 = 30 cm diep, N 3 = 50 cm diep.

Bottom Flux



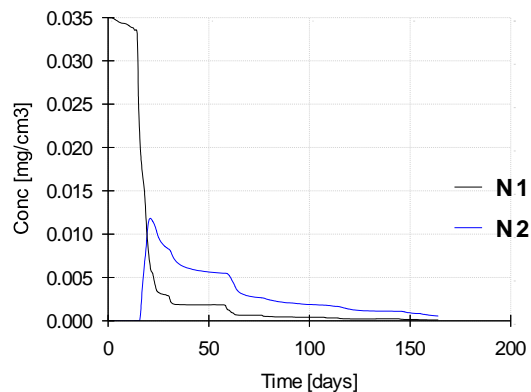
Figuur 21: De flux [cm/dag] uit oefening 3a uitgezet t.o.v. de tijd [dag].

Bespreking

De grondwatervoeding is het grootst rond dag 20. Hier ligt de grootste vochtgehalte piek (zie Figuur 20). Dit komt ook terug op de grafiek van de drukhoogte (zie Figuur 19), en op datzelfde tijdstip is de flux onderaan de kolom het grootst (zie Figuur 21).

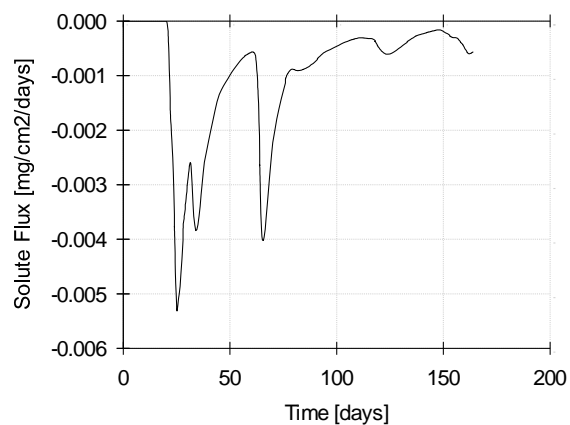
3b.

Observation Nodes: Concentration



Figuur 22: De uitspoeling van N in oefening 3b. Op de y-as staat de concentratie [mg/cm³] en op de x-as staat de tijd [dag]. Met N 1 = 15 cm diep en N 2 = 40 cm diep.

Bottom Solute Flux



Figuur 23: De concentratie flux [mg/cm²/dag] uit oefening 3b uitgezet t.o.v. de tijd [dag].

Bespreking

De zwarte lijn in de concentratie grafiek (zie Figuur 22) geeft de uitspoeling van het N op een diepte van 15 cm weer. De eerste paar dagen gaat dat vrij langzaam, en dan opeens zeer snel. Rond dag 35 stagneert dit terug. Rond dag 55 zien we terug een daling, en vanaf dag 95 is er een bijna geen N meer te zien. Net voor dag 150 is het N volledig uitgespoeld.

De blauwe lijn op de concentratie grafiek geeft het concentratieverloop van N op een diepte van 40 cm weer. Deze concentratie piekt rond dag 20, om vervolgens terug te dalen.

De flux van het N wordt weergegeven in *Bottom Solute Flux* (zie Figuur 23). Deze is het grootst (in absolute waarde, het teken is negatief omdat de flux naar onderen is gericht) op dag 25, daar is de flux net groter dan 0,005 mg/cm²/dag. Dan is er nog een piek rond dag 38, waarop de flux net geen 0,004 mg/cm²/dag haalt. Er is nog een laatste piek rond dag 71, daar bedraagt de flux 0,004 mg/cm²/dag.

Handmatige berekening

Gegevens: (de meeste komen uit de lecture sides van BB)

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$\Theta_s = 0,43$$

$$\Theta_r = 0,078$$

$$L = 15 \text{ cm}$$

Berekening:

$$J_w = \frac{\sum(\text{Precipatie} - \text{Evaporatie})}{\text{aantal dagen}} = 0,200 \frac{\text{cm}}{\text{dag}}$$

$$\Theta(h) = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{(1 + (\alpha|h|)^n)^m} \text{ met } m = 1 - \frac{1}{n} = 0,359$$

$$\Leftrightarrow \Theta(h) = 0,078 + \frac{0,43 - 0,078}{(1 + (0,036 \cdot 100)^{1,56})^{0,359}} = 0,242$$

$$v = \frac{J_w}{\Theta} = \frac{0,200 \text{ cm/dag}}{0,242} = 0,829 \frac{\text{cm}}{\text{dag}}$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{15 \text{ cm}}{0,829 \text{ cm/dag}} \approx 18 \text{ dagen}$$

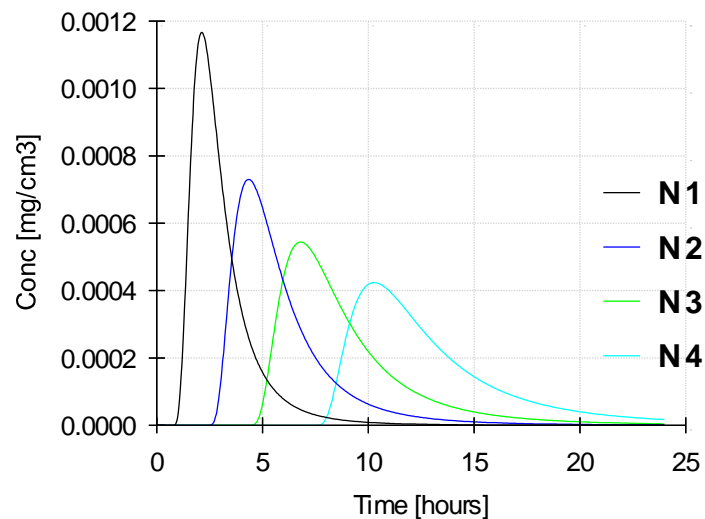
Dit komt niet echt overeen met de grafiek. Dit zou op de grote rol van sorptie kunnen wijzen.

Oefening 4: simulatie van het transport van een niet-lineair sorberende stof

4a.

Figuur voor $\beta = 0,8$

Observation Nodes: Concentration



Figuur 24: De uitspoeling van Cu in oefening 4a met $\beta = 0,8$. Op de y-as staat de concentratie [mg/cm³] en op de x-as staat de tijd [uur]. Met N 1 = 5 cm diep en N 2 = 10 cm diep, N 3 = 15 cm diep en N 4 = onderaan de kolom.

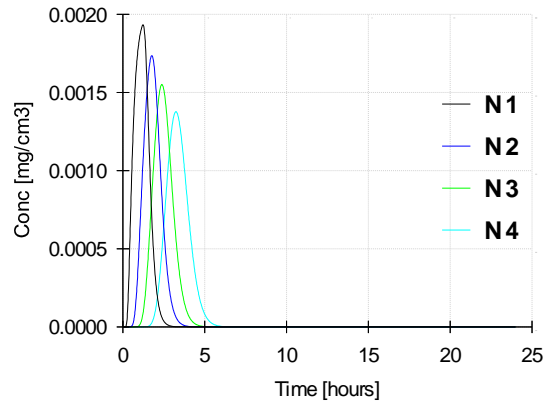
Bespreking

In figuur 24 merkt men net voor 5 h een stijging op in de Cu concentratie op een diepte van 15 cm. Rond 6 h piekt de concentratie, daarna begint hij terug af te nemen. De concentratie stijgt vrij snel, het afnemen van de concentratie duurt wat langer. Er is dus een rechtsscheve verdeling waarneembaar. Dit kan men verklaren doordat Cu een sterke interactie aangaat met de gronddeeltjes, de adsorptie verloopt dus zeer vlot, de desorptie verloopt moeizamer.

Voor de berekening van dit concentratieverloop werd er gebruik gemaakt van het Freundlich model.

Figuur voor $\beta = 1$

Observation Nodes: Concentration



Figuur 25: Figuur 24: De uitspoeling van Cu in oefening 4a met $\beta = 1$. Op de y-as staat de concentratie [mg/cm³] en op de x-as staat de tijd [uur]. Met N 1 = 5 cm diep en N 2 = 10 cm diep, N 3 = 15 cm diep en N 4 = onderaan de kolom.

Bespreking

In figuur 25 is de Freundlich parameter β (n in de cursus bodemprocessen) veranderd naar 1. Er is dus sprake van lineaire sorptie. De doorbraakcurves zien er nu uit als een normaalverdeling, maar ze zijn allemaal naar links gedrukt op de y-as. Deze figuur is iets moeilijker af te lezen. Na ongeveer 1 uur stijgt de Cu concentratie op een diepte van 15 cm, na 5 uur is deze concentratie al terug 0 mg/cm³.

Vergelijking

Bij de lineaire sorptie gebeurt de uitspoeling veel sneller dan bij de niet-lineaire sorptie. Er is daarnaast ook geen “staart” te zien bij de lineaire sorptie, die heb je duidelijk wel bij de niet-lineaire sorptie.

Dit is mogelijk als volgt te verklaren. Bij niet-lineaire sorptie gaan de Cu deeltjes een sterke interactie aangaan met de gronddeeltjes, dit bemoeilijkt de uitspoeling en zo duurt het ook langer alvorens het Cu dieper in de bodem terechtkomt. Bij de lineaire sorptie is dit niet het geval, het Cu stroomt als het ware met het water mee door de bodemkolom.

Handmatige berekening

$$T_{b,R} = \frac{RL}{V} \quad \text{waarbij } L = 15 \text{ cm}$$

$$v = 1385,71 \frac{\text{cm}}{\text{dag}} = 57,74 \frac{\text{cm}}{\text{uur}} \quad (\text{zie oefening 1})$$

$$R = 1 + \frac{\rho_b K_d}{\theta_w} \quad \text{waarbij } K_d = 2 \text{ l/kg voor } n = 1 \rightarrow R = 1 + \frac{2,67 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 2 \text{ l/kg}}{0,45} = 12,87$$

$$\text{Waaruit volgt: } T_{b,R} = \frac{RL}{V} = \frac{12,87 \cdot 15 \text{ cm}}{57,74 \text{ cm/uur}} = 3,34 \text{ uur}$$

Dit komt overeen met figuur 25.