

VERZADIGDE HYDRAULISCHE GELEIDBAARHEID

1 TOEPASSINGSGEBIED

De verzadigde doorlatendheid van de bodem wordt bepaald bij geohydrologisch onderzoek dat vaak voorafgaat aan de planning en uitvoering van waterbouwkundige en cultuurtechnische projecten (bijvoorbeeld drainage en irrigatie). De waterdoorlatendheid van een bodem bepaalt in belangrijke mate hoe efficiënt een irrigatie- of drainagesysteem functioneert. Ook op het gebied van milieubescherming en natuurbeheer is het van groot belang inzicht te hebben in de heersende hydrologische omstandigheden. Het bepalen van de verzadigde waterdoorlatendheid (zowel horizontaal als verticaal) kan direct in het veld worden uitgevoerd of in het laboratorium. Hierbij wordt gebruik gemaakt ongeroerde grondmonsters in grondmonsterringen. De doorlaatfactor (k-factor) verstrekt nauwkeurige gegevens omtrent:

- snelheid waarmee grondwater stroomt;
- de aanwezigheid van storende lagen, die een snelle afvoer van neerslag verhinderen;
- de samenhang tussen doorlatendheid en diverse bodemkundige eigenschappen zoals poriënvolume, granulaire samenstelling, enz.;
- de verticale en horizontale doorlatendheid.

Met behulp van deze gegevens kunnen onder andere berekeningen worden uitgevoerd ten behoeve van:

- irrigatie- en drainagesystemen;
- bronbemalingen;
- zettingsverschijnselen;
- milieuonderzoek, zoals de verplaatsing van milieu-verontreinigende oplossingen, meststoffen of radioactieve afvalstoffen in het grondwater;
- drinkwaterwinning;
- weg- en waterbouw, zoals aanleg en verzwaring van dammen en dijken;
- cultuurtechniek;
- ecologische studies en natuurbeheer;
- land- en tuinbouw;
- grondverbeterings- en onderhoudsadviezen.

Deze procedure is een richtlijn met betrekking tot de bepaling van de verzadigde hydraulische geleidbaarheid in afzonderlijke bodemlagen door middel van laboratoriumproeven. Afhankelijk van de manier waarop het monster is gestoken wordt de verticale of horizontale doorlatendheid bepaald. De doorlatendheids-coëfficiënt of "K-factor" kan worden bepaald voor vrijwel alle grondsoorten, behalve zeer goed doorlatende of zwel-/krimpgevoelige gronden.

2 DEFINITIES

- De waterdoorlatendheid of "permeabiliteit" is het vermogen van de grond om water door te laten. De waterdoorlatendheidscoëfficiënt (K-factor) is een maat voor de waterdoorlatendheid en wordt bepaald door enerzijds de geometrie van het poriënstelsel, afhankelijk van de textuur en structuur van de bodem, en anderzijds door intrinsieke eigenschappen van de bodemoplossing (viscositeit en dichtheid). De doorlatendheid wordt bovendien beïnvloed door het bodemvochtgehalte. Bij een verzadigde grond spreekt men over de verzadigde doorlatendheid.
- Bodemcompactie, zwel en krimp en de bezetting van het adsorptiecomplex van de bodemmineralen hebben invloed op de doorlatendheid van een bodem. Een heterogene bodem

kan in verticale richting een andere doorlatendheid hebben dan in horizontale richting. Dit wordt anisotropie genoemd.

3 PRINCIPE

De waterdoorlatendheid van een bodemmonster wordt bepaald door aan beide uiteinden van een verzadigd monster een verschillende waterdruk (waterhoogte) te creëren en de daardoor ontstane waterstroming te meten. Door het water, dat door het monster stroomt, gedurende een bepaald tijdstraject op te vangen in een buret kan men met behulp van De Wet van Darcy de waterdoorlatendheidscoëfficiënt (K-factor) berekenen. De bepalingen kunnen gebeuren met een constant of variabel (afnemend) drukhoogteverschil.

3.1 Constant head method

Water wordt bovenaan of onderaan de grondkolom toegevoegd en de waterhoogte wordt constant gehouden. De waterdoorlatendheidswaarde kan het best worden bepaald bij een zo klein mogelijk hoogteverschil. Na het doorlopen van het grondmonster (neerwaartse en opwaartse stroming) wordt het water respectievelijk onderaan of bovenaan afgevoerd zodat de drukhoogte er constant gehouden wordt (hier atmosferische druk). De hoeveelheid water die door de grondkolom stroomt wordt gemeten in functie van de tijd.

Bij opwaartse stroming worden luchtbellens beter uit het bodemmonster verdreven. Bij neerwaartse stroming worden de monsters best vooraf verzadigd ten einde lucht-insluitingen zoveel mogelijk te verwijderen.

Deze methode is toepasbaar op vrijwel de meeste bodems, uitgezonderd de zeer slecht doorlatende bodems zoals klei en veen.

3.2 Falling head method

Deze meetmethode wordt toegepast bij het meten van lage doorlatendheden in bijvoorbeeld klei- of veenmonsters. Het principiële verschil van deze methode ten opzichte van de onder § 3.1 genoemde methode bestaat hieruit dat niet de afgevoerde hoeveelheid water wordt gemeten, maar de verandering in waterhoogteverschil in een bepaald tijdsinterval.

4 OPMERKINGEN

- De gemeten waarden voor de verzadigde waterdoorlatendheid zullen altijd afwijken van de veldomstandigheden. Dit verschil wordt veroorzaakt door onnauwkeurigheden in monsternamen en de ruimtelijke variabiliteit in het veld.
- De meetresultaten geven de doorlatendheid weer op de plaats waar het monster is genomen (puntmeting). Om een beeld te krijgen van de omgeving zal een groot aantal metingen verricht moeten worden.
- De gebruikte methodes zijn gebaseerd op de Wet van Darcy. De Wet van Darcy is echter gebaseerd op homogene bodems en eendimensionale stroming. In werkelijkheid zal een bodem altijd heterogeen zijn en soms scheuren of andere macroporiën bevatten, waardoor soms de aanname dat de monsters voldoen aan de Wet van Darcy niet rechtvaardig is.
- Het formaat van de monsters is te klein om scheuren en macroporiën te bemonsteren. De gemeten doorlatendheid in kleigronden zal dus meestal lager zijn dan de reële waarden in het veld. De bijdrage van macroporiën aan watertransport is veel groter dan de bijdrage van het volume equivalent aan kleine poriën. Hierdoor zijn beide methodes minder geschikt voor zware klei monsters.

- De besproken methodes zijn niet geschikt voor zeer goed doorlatende gronden, daar het eenvoudig weg niet mogelijk is een waterniveau op de monsters te handhaven. Het water zal sneller afgevoerd worden dan het aangevoerd kan worden.
- Er kan niet worden voorkomen dat er in het water, waarmee de waterdruk wordt aangelegd, opgeloste gassen vrij komen en zich in de poriën van het monster ophopen. De onnauwkeurigheid die hierdoor ontstaat (er wordt een iets lagere doorlatendheid gemeten) valt echter binnen de marges van de overige onnauwkeurigheden, zoals door bemonstering. Gebruik eventueel ontgast water.
- Er wordt aanbevolen een meetoplossing te gebruiken die zoveel mogelijk overeenkomt met de originele bodemoplossing. Bij monsters uit een zout milieu bijvoorbeeld, moet een zoute oplossing gebruikt worden om te voorkomen dat uitwisseling van kationen aan het uitwisselingscomplex van de bodemdeeltjes plaatsvindt. De doorlatendheid van een bodemmonster zal afnemen bij een verlaging van de elektrolytconcentratie. Bij een hoge concentratie van Na⁺-ionen kunnen kleideeltjes in dispersie gaan waardoor poriën verstopt kunnen raken en de waterdoorlatendheid zal afnemen. In alle gevallen wordt afgeraden om gedemineraliseerd of gedestilleerd water te gebruiken.

5 MONSTERBEHANDELING

Voor de bepaling van de waterdoorlatendheid van bodemmonsters in het laboratorium wordt gebruik gemaakt van onverstoorde bodemmonsters in roestvrij stalen monsterringen (pF-ringen) of monsterbussen. Bemonstering kan plaats vinden aan het bodemoppervlak, in boorgaten en in profielkuilen. Steek de ringmonster zorgvuldig. Zorg er voor dat het monster aan de snijvlakken niet dichtgesmeerd is. Verstoorde monsters kunnen niet gebruikt worden bij de metingen. Voor het verkrijgen van representatieve gegevens, is het noodzakelijk een voldoende aantal monsters te nemen. In homogene zandige afzettingen kan men volstaan met bemonstering in drievoud. In zware kleigronden daarentegen, waarin de bodemstructuur een grote rol speelt, kunnen door zwel- en krimpverschijnselen scheuren in de bodem ontstaan waardoor de plaatselijke variatie in de doorlatendheid groot kan zijn. Hierdoor dient in kleigronden de bemonstering in twintig- tot dertigvoud uitgevoerd te worden. Ook de vochttoestand tijdens de bemonstering is van grote betekenis. Bij een hoog vochtgehalte kan versmering van het kleimonster optreden, waardoor poriën en scheuren verstopt raken. In een droge toestand worden zware kleigronden hard en brokkelig.

6 APPARATUUR

Zie fabrikant.

7 REAGENTIA

Zie fabrikant.

8 PROCEDURE

Zie fabrikant.

9 BEREKENINGEN

9.1 Doorlatendheidsbepaling met constant hoogteverschil

Bij toepassing van deze meetmethode met een constant hoogteverschil kan de K-factor met behulp van de Wet van Darcy worden berekend. Volgens de wet van Darcy geldt:

$$K = \frac{V \times L}{A \times t \times h}$$

Formule 1

waarin

K	doorlatendheidscoëfficiënt of "K-factor" [cm/d]
V	volume water dat door monster stroomt [cm ³]
L	lengte van het bodemonster in de stromingsrichting van het water [cm]
A	oppervlak van de dwarsdoorsnede van het monster [cm ²]
t	tijd die gebruikt is voor de doorstroming van het watervolume [d] (d = de tijdsdimensie dag)
h	waterhoogteverschil [cm]

Let er bij het invullen van de formules op dat de eenheden van de verschillende parameters overeenkomen. Aanbevolen wordt om K uit te drukken in [cm/d] of in [m/d].

9.2 Doorlatendheidsbepaling met een afnemend hoogteverschil

Bij toepassing van deze meetmethode met een afnemend hoogteverschil kan de K-factor met behulp van de Wet van Darcy worden berekend. Echter, aangezien zowel de stijghoogte als het debiet in de tijd veranderen, wordt een aangepaste vorm van de Wet van Darcy gebruikt waarin:

$$K = \frac{a \times L}{A \times (t_2 - t_1)} \times \ln \frac{h_1}{h_2} + \frac{a \times L}{A \times \sqrt{(h_1 \times h_2)}}$$

Formule 2

waarin

K	doorlatendheidscoëfficiënt of "K-factor" [cm/d]
V	volume water dat door monster stroomt [cm ³]
L	lengte van het bodemonster in de stromingsrichting van het water [cm]
A	oppervlak van de dwarsdoorsnede van het monster [cm ²]
a	oppervlakte van de dwarsdoorsnede van ringhouder of monsterbus [cm ²] bij een monsterbus geldt: A = a
t	tijd die gebruikt is voor de doorstroming van het watervolume [d] (d = de tijdsdimensie dag) tijd tussen het begin en einde van de meting (t ₂ -t ₁)
h ₁	waterhoogteverschil op tijdstip t ₁ [cm]
h ₂	waterhoogteverschil op tijdstip t ₂ [cm]

Let er bij het invullen van de formules op dat de eenheden van de verschillende parameters overeenkomen. Aanbevolen wordt om K uit te drukken in [cm/d] of in [m/d].

9.3 Temperatuurscorrectie

Zoals reeds in de inleiding vermeld wordt de doorlatendheid van de bodem mede bepaald door de viscositeit van de bodemplossing. De viscositeit (stroperigheid) hangt af van de temperatuur (zie tabel). De temperatuur van water in het laboratorium schommelt tussen de 18 en 22 °C, terwijl de temperatuur van grondwater gemiddeld 10 °C bedraagt. In de winter kan de temperatuur van grondwater dalen tot circa 5°C. Voor bepaalde toepassingen zal de waterdoorlatendheid dus gecorrigeerd moeten worden voor de viscositeit van de bodemplossing (meestal water). Corrigeer de K-factor voor de viscositeit met de volgende formule (Wit 1963):

$$k_{10} = k_T \times \frac{h_{10}}{h_T}$$

Formule 3

waarin

- k_{10} gecorrigeerde K-factor bij 10 °C (onder natuurlijke omstandigheden) [cm/d]
- k_T K-factor bij gebruikte temperatuur [cm/d]
- h_{10} dynamische viscositeit van water bij 10 °C [Pa. s]
- h_T dynamische viscositeit van water bij T °C [Pa. s]

Temperatuur (°C)	Viscositeit water (10 ⁻¹ Pa.s)
5	1,52
10	1,31
15	1,14
18	1,05
20	1,01
22	0,96
25	0,89
30	0,81

Figuur 1: Dynamische viscositeit van water in functie van de temperatuur.

10 REFERENTIES

- Klute, A. Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods. SSSA Book Series:5. 1986
- "Gebruiksaanwijzing 09.02 Laboratorium permeameters" Eijkelkamp, maart 2003