

SBW Piping - Hervalidatie

C2. Schematisatiehandreiking watervoerende zandlaag

Jan Blinde

Titel
SBW Piping - Hervalidatie

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Waterdienst	1001453-001	1001453-001-GEO-0006	21

Trefwoorden
Piping
Doorlatendheid
Rekenregel
MSeep
Schematisatie




Samenvatting

Het programma Sterkte & Belastingen Waterkeringen (SBW) is gericht op het invullen van belangrijke kennisleemtes bij het vijfjaarlijks toetsen van de primaire waterkeringen. Die kennisleemtes betreffen zowel de belasting als de sterkte bij het toetsen. Het voorliggende project betreft het project 'SBW Piping - Hervalidatie Piping', deelonderzoek C, Het doel van het deelonderzoek C is het opstellen van een procedure voor het schematiseren van de doorlatendheid van de ondergrond ten behoeve van de pipinganalyse. Deelonderzoek C2 'Schematisatiehandreiking watervoerende zandlaag. Procedure voor vaststellen doorlatendheid' gaat in op de methoden van bepaling van de doorlatendheid en het schematiseren van de doorlatendheid voor de pipinganalyse.

De rekenregel voor piping, de regel van Sellmeijer, geldt voor een homogeen zandpakket. In de praktijk zal de pipinggevoelige zandondergrond echter niet homogeen zijn. Met de piping-modellering in MSeep kan meer rekening worden gehouden met variaties in de geometrie, de grondlagenopbouw en de eigenschappen dan in de rekenregel.

Voor het toetsen van de dijkringen waar in het kader van VNK een database met pipingparameters beschikbaar is kan het beste gebruik worden gemaakt van deze database voor voornamelijk de wat diepere lagen (> 5 - 10 m beneden maaiveld).

Verwacht wordt dat voordat de volgende toetsronde aanvangt de database is gevuld met de pipingparameters van alle dijkringen in Nederland.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	08-10-2009	Ing. Jan Blinde		Drs. Gerard Kruse		Ing. Harm Aantjes	
2	11-11-2009	Ing. Jan Blinde		Drs. Gerard Kruse		Ing. Harm Aantjes	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Introductie	1
1.2 SBW Hervalidatie piping	1
1.3 Aanleiding	2
1.4 Leeswijzer	2
2 Schematisatie watervoerende zandlaag	3
2.1 Modellen	3
2.2 Schematisatie m.b.t. de Rekenregel	3
2.3 Schematisatie m.b.t. modelering in MSeep	4
3 Bepalen doorlatendheid watervoerende zandlaag	5
3.1 Stappen in de doorlatendheidsbepaling	5
3.2 Gegevensinwinning en schematisatie	6
3.3 Methoden van doorlatendheidsbepaling	7
3.3.1 Laboratoriummethoden	7
3.3.2 In-situ metingen	7
3.3.3 Indirecte methoden (afleidingen):	10
3.4 Aanbeveling voor in te zetten methoden van bepaling doorlatendheid	12
4 Procedures voor het schematiseren van de doorlatendheid voor pipinganalyses	13
4.1 Doorlatendheid op grondlaagschaal	13
4.2 Doorlatendheid binnen REGIS II	13
4.3 Methode toegepast om doorlatendheden te bepalen binnen VNK	14
5 Aanbeveling	17
6 Literatuur	19

1 Inleiding

1.1 Introductie

Onderdeel van het SBW-programma betreffende het invullen van de belangrijkste kennisleemtes ten behoeve van de toetsing van primaire waterkeringen is het onderzoekspoor Hervalidatie Piping.

Het onderzoekspoor Hervalidatie Piping is opgezet om de onzekerheden binnen de huidige piping toetsingsregels in beeld te krijgen en deze eventueel te verkleinen of elimineren. In het projectplan (SBW Piping / Projectplan 2008) is opgenomen dat er een procedure opgesteld moet worden voor het schematiseren van de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag voor de pipinganalyse (projectdoel C).

Onderhavig rapportage betreft Stap 2 van projectdoel C, het bepalen van een praktische procedure voor het schematiseren van de doorlatendheid voor de pipinganalyse.

1.2 SBW Hervalidatie piping

In Nederland wordt voor het toetsen op piping teruggerepen naar het eind jaren negentig opgestelde Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen [TAW, 1999]. In het TR Zandmeevoerende wellen wordt het pipingproces en bijbehorende rekenmodellen beschreven.

De meest gebruikte rekenregels om het risico op piping in zand te bepalen zijn de regel van Bligh en de regel van Sellmeijer. De rekenregel van Bligh wordt internationaal het meest gebruikt.

De rekenregel van Bligh is gebaseerd op empirie, uit met name India, van bezweken en niet bezweken dammen. De rekenregel van Sellmeijer is gebaseerd op een mathematische beschrijving van de grondwaterstroming door het zandpakket en de pipe en de beschrijving van de stabiliteit van de zandkorrels in de pipe. Het pipingproces wordt in de rekenregel van Sellmeijer vanuit een meer complete modellering benaderd dan in de regel van Bligh.

Zoals elk rekenmodel is ook de rekenregel van Sellmeijer een mathematische schematisatie van de werkelijkheid. Voor een relevant resultaat van de regel van Sellmeijer dient de werkelijkheid op de juiste manier te worden geschematiseerd.

In het schematiseringsproces zijn meerdere stappen te onderscheiden. Allereerst zullen de eigenschappen van de op piping te beoordelen locatie moeten worden bepaald. De eigenschappen betreffen zowel de geometrie van de waterkering als de opbouw van de grondlagen en de voor piping relevante eigenschappen van de grondlagen. Vervolgens worden de eigenschappen geschematiseerd tot voor de analyse benodigde parameters.

In deze rapportage wordt alleen ingegaan op het schematiseren van de ondergrond met betrekking tot de doorlatendheid van het zandpakket.

De wijze van bepalen van de ondergrondeigenschappen is onderdeel van projectdoel B4 en is gerapporteerd onder [Deltares, 1001449-027-GEO-0002, dd 9 mei 2009, definitief]

1.3 Aanleiding

Uit eerdere pipinganalyses is gebleken dat de doorlatendheid van het zandpakket belangrijk is in het pipingmechanisme. Omdat de doorlatendheid vaak onbekend is, wordt voor de toetsing veelvuldig gebruik gemaakt van schattingen van de doorlatendheid, ontleend aan TNO-grondwaterkaarten of ontleend aan relaties met de korrelgrootteverdeling. De schattingen op basis van de grondwaterkaarten betreffen dikkere pakketten zand en grind en representeren maar zeer ten dele de voor piping relevante ondiepere lagen. De relatie met korrelgrootteverdeling is slechts een grove benadering van de doorlatendheid te verschaffen, met grote kans op over en onderschattingen, deels door het zeer beperkte volume waarvoor de schatting geldt.

1.4 Leeswijzer

In de onderhavige rapportage komen per hoofdstuk de volgende zaken aan bod:

Hoofdstuk 1: Inleiding. Hierin wordt de aanleiding en het doel van onderhavige rapportage beschreven.

Hoofdstuk 2: Schematisatie watervoerende zandlaag. Dit hoofdstuk gaat in op de verschillen in modellering tussen de rekenregel en de numerieke analyse in MSeep.

Hoofdstuk 3: Bepalen doorlatendheid watervoerende zandlaag. Kort wordt teruggegrepen op de in deelproject B4 beschreven stappen om te komen tot een lokale schematisatie van de doorlatendheid voor de pipinganalyse en worden methoden besproken die beschikbaar zijn om de doorlatendheid op verschillende schalen te meten.

Hoofdstuk 4: Procedure voor het schematiseren van de doorlatendheid voor de pipinganalyse.

In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe de doorlatendheid vanuit de geohydrologie en de geologie kan worden bepaald en hoe dit is toegepast in de database met pipingparameters van VNK.

Hoofdstuk 5: Conclusie. In de conclusies wordt aangegeven hoe de VNK-database, aangevuld met lokaal onderzoek, kan worden gebruikt om de doorlatendheid te schematiseren voor de pipinganalyse.

2 Schematisatie watervoerende zandlaag

2.1 Modellen

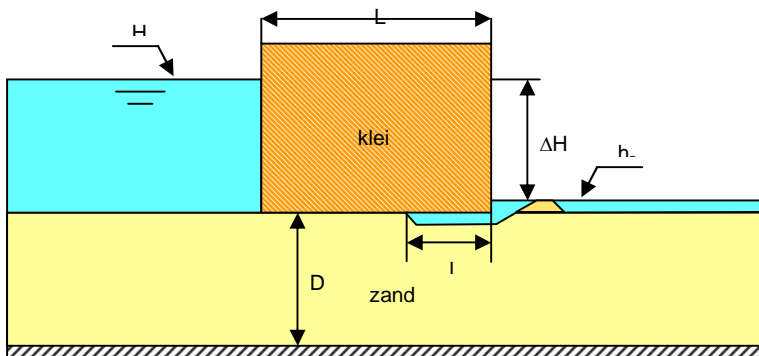
Voor het analyseren van piping zijn straks 2 methoden beschikbaar.

- 1 De aangepaste Rekenregel van Sellmeijer
- 2 Pipingmodellering in het grondwaterstromingsprogramma MSeep

Het modelleren van een pipinganalyse met MSeep geeft meer vrijheden in het schematiseren van geometrie, grondlagenopbouw en eigenschappen dan de rekenregel.

2.2 Schematisatie m.b.t. de Rekenregel

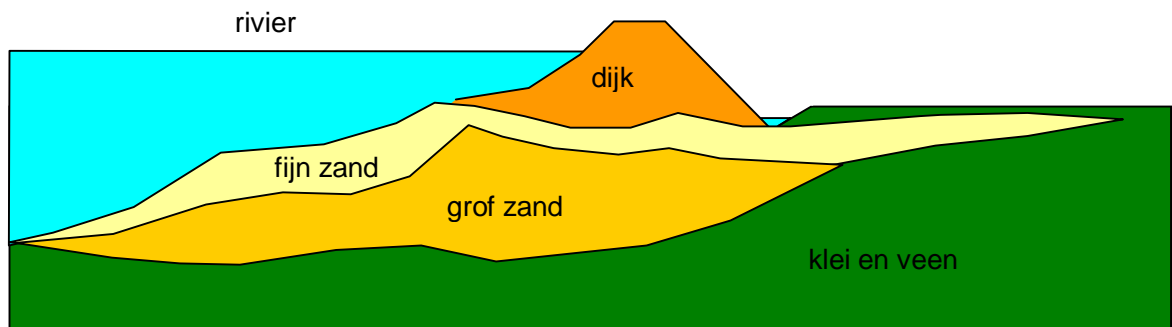
De aangepaste rekenregel is gebaseerd op de in Figuur 2.1 geschetste standaard-configuratie. De resultaten zijn dan ook alleen maar geldig voor deze configuratie.



Figuur 2.1 Schematisatie rekenregel

De rekenregel gaat uit van een homogeen zandpakket met overal dezelfde dikte en één uniforme doorlatendheid. Aan de bovenstroomse zijde van de dijk kan het water vrij intreden. Aan de benedenstroomse zijde kan het water vrij uitreden.

In werkelijkheid is de opbouw en de doorlatendheid van het zandpakket echter niet uniform, hetgeen de toepassing van het rekenmodel bemoeilijkt. De laag direct onder de afdekkende kleilaag bestaat regelmatig uit fijner en minder doorlatend zand dan de diepergelegen lagen. De lagen aan de bovenstroomse zijde van de dijk bestaan soms uit ander zand dan de lagen onder of achter de dijk, de dikte van de zandlaag aan de instroomzijde kan dunner zijn dan onder en achter de dijk. In Figuur 2.2 is dit geïllustreerd.



Figuur 2.2 Schets van het voorkomen van fijn en grof zand onder een dijk

Voor het toepassen van de rekenregel moeten deze variaties in opbouw van de ondergrond en de eigenschappen echter wel zodanig worden geschematiseerd dat zij representatief zijn voor de werkelijkheid.

2.3 Schematisatie m.b.t. modelering in MSeep

Het modeleren van een pipinganalyse in MSeep geeft de mogelijkheid om meer rekening te houden met de geometrie van de dijk, de opbouw van de ondergrond, gelaagdheid van de watervoerende zandlaag, verschillen in parameters van de verschillende lagen en de aanwezigheid van waterremmende lagen in het gebied voor de dijk en/of op de bodem van de rivier.

Om een modelering te maken voor een analyse met MSeep is voldoende lokaal grondonderzoek, in aantallen en in diepte van de onderzoekpunten, noodzakelijk.

3 Bepalen doorlatendheid watervoerende zandlaag

3.1 Stappen in de doorlatendheidsbepaling

In [Deltares,1001449-027-GEO-0002, dd 9 mei 2009 definitief] is de procedure aangegeven hoe de specifieke doorlatendheid [k] het best kan worden bepaald op basis van een aantal stappen in het bepalen van de noodzaak van een pipinganalyse. De stappen worden hieronder weergegeven.

Bepaling specifieke doorlatendheid.

De specifieke doorlatendheid is afhankelijk van de schaal van beschouwen. Voor het vaststellen van de specifieke doorlatendheid relevant voor piping wordt ervan uitgegaan dat variaties van specifieke doorlatendheid over verticale afmetingen < 3 m en laterale afmetingen < 50 m gehomogeniseerd moeten worden om een schatting van de pakketdoorlatendheid te verkrijgen. Met deze aanname kan de specifieke doorlatendheid van zandpakketten voor elk van de 3 stappen als volgt worden vastgesteld.

Stap 1: Het volstaat om een defaultwaarde van 3×10^{-4} m/s aan te houden voor al het aangetroffen zand voor de opbarstberekeningen.

Stap 2: Voor de verschillende aangetroffen soorten zand kan de specifieke doorlatendheid vastgesteld worden op basis van eventueel beschikbare korrelgrootteklasse in boorstaten, of eventueel beschikbare korrelgrootteverdelingen met correlatie met d_{10} , d_{60} en lutumgehalte.

Voor de korrelgrootteverdelingklasse volgens NEN 5104 geldt (voorlopige aannamen):

Rivierzand in het rivierengebied:

- fijn zand 8×10^{-5} m/s
- fijn - middel en middel zand 3×10^{-4} m/s
- middel – grof en grof zand 8×10^{-4} m/s

Getijdegeulzand in getijdegebieden

- fijn zand 4×10^{-5} m/s
- fijn - middel en middel zand 1×10^{-4} m/s
- middel – grof en grof zand 6×10^{-4} m/s

Kustzand

- fijn zand 4×10^{-5} m/s
- fijn - middel en middel zand 4×10^{-4} m/s
- middel – grof en grof zand 8×10^{-4} m/s

Stap 3: De doorlatendheid van de zandpakketten wordt bepaald met:

- de korrelgrootteverdeling van monsters uit de aangetroffen pakketten
- metingen van doorlatendheid in archief, waarbij de overeenkomst tussen de aangetroffen zandsoort en de bemeten zandsoort door ter zake deskundigen wordt vastgesteld
- een pompproefbepaling kan in uitzonderlijke gevallen nodig zijn.

waarin:

- stap 1 betrekking heeft op het identificeren van pipinggevoelige gebieden;
- stap 2 betrekking heeft op het begrenzen van de pipinggevoelige gebieden en het vaststellen van de aard van de zandvoorkomens;

- stap 3 betrekking heeft op het verkrijgen van de doorlatendheden voor de schematisatie van de pipinganalyse.

Schematiseren ten behoeve van de pipinganalyse, stap 3

Deze stap 3 betreft het verkrijgen en vastleggen van de gegevens voor het feitelijk vaststellen van de mogelijkheid van optreden van piping op een locatie. De uitvoering van deze stap hangt af van de aard van de zandpakketten zoals in het globaal overzicht van stappen 1 en 2 is vastgesteld.

- Verzamelen gegevens:
 - o Lokaal grondonderzoek (binnen 50 m van de waterkering)
 - o Aanvullend grondonderzoek indien:
 - ongunstige omstandigheden die uit stap 1 zijn gebleken niet met zekerheid uitgesloten kunnen worden in de directe omgeving van de waterkering en er aanvullende beperking van de onzekerheid daarover nodig geacht wordt;
 - onzekerheid over eigenschappen en ligging van zandpakketten te groot is met het oog op de consequenties volgend uit de analyse van het optreden van piping.

- Schematiseren grondopbouw en eigenschappen van het zand voor één of meerdere typen grondopbouw, scenario's, die in de zone kunnen voorkomen (NB er wordt hierbij geanticipeerd op de ontwikkelingen van de toetsregel elders in SBW verband):
 - o doorlatendheidsverdeling in de ondergrond (welke zandtypen, korrelgroottes, laagdiktes uit sonderingen en boringen), de schematisatie dient geschikt gemaakt te worden voor het te gebruiken rekenmodel;
 - o pakking (sondeerstaten en correlaties), met name vaststellen van het eventueel voorkomen van lagen met respectievelijk
 - $RD < 35\%$ met een dikte > 0.5 m, en met laterale afmetingen $> 50 \times 50$ m² bij en onder de teen van de waterkering en
 - $RD < 65\%$ met een dikte $> ca. 1$ m gelegen aan de bovenkant van het watervoerende pakket;
 - o Zandkarakteristieken voor de bovenkant van het zand. Er kunnen één of meerdere zandkarakteristieken vastgesteld worden, waaronder tenminste de feitelijk aangetroffen, of op grond van overwegingen vastgestelde mogelijk ongunstigste;

3.2 Gegevensinwinning en schematisatie

Eén van de problemen met het inschatten van doorlatendheden is de mate van heterogeniteit op verschillende schalen, (onder andere Weerts, 1996):

Op **poriënschaal** is de doorlatendheid afhankelijk van de grootte van de poriën, die weer afhankelijk is van de korrelgroottes en de stapeling van de korrels. Een niveau hoger, op **monsterschaal** ($10^{-1} - 10^0$ m), is de doorlatendheid bepaald door de grootte van de poriën, de mate waarin de poriën verbonden zijn en de fijne gelaagdheid van het sediment. Op **grondlaagschaal** ($10^0 - 10^2$ m) worden de wat grotere structuren van de lagen en laagjes en lithologische (materiaal) variatie binnen een afzonderlijke grondlaag of -eenheid belangrijk. Bijvoorbeeld kronkelwaardafzettingen van meanderende rivieren kunnen bestaan uit fijn tot grof zand, grind en kleilaagjes met allemaal een andere doorlatendheid. Voor toepassing worden onderscheiden (i) de hydrologisch **lokale schaal** ($10^1 - 10^3$ m) is de doorlatendheid voornamelijk bepaald door de onderlinge ligging en maten van de grondlagen en (ii) de **regionale schaal** ($3 \times 10^3 - 10^5$ m) met variatie op het niveau van grotere geologische eenheden, met name de watervoerende pakketten en afsluitende/scheidende lagen.

Voor de ondiepere eenheden zullen voornamelijk variaties op grondlaagschaal en hydrologisch lokale schaal belangrijk zijn. Aangezien de hoeveelheid gegevens over het

voorkomen van geologische formaties afneemt met diepte en het detail minder is, wordt voor diepere geologische eenheden een beroep gedaan op informatie afgeleid uit de lokale schaal en regionale schaal.

3.3 Methoden van doorlatendheidbepaling

Voor het bepalen van de doorlatendheid zijn verschillende methoden beschikbaar, waarbij elke methode zijn specifieke toepassingsgebied heeft dat voornamelijk betrekking heeft op de schaal waarop ze toepasbaar zijn. In de volgende paragrafen worden de meest belangrijke methoden van bepaling van de doorlatendheid besproken met de voor- en nadelen. Hierin worden onderscheiden:

- 1) Laboratorium methoden;
- 2) Veldmethoden;
- 3) Indirecte methoden.

3.3.1 Laboratoriummethoden

Constant head (CH)/ Falling head (FH) methode

Aan beide uiteinden van een verzadigd bodemonmonster wordt een verschillende waterdruk gecreëerd en de ontstane waterstroming wordt gemeten. Bij Constant head wordt de waterkolom constant gehouden en het water dat door de grondkolom stroomt wordt gemeten in de tijd. Bij Falling head wordt de verandering in waterhoogteverschil gemeten. Constant head wordt gebruikt bij goed doorlatende grondsoorten, Falling head bij slecht doorlatende grondsoorten.

(NEN 5123; NEN 5124)

Voordelen:

- Nauwkeurige schatting van de horizontale en verticale doorlatendheid.

Nadelen:

- Vergt zeer veel bepalingen om de effectieve doorlatendheid voor grotere (grondlaag/lokale/regionale) schalen vast te stellen;
- Laboratoriummonsters mogelijk niet representatief voor het gedrag in-situ en door roering van het sediment en laboratoriumopstelling (wandeffecten).

3.3.2 In-situ metingen

Pompproeven

Bij pompproeven wordt water onttrokken aan een onttrekkingsput. Als gevolg hiervan wordt de waterstand in de onttrekkingsput, en in de omgeving van de put, verlaagd. Tijdens de proef wordt gemeten met piëzometers hoe de waterstand in de onttrekkingsput en in de omgeving bij een bepaald pompdebiet verlaagd wordt. Aan de hand hiervan kunnen met modelberekeningen (inverse berekeningen) de geohydrologische karakteristieken worden afgeleid.

Voordelen:

- Geeft goed beeld van de lokale doorlatendheid en afhankelijk van de schaal van de proef van regionale effecten.

Nadelen:

- Gedegen voorkennis van de ondergrond is nodig voor interpretatie gegevens;
- Duur;

- Tijdrovend;
- Grote schaal;
- Veel filters doorsnijden meerdere pakketten. De gevonden doorlatendheden zijn dan ook vaak niet representatief voor een specifieke enkele watervoerende laag (Nienhuis et al., 1999);
- Effecten van filters en versmering van de boorwand.

Putproeven

Hetzelfde als een pompproef, met als verschil dat bij een putproef de stijghoogtedaling die samenhangt met de onttrekking alleen wordt gemeten in het bronfilter.

Voordelen:

- Geeft goed beeld van lokale doorlatendheid en afhankelijk van de schaal van regionale effecten.

Nadelen:

- Gedegen voorkennis van de ondergrond is nodig voor interpretatie gegevens;
- Tijdrovend;
- Inversie wordt bemoeilijkt door het gecombineerde effect van stijghoogten en doorlatendheid van meestal meerdere pakketten;
- Grote schaal;
- Versmering van boorwand.

Slugtest/boorgatproef

De slugtest is gebaseerd op het stromingsgedrag van grondwater naar een peilbuis, nadat in de peilbuis door middel van luchtdruk het grondwater is weggeperst. De methode wordt toegepast op peilbuizen, maar lijkt ook als sondetechniek bruikbaar te kunnen zijn. Nadat door b.v. een compressor een bepaalde druk is opgebouwd, laat men in één keer deze druk ontsnappen, onder gelijktijdig meten van de grondwaterstand in de peilbuis. Uit de wijze waarop de grondwaterstand weer haar stationaire toestand bereikt kan de doorlatendheid van de bodem worden afgeleid. Bij de interpretatie speelt de geometrie van filter en stijgbuis een grote rol.

Voordelen

- Lage kostprijs;
- Snelle uitvoering;
- Eenvoudige apparatuur.

Nadelen

- Slechts informatie over een doorlatendheden van een klein volume grond vlak bij de peilbuis;
- Meer betrouwbaar bij kleinere doorlatendheden omdat bij grote doorlatendheden het evenwicht zo snel hersteld wordt dat er weinig tijd is voor de metingen.

Lefranc proef (EN ISO 22476-12)

Deze test wordt uitgevoerd in een verbuisd boorgat, waarin men een constante waterhoogte instelt. Men meet het daartoe vereiste toevoerdebiet en leidt hieruit een 'sferische' doorlatendheid af van de grondlaag aan de onderkant van het boorgat.

Voordelen

- Geschikt voor grote doorlatendheden.

Nadelen

- Versmering van boorgatwand waardoor een te lage doorlatendheid wordt gemeten.

Lugeonproef

De Lugeonproef wordt uitgevoerd in een boorgat, waarbij over een welbepaalde afgesloten hoogte van het boorgat water onder druk wordt geïnjecteerd. Men meet het daartoe vereiste toevoerdebiet en leidt hieruit een horizontale hydraulische doorlatendheid ter hoogte van de injectiekamer af.

Voordelen

- Representatief meten.

Nadelen

- Versmeren boorgatwand;
- Informatie over aard van doorlatende lagen en structuren nodig;
- Ontwikkeld voor hard gesteente.

Tracertest

Door het meten van de verblijftijd tussen twee of meer plaatsen van kunstmatig in het grondwater ingebrachte stoffen, kan op directe wijze de grondwaterstromingssnelheid worden vastgesteld. Voor het uitvoeren van tracertests zijn ten minste twee sonderingen nodig, nl. een injectiesonde en een meetsonde. De schaal waarop de doorlatendheid wordt gemeten kan door de situering van de sondes worden gevarieerd.

Voordelen

- Nauwkeurig en representatief omdat de verblijftijd direct wordt gemeten.

Nadelen

- Kosten sterk afhankelijk van de tracer;
- Milieuhygiënische acceptatie.

Doorlatendheidssonde (Deltares)

Het principe van de doorlatendheidssonde bestaat uit het injecteren van water in de bodem door een in een sondeerstang aangebracht filter van beperkte afmetingen. Door het meten van het debiet en de toename van het drukverschil tussen twee drukopnemers die eveneens aan de sondeerstang zijn bevestigd, kan op theoretisch eenvoudige wijze de doorlatendheid van het medium worden gemeten. De doorlatendheidssonde van Deltares is echter een prototype. Veldexperimenten hebben aangegeven dat opwaardering tot een geijkt en gevalideerd instrument nog nader onderzoek vereist. Een dergelijke sonde van het bedrijf GeoProbe is gebaseerd op dezelfde principes.

Voordelen

- In situ meten op relatief hoge resolutie.

Nadelen:

- Gevoelige meetsensoren en overige mechanieken;
- Verstoring van de grond (onder andere is doorslag mogelijk);
- Inversie vergt aannamen over de lokale structuren in de grond.

Waterbalansstudies (Pomper en Weerts, 1996)

Berekening van een waterbalans in een gebied op basis van grondwaterstands- en debietmetingen.

Voordelen

- Er kan een goede schematisatie worden verkregen van de globale geohydrologische opbouw van een gebied.

Nadelen

- Er is voorkennis nodig van het gebied;
- Vooral voor gebieden met een homogene opbouw en een gesloten waterbalans;
- Te onnauwkeurig voor hydrologisch detailonderzoek.

Getijanalyse (Steggewentzmethode)

Voortplanting van het getij door het grondwater wordt gemeten b.v. met peilbuizen. Alleen bruikbaar wanneer het getij goed bekend is en de getijvoortplanting in het grondwater duidelijk aanwezig is. De bruikbaarheid is dus plaatselijk.

Voordelen:

- Geeft goed beeld van de lokale en regionale doorlatendheid;
- Goedkoop.

Nadelen:

- Alleen toepasbaar in getijdegebieden;
- Voorkennis ondergrond nodig;
- Grote schaal.

3.3.3 Indirecte methoden (afleidingen):

Er zijn honderden publicaties gewijd aan de relatie tussen doorlatendheid, porositeit en korrelgrootteparameters (zie Weerts, 1996, Hoofdstuk 5). Bierkens (1994) heeft een aantal relaties die andere auteurs hebben gevonden vergeleken met eigen verzamelde data, en concludeerde dat de relaties slecht ontwikkeld of zelfs volledig afwezig waren (Bierkens 1994, pagina 114-115). Een uitzondering was de d_{10} waarde, welke een redelijke relatie opleverde met onverstoorde zandmonsters. Voor verstoorde (geroerde) monsters werd de relatie met de afleidingen in de literatuur beter, maar de metingen aan onverstoorde monsters correleerden niet met de metingen aan verstoorde monsters. Dit betekent dat elke correlatie tussen doorlatendheid en korrelgrootteparameters die is afgeleid uit laboratoriumonderzoek uitgevoerd op verstoorde monsters met de nodige scepsis moet worden behandeld. Hieronder worden een aantal indirecte methoden gegeven.

Volgens Shepherd (Shepherd, 1989)

Zeefanalyse van geroerde monsters waarbij de doorlatendheid wordt bepaald aan de hand van de korrelverdeling.

Voordelen

- Snel af te leiden in veld.

Nadelen

- Geroerde monsters, dus weinig representatief.

Volgens Hazen (Polytechnisch zakboek)

Bepaling van doorlatendheid uit korrelverdelingsdiagram:

$$K = 0.0116 d_{10}^2 \text{ [m/sec]}$$

Voordelen

- snel af te leiden in veld.

Nadelen

- Geroerde monsters, dus weinig representatief.

Volgens Seelheim (Polytechnisch zakboek)

Bepaling van doorlatendheid uit korrelverdelingsdiagram:

$$k = 0.00357 d_{50}^2 \text{ [m/sec]}$$

Voordelen

- snel af te leiden in veld.

Nadelen

- Geroerde monsters, dus weinig representatief.

Volgens Beyer (Polytechnisch zakboek)

Bepaling van doorlatendheid uit korrelverdelingsdiagram:

$$k = C \times d_{10}^2 \text{ [m/sec]} \text{ (C is afhankelijk van de pakking van de zandlaag en van de ongelijkheidsfactor } U_0)$$

Voordelen

- snel af te leiden in veld.

Nadelen

- Geroerde monsters, dus weinig representatief.

Ernst en Rees Vellinga (Pomper 1996)

Berekening doorlatendheid aan de hand van gezeefde monsters en het U-cijfer. Het U-cijfer is de verhouding tussen het totale oppervlak van de korrels in een bepaald gewicht zand het hetzelfde gewicht aan bolvormige korrels met een doorsnede van 1 cm. Aan de formule worden ook correctiefactoren toegevoegd, zoals slibgehalte, grindgehalte en sorteringsgraad.

Voordelen

- Alleen voor verstoorde monsters.

Nadelen

- Geen verband met ongeroerde, gestoken monsters;
- Vraagtekens over de geldigheid van de theorie.

Afleiding uit waterspanning en conusweerstand

Door verschillende auteurs is de relatie tussen doorlatendheid, conusweerstand en wrijvingsgetal bestudeerd. Op basis hiervan worden indicaties van de doorlatendheid

gepresenteerd met nauwkeurigheden in de orde van tientallen procenten, hetgeen gezien de methode en zijn beperkingen wel erg onwaarschijnlijk is.

Voordelen

- Over hele trajecten op iedere gewenste schaal te gebruiken;
- Mogelijk is lokaal (binnen een beperkt en bekend gebied) op basis van patronen in sondeergrafieken een relatie op te stellen.

Nadelen

- De grootheden aan de hand waarvan de doorlatendheid wordt bepaald hebben in fysische zin weinig directe relatie met de doorlatendheid;
- Toepasbaarheidsgebied is niet bekend.

3.4 Aanbeveling voor in te zetten methoden van bepaling doorlatendheid

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 en paragraaf 3.3 kan de doorlatendheid met meerdere methoden en op meerdere schalen worden bepaald. Het nadeel van een te kleine schaal (monsterschaal) is dat de resultaten niet representatief zijn voor de toepassingschaal. Een te grote schaal (grote pompproeven) heeft eveneens het nadeel niet representatief te zijn voor de toepassingschaal. Een methode voor de pipinganalyse zou een representatieve doorlatendheid op grondlaag en hydrologisch lokale schaal moeten opleveren.

4 Procedures voor het schematiseren van de doorlatendheid voor pipinganalyses

4.1 Doorlatendheid op grondlaagschaal

Het probleem van verschillen in meetschaal en toepassingschaal werd onder andere geïdentificeerd door Bierkens (1994) en Weerts (1996). In deze studies werd geconcludeerd dat doorlatendheden afgeleid uit korrelgrootten op laboratoriumschaal (vaak aan verstoorde monsters) slechts zeer globale indicaties en geen eenduidige resultaten gaven. Doorlatendheden bepaald uit pompproeven werden vaak gedomineerd door voor de toepassing niet relevante laageenheden en leverden een te grof beeld op voor locale toepassing. Daarom bepaalden zij aan enkele honderden ongestoorde sedimentkernen van de afzettingen in de Rijn- Maas delta de korrelgrootteverdeling en maakten gedetailleerde structuur- opbouwbeschrijvingen. Aan de hand hiervan is een aantal lithologische klassen onderscheiden op basis van afzettingmilieu (sedimentaire facies), die eenvoudig in het veld herkend kunnen worden en waarin de verschillende typen afzettingen eenvoudig kunnen worden ondergebracht. Ten slotte zijn de geohydrologische eigenschappen van de onderscheiden lithologische klassen bepaald. De onderscheiden klassen blijken sterk van elkaar te verschillen op het gebied van de doorlatendheid. De op deze manier verkregen geohydrologische parameters hoeven nu alleen nog naar de probleemschaal te worden opgeschaald.

Om deze methodiek, of een afgeleide ervan, te gebruiken voor de pipinganalyse is bekendheid van de geologie nodig. Dit is eigenlijk alleen het geval in de bovenste watervoerende lagen.

4.2 Doorlatendheid binnen REGIS II

Binnen REGIS II, de tweede versie van het REgionaal Geohydrologisch Informatie Systeem, is een grovere parametrisatie van de doorlatendheid gebruikt (Vernes et al., 2005). Voor dit geohydrologisch model van de Nederlandse ondergrond wordt een selectieset van 14.500 lithostratigrafische geïnterpreteerde boringen gebruikt. Per boring wordt eerst de lithologie geïnterpreteerd en ingedeeld naar lithostratigrafie. Vervolgens wordt op basis van de lithologische laagbeschrijvingen de lithostratigrafie vertaald naar lithoklassen. Deze lithoklassen zijn categorieën met vergelijkbare hydraulische eigenschappen, maar zijn niet altijd karteerbare hydrogeologische eenheden, dat wil zeggen dat de ligging en uitbreiding ervan lokaal vaak niet bekend zal zijn.

Om een goed inzicht te krijgen in het voorkomen van deze karteerbare hydrogeologische eenheden zijn in de volgende stap opeenvolgende hydroklassen met vergelijkbare hydraulische eigenschappen binnen een lithostratigrafische eenheid geaggregeerd tot hydroklassen. Daarbij zijn afwijkende lithoklassen (en dunne) lithoklassen weggeschaald. Op basis hiervan zijn uiteindelijk de hydrogeologische eenheden geïnterpreteerd.

Voorafgaand aan de interpretatie in hydrogeologische eenheden, is door middel van profielen vastgesteld welke hydrogeologische eenheden per formatie landelijk en regionaal te onderscheiden zijn (en dus karteerbaar zijn).

In het model worden aan elke hydrogeologische eenheid (ruimtelijk variabele) doorlatendheden toegekend. Dit is gebeurd door middel van een database met per afzettingmilieu en per textuur schattingen van doorlatendheid (minimum, maximum,

gemiddelde, onder aanname van een log-normale verdeling). De waarden zijn gebaseerd op literatuuronderzoek (inclusief de eerder genoemde studies door Weerts en Bierkens) en de zeer beperkt aanwezige meetgegevens zoals pompproeven. In de database staat een vertaling voor de doorlatendheid voor elke lithoklasse van de geohydrologische eenheden. Per boring zijn aan elk traject dat in een hydrogeologische eenheid ligt op basis van de bijbehorende lithoklassenkolom doorlatendheden toegekend. Deze zijn vervolgens opgeschaald naar representatieve doorlatendheden in horizontale en verticale richting voor de boorlocaties (er wordt dus een gewogen doorlatendheid berekend). Deze effectieve doorlatendheden op de boorlocaties zijn ten slotte geïnterpoleerd tot een vlakdekkend grid met een resolutie van 100 x 100 m door middel van Kriging. De REGIS-indeling is slechts bruikbaar voor een allereerste indruk van het voorkomen van doorlatende lagen in de ondergrond beneden het zogenaamde Holocene (de bovenste 2 tot 20 m klei-veen en zand in Nederland) en voor regionale studies. Voor de bepaling van de doorlatendheid op grondlaagschaal is de REGIS-indeling te globaal voor lagen minder dan ongeveer 30 m diep.

4.3 Methode toegepast om doorlatendheden te bepalen binnen VNK

Binnen VNK is voor het vaststellen van de doorlatendheid van de zandpakketten gebruik gemaakt van een methode vergelijkbaar met Bierkens (1995) en Weerts (1995) en van de REGIS-methode. In VNK is de opbouw van de ondergrond wat betreft de zandpakketten gebaseerd op lokale geologische kennis van variaties in doorlatendheden in bepaalde geologische eenheden. Vooral in de ondiepe watervoerende lagen is gekeken op grondlagerschaal naar welke afzettingen bepalend zijn voor piping, waarna de doorlatendheden zijn afgeleid uit literatuur. Daarvoor zijn bij fluviatiele afzettingen voornamelijk de doorlatendheden van Bierkens en Weerts als leidraad gebruikt, maar regelmatig is daarnaast op basis van geologische expertkennis besloten tot andere doorlatendheden. Zo is zand afgezet in een mariene geul vaak beter gesorteerd dan zand afgezet in een riviergeul, echter mariene zanden bevatten veel meer klei-insluitingen (enkele mm's tot 0.1 m dikte) en zullen daarom een afwijkende doorlatendheid hebben. In zulke gevallen kan ook informatie uit nomogrammen meegenomen zijn in de bepaling.

Om een idee te krijgen van de doorlatendheden in diepere watervoerende lagen zijn de grids en de database met doorlatendheden in REGIS als leidraad gebruikt, maar ook hier is vaak lokale informatie over korrelgrootten uit de aanwezige boringen en afzettingenmilieu meegenomen in de bepaling van de doorlatendheden.

De toegekende doorlatendheden zijn meestal op het niveau van hydrogeologische eenheden.

Binnen de VNK-schematisatie worden van de watervoerende lagen een aantal eigenschappen waaronder de doorlatendheid de dikte uitgeleverd. Binnen deze watervoerende lagen bestaan vaak scherpe overgangen in de eigenschappen van de grondsoort.

De VNK-schematisatie levert op maximaal 4 niveaus waterscheidende lagen op in een (geologisch gelijk) gebied. Samen met het wel of niet voorkomen van een afsluitende deklaag levert dit uiteindelijk 8 mogelijke bodemopbouw op ieder met een kans van voorkomen.

Binnen het rekenmodel van VNK bestaat de mogelijkheid om de watervoerende lagen onder te verdelen in maximaal twee afzonderlijke lagen. Het kan voorkomen dat binnen een watervoerende laag een onderverdeling is te maken in meer dan twee lagen met verschillende eigenschappen. In dat geval wordt de laag onderverdeeld volgens het grootste geohydrologische contrast. De keuze wordt gemaakt op basis van geologische kennis en op de bekende eigenschappen van de watervoerende lagen.

Dit betekent dat de doorlatendheden op het niveau van geohydrologische lagen moeten worden opgeschaald naar het niveau van het één of tweelaags model. Voor al deze geo(hydro)logische eenheden is eerder al een doorlatendheid bepaald. Met de combinatie van dikte en doorlatendheid van elke geo(hydro)logische eenheid wordt een gewogen doorlatendheid voor de opeenvolging berekend.

De VNK data-base bevat de doorlatendheden die het best zijn toegesneden op schaal (grondlagerschaal) waarop de pipinganalyses worden uitgevoerd.

Inmiddels is voor ongeveer de helft van de Nederlandse dijkringen een database beschikbaar met voor de pipinganalyse relevante gegevens.

Bij gebruik van de VNK-database moet bij het bepalen van de parameterwaarde rekening worden gehouden met de lokale situatie, dit kan betekenen dat afhankelijk van de lokale afwijking ten opzichte van de database soms de hoge, soms de lage kant van de doorlatendheidsverdeling uit de database moet worden gekozen.

Op basis van lokaal grondonderzoek (sonderingen, boringen, korrelanalyse e.d) kan worden bepaald welke bodemopbouw, uit de beschikbare bodemopbouwen in een gebied, lokaal aanwezig is. Lokaal onderzoek geeft vooral de ondiepere lagen een aanvulling op de VNK-database.

Voor dijkringen waar (nog) geen doorlatendheden via de VNK data-base beschikbaar zijn zal op basis van lokaal onderzoek, al of niet in archieven beschikbaar of ten behoeve van de toetsing uit te voeren, de doorlatendheid moeten worden vastgesteld. Voor de diepere lagen (meer dan 30 m diep) kan dit op basis van REGIS II. Voor de ondiepe lagen moet een op de probleemschaal toegespitste methode worden gekozen om de doorlatendheid te bepalen. In hoofdstuk 3.3 zijn een aantal methoden beschreven.

5 Aanbeveling

Voor een betrouwbare schematisatie van de doorlatendheid is veel kennis en informatie benodigd. Over het algemeen is informatie op grondlagenschaal (natuurlijke lagen en overige structuren in grond met dikte van 0.5 tot 3 m en horizontale afmetingen van zo'n 300 – 5000 m²) aanwezig of op relatief eenvoudige wijze met grondonderzoek te verkrijgen. Deze informatie betreft in het algemeen indirecte aanwijzingen voor doorlatendheid. Waar directe bepalingen van doorlatendheid beschikbaar zijn is de schaal van de meting, of bemonsterd volume zodanig dat er voor het gebruik ervan op toepassingschaal de nodige interpretatieslagen gemaakt moeten worden en de daarbij behorende slagen om de arm gehouden moeten worden.

Voor het toetsen van de dijkringen waar in het kader van VNK een database met pipingparameters beschikbaar is wordt aanbevolen gebruik te maken van deze database voor voornamelijk de wat diepere lagen (> 5 - 10 m beneden maaiveld). Voor ondiepere pipingevoelige lagen moet aan de hand van lokaal onderzoek de doorlatendheid worden bepaald (zie hoofdstuk 3)

Soms zijn lokaal gegevens beschikbaar die niet zijn gebruikt bij het bepalen van de doorlatendheden voor de VNK data-base. In die gevallen gaan de lokale gegevens voor op de data-base gegevens.

Indien op basis van de doorlatendheden uit de VNK data-base niet tot een toetsoordeel of tot afkeuren wordt gekomen is lokaal onderzoek naar de doorlatendheid noodzakelijk (zie hoofdstuk 3).

6 Literatuur

Bierkens (1994). Complex confining layers, a stochastic analysis of hydraulic properties at various scales. The Netherlands Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, Proefschrift.

Bierkens (1995). Opschaling van geohydrologische eigenschappen: van meetschaal tot regionale schaal. In: Pp 25-46. In: Hooghard (ed.). Onzekerheden in grondwatermodellering: verslag van de lezingendag 19 januari 1995, De Reehorst te Ede.

Nienhuis, Kok en Sman (1999) Analyse van pompproeven met onvolkomen putfilters in verticaal heterogene pakketten op basis van meerlagenstroming. *Stromingen* 5,1 (39-53)

Polytechnisch zakboekje, onder redactie van Tysma, Van Herwijnen en Leijendeckers. 46^{ste} druk, 1994.

Pomper (1996): Schattingen van doorlaatfactoren (k-waarden) aan de hand van in boorarchieven aanwezige boorbeschrijvingen. *Stromingen* 2, 4. 37-46

Pomper en Weerts (1996) Doorlatendheidsmetingen: absolute noodzaak of luxe uit het verleden? *Stromingen* 2, 1, 27-37

SenterNovem (2004). Haalbaarheidsstudie Toepasbaarheid sondeertechnieken voor vooronderzoek ten behoeve van koude-/warmteopslag. GeoDelft – IF technologies CO-414570-0013

Shepherd (1989) correlations of permeability and grain size. *Ground Water*, Volume 27, issue 5.

Van Baars en Van de Graaf. De bepaling van de doorlatendheid met de dissipatietest. 9 pp. Universiteit Delft.

Vernes, Van Doorn e.a. 1995) Van Gidslaag naar Hydrogeologische eenheid. Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO-NITG rapport 05-038-B.

Weerts (1995). Meetschaaldoorlatendheden van een complexe deklaag. Pp 15-23. In: Hooghard (ed.). Onzekerheden in grondwatermodellering: verslag van de lezingendag 19 januari 1995, De Reehorst te Ede.

Weerts (1996). Complex confining layers. Architecture and hydraulic properties of Holocene and Late Weichselian deposits in the Fluvial Rhine Meuse Delta, The Netherlands. Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht. Proefschrift.