

H3911

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Analyse van doorlatendheidsmetingen van steenzettingen

november 2002





wl | delft hydraulics

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Analyse van doorlatendheidsmetingen van steenzettingen

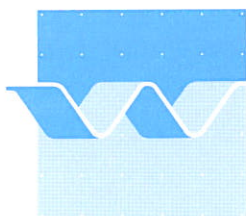
M. Klein Breteler

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloepkundig laboratorium/WL
	59158
	14 3911
	WL/Delft Hydraulics

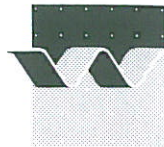
c 141644



november 2002



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Dienst Weg- en Waterbouwkunde van RWS

TITEL: Analyse van doorlatendheidsmetingen van steenzettingen

SAMENVATTING:

Naar aanleiding van de geconstateerde verschillen tussen de berekende toplaagdoorlatendheid van een steenzetting en de gemeten waarden, zijn de formules nader bekeken en zijn een aantal verbeteringen doorgevoerd. Daarbij is als doel gesteld de berekende en gemeten waarden minder dan 30% van elkaar te laten verschillen. De volgende wijzigingen zijn in de formules gerealiseerd:

- De wijze waarop wordt omgegaan met een verschillende spleetbreedte in de stootvoegen en langsvvoegen, en de wijze waarop het aandeel van de doorlatendheid in de spleten en in de gaten wordt gesommeerd, is verbeterd.
- De in- en uitstroomweerstand is aangepast (de formule voor de instroomweerstand concentreert zich op het verval bij de stroming uit het filter; het negatief verval bij de uitstroming uit de spleet is toegevoegd; en er is gerekend met het feit dat het filter vlak onder de spleten een verhoogde porositeit heeft).
- De stromingsweerstand in de spleet (of gat) is gewijzigd:
 - ruwheid van de spleetwand is verlaagd
 - Het Reynoldsgetal bij de overgang van laminaire naar turbulente stroming is verhoogd naar 5000
- De aanstroomweerstand is verkleind door een groter gebied te nemen bij de spleet waar er geen aanstroomweerstand optreedt
- De doorlatendheidsrelatie voor het inwasmateriaal is aangepast
- Er moet gewerkt worden met een rekenwaarde van de spleetbreedte die 0,3 mm groter is dan de gemeten spleetbreedte.

REFERENTIES: contract DWW 2128
Projectleider DWW: ir R. 't Hart

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
0	M. Klein Breteler	26-6-'02		C. Kuiper	W.M.K. Tilmans
1	M. Klein Breteler	18-11-02		C. Kuiper	W.M.K. Tilmans

PROJECTNUMMER H3911

TREFWOORDEN:

AANTAL BLADZIJDEN

VERTROUWELIJK JA, tot (datum) NEESTATUS: VOORLOPIG CONCEPT DEFINITIEF

Inhoud

Lijst van symbolen

1	Inleiding.....	1-1
2	Overzicht van de beschikbare metingen	2-1
3	Verbetering van de formules	3-1
3.1	Formules uit ANAMOS	3-1
3.2	Sommatie van doorlatendheidscomponenten	3-6
3.3	Berekeningen op basis van gemeten filterdoorlatendheid.....	3-7
3.4	In- en uitstroomweerstand	3-7
3.5	Stromingsweerstand door spleetwand	3-13
3.6	Stromingsweerstand inwasmateriaal	3-15
3.7	Aanstroomweerstand	3-17
3.8	Overzicht van de verbeteringen en invoering van rekenwaarde van spleetbreedte.....	3-19
3.9	Aandeel van weerstandscomponenten.....	3-20
4	Conclusies.....	4-1

Referenties

Tabellen

Figuren

Lijst van Symbolen

A	doorstroomoppervlak	(m ²)
a	laminaire weerstandscoefficiënt voor het filter	(s/m)
a _f	lineaire weerstandscoefficiënt van het filter	(s/m)
a _g	lineaire weerstandscoefficiënt van het geotextiel	(s/m)
a _v	lineaire weerstandscoefficiënt van het inwasmateriaal	(s/m)
a'	laminaire weerstandscoefficiënt voor de toplaag	(s/m)
A ₃	doorstroomprofiel ter plaatse van doorsnede 3	(m ²)
A ₄	doorstroomprofiel ter plaatse van doorsnede 4	(m ²)
A _g	gatoppervlak van één gat	(m ²)
B	breedte van blok	(m)
B'	afstand tussen de gaten in de breedte-richting van de blokken	(m)
b	dikte van filter	(m)
b	turbulente weerstandscoefficiënt voor het filter	(s/m) ²
b'	turbulente weerstandscoefficiënt voor de toplaag	(s/m) ²
b _f	turbulente weerstandscoefficiënt van het filter	(s ² /m ²)
b _g	turbulente weerstandscoefficiënt van het geotextiel	(s ² /m ²)
b _v	turbulente weerstandscoefficiënt van het inwasmateriaal	(s ² /m ²)
c _{vul}	deel van de spleethoogte die gevuld is met inwasmateriaal	(-)
C	coëfficiënt van Chezy	(m ^{0.5} /s)
D	toplaagdikte	(m)
D _{f15}	filter korrelgrootte die door 15% van de korrels onderschreden wordt	(mm)
D _{f85}	filter korrelgrootte die door 15% van de korrels overschreden wordt	(mm)
D _{v15}	korrelgrootte van het inwas materiaal	(m)
g	versnelling van de zwaartekracht	(m/s ²)
H _i	energiehoogte op locatie i	(m)
i	verhang over het filter	(-)
i'	verhang over de toplaag	(-)
i _t	verhang over de toplaag	(-)
k	doorlatendheid van het filter	(mm/s)
k'	doorlatendheid van de toplaag	(mm/s)
k _{mik}	Nikuradse ruwheid van de spleetwand	(m)
L	lengte van blok	(m)
L'	afstand tussen de gaten in de lengte-richting van de blokken	(m)
n	porositeit	(-)
n _f	porositeit van het filter	(-)
n _v	porositeit van het inwas materiaal	(-)
Q	debiet	(m ³ /s)
q	specifiek debiet door de toplaag, debiet per eenheid van oppervlakte	(m/s)
R	stromingsweerstand	(s/m)
Re	Reynoldsgetal	(-)
r _{min}	afstand tot het hart van het spleetbegin waarbinnen de radiaire aanstroomweerstand niet meer aanwezig is	(m)
s	spleetbreedte	(mm)
T _g	dikte van het geotextiel (m)	

u_i	snellheid ter plaatse van doorsnede i	(m/s)
v_f	filtersnellheid = Q/A	(m/s)
v_i	snellheid op locatie i	(m/s)
ν	viscositeit van water bij temperatuur T	(m ² /s)
ϕ_i	stijghoogte op locatie i	(m)
ϕ_t	verval over de toplaag	(m)
$\phi_{\text{spleet, lin}}$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand langs de spleetwand	(m)
$\phi_{\text{spleet, turb}}$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand langs de spleetwand	(m)
$\phi_{\text{aanstroom, lin}}$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand in het filter door de contractie van de stroomlijnen naar de spleet	(m)
$\phi_{\text{aanstroom, turb}}$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand in het filter door de contractie van de stroomlijnen naar de spleet	(m)
$\phi_{\text{inwas, lin}}$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het inwasmateriaal in de spleet	(m)
$\phi_{\text{inwas, turb}}$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het inwasmateriaal in de spleet	(m)
$\phi_{\text{geotextiel, lin}}$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het geotextiel tussen toplaag en filter	(m)
$\phi_{\text{geotextiel, turb}}$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het geotextiel tussen toplaag en filter	(m)
$\phi_{\text{in/uit, lin}}$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand bij de stroming de spleet in en bij de stroming de spleet uit	(m)
$\phi_{\text{in/uit, turb}}$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand bij de stroming de spleet in en bij de stroming de spleet uit	(m)
Λ	lek lengte	(m)
Ω	relatief open oppervlak in de toplaag	(-)
ϕ_i	stijghoogte ter plaatse van doorsnede i	(m)
μ	contractiecoëfficiënt	(-)

Lijst van Figuren

- Figuur 1 Doorsneden van eerste modelopstellingen
- Figuur 2 Doorsneden van verbeterde modelopstelling
- Figuur 3 Doorsneden van opnieuw verbeterde modelopstelling
- Figuur 4 Doorsneden van modelopstelling van Smith en Klein Breteler (2000)
en Kuiper en Klein Breteler (2001)

I Inleiding

In het kader van een onderzoek naar de maatgevende doorlatendheid van steenzettingen heeft de Dienst Weg- en Waterbouwkunde aan WL | Delft Hydraulics opdracht gegeven voor het uitvoeren van metingen van de doorlatendheid van verschillende steenzettingen. Deze metingen zijn gerapporteerd in de volgende verslagen:

- Klein Breteler (1999): Doorlatendheidsmetingen van blokken op hun kant in de Deltagoot;
- Smith en Klein Breteler (2000): Doorlatendheid van gezette blokken op hun kant;
- Kuiper en Klein Breteler (2001): Doorlatendheidsmetingen steenzettingen.

Deze metingen hebben belangrijke afwijkingen aan het licht gebracht ten opzichte van de formules die in ANAMOS zijn ondergebracht. De formules in ANAMOS zijn gebaseerd op metingen uit het WL/GD verslag deel XVIII (1990), die toen vooral zijn uitgevoerd met relatief dunne toplagen en in een aantal gevallen met een minder verfijnde modelopstelling.

Gezien de afwijkingen tussen de metingen en berekeningen, en het belang van de doorlatendheid van de toplaag voor de stabiliteit van steenzettingen, is in het huidige verslag een nadere analyse gegeven van alle metingen. Er is vooral gewerkt aan de verbetering van de formules en zijn er aanbevelingen voor het gebruik van de formules opgesteld.

Het doel van deze verbeteringen is ervoor te zorgen dat de berekende resultaten van de toplaagdoorlatendheid bij zoveel mogelijk proeven minder dan 30% afwijkt van de gemeten toplaagdoorlatendheid. Gezien de grote gevoeligheid van de toplaagdoorlatendheid voor allerlei vrijwel onmeetbare details is het ondoenlijk om een grotere nauwkeurigheid na te streven. Ook bij de doorlatendheid van filtermateriaal is nooit een grotere nauwkeurigheid gerealiseerd.

2 Overzicht van de beschikbare metingen

Het eerste onderzoek naar de doorlatendheid van steenzettingen is uitgevoerd in de 80er jaren. Dat onderzoek is gerapporteerd in WL/GD (1990) en de formules die uit dat onderzoek volgden zijn opgenomen in ANAMOS (tot en met versie 2.21).

Ook toen bleek dit een weerbarstig onderwerp te zijn en is gaandeweg het onderzoek een steeds betere modelopstelling ontwikkeld, teneinde de doorlatendheid beter te kunnen meten. Het betrof eerst onderzoek in een geschematiseerde opstelling waarbij het water van opzij in een filterlaag stroomde en vervolgens verticaal omhoog door de toplaag. Dit is geschetst in figuur 1. In die tijd is ook onderzoek gedaan met een steenzetting op een rooster.

Later is een modelopstelling toegepast waarbij het water verticaal omhoog eerst door een filterlaag stroomde en daarna door de toplaag (figuur 2). Omdat dit onnauwkeurigheden gaf bij de blokken tegen de wand van de modelopstelling, is deze opstelling verder verfijnd tot de opstelling die in figuur 3 is getekend (WL/GD 1990).

Vanaf het einde van de 90er jaren groeide de belangstelling voor dikkere toplagen en ontstond het vermoeden dat de formules mogelijk niet geschikt zouden zijn voor toplagen met brede langsvogen of stootvogen. Dat leidde vanaf 1999 tot de uitvoering van drie onderzoeken. Het eerste onderzoek was gericht op het meten van de doorlatendheid van de toplaag van blokken op een kant in de Deltagoot (Klein Breteler 1999). Deze meting was in situ uitgevoerd met twee concentrische bakken zoals dat ook in het prototype wordt gedaan. Er wordt daarbij gemeten hoeveel water er uit de middelste bak door de steenzetting stroomt terwijl tegelijk het verval over de steenzetting wordt gemeten. De buitenste bak is bedoeld voor het verminderen van randeffecten.

In 2000 en 2001 is het onderzoek voortgezet met diverse dikke toplagen, al dan niet met brede stoot-, of langsvogen die al dan niet gevuld waren met inwasmateriaal (Smith en Klein Breteler 2000; Kuiper en Klein Breteler 2001). De modelopstelling was daarbij steeds zeer vergelijkbaar met het laatste onderzoek uit de 80er jaren (zie figuur 4).

De resultaten van alle proeven die in deze onderzoeken zijn uitgevoerd zijn weergegeven in tabel 1 en 2 (achterin dit verslag), behalve de drie proeven die in WL/GD (1990) als onbetrouwbaar zijn betiteld. In de tabellen is voor elke proef een kolom gebruikt en is in die kolom eerst een proefnummer vermeld en vervolgens de dikte (D), breedte (B) en lengte (L) van de gebruikte blokken. Als er geen proefnummer in het verslag WL/GD (1990) vermeld was, is het blz. nr. van het verslag vermeld.

Vervolgens is de gemeten breedte van de spleten vermeld, gesplitst in langsvogen en stootvogen, en de eigenschappen van het inwasmateriaal: porositeit (n_v) en korrelgrootte (D_{v15}) die door 15 gewichtsprocenten onderschreden wordt. Tevens is vermeld tot welk deel (in de hoogterichting) van de voegen gevuld is met inwasmateriaal. Dan volgt er informatie over de gaten, met eerst de gatafstand in de breedterichting van de blokken (B'), de gatafstand in de lengterichting (L') en het gatoppervlak (A_g). Daarna is informatie gegeven over de eigenschappen van het inwasmateriaal in het gat en de eigenschappen van het filter (n en D_{f15}).

Tijdens enkele proeven is er een geotextiel tussen de toplaag en het filter aangebracht om het uitspoelen van de filterkorrels te voorkomen. De doorlatendheid van dit geotextiel is weergegeven in de vorm van de lineaire en turbulente weerstandstermen A_g en B_g , beide vermenigvuldigd met de dikte van het geotextiel (T_g).

In het tweede blok met rijen zijn de gemeten waarden van de doorlatendheid van het filter en de toplaag gegeven. Voor zover bekend zijn zowel de Forchheimer coëfficiënten, a en b van het filter en a' en b' van de toplaag, als de gelineariseerde doorlatendheid, k en k' , gegeven.

Het derde blok bevat berekende resultaten, te beginnen met het percentage open oppervlak. Tevens is de berekende doorlatendheid van het filter, k , gegeven (gebaseerd op de korrelgrootte en de porositeit) en de berekende toplaagdoorlatendheid (k'). In de titel van de tabel staat aangegeven hoe de doorlatendheid van de toplaag berekend is.

Tenslotte zijn er drie blokken met getallen die in procenten aangeven hoe groot de verschillende weerstandscomponenten van de toplaag zijn volgens de berekeningen, verdeeld over het aandeel van de langsvoeegen, het aandeel van de stootvoegen en het aandeel van de gaten. Deze zijn berekend aan de hand van de weerstandstermen in de formules voor de doorlatendheid van de toplaag, en is vermenigvuldigd met het aandeel van het debiet dat respectievelijk door de langsvoeegen, de stootvoegen en de gaten stroomt.

In tabel 1 zijn de proeven opgenomen die zijn uitgevoerd met een voldoende nauwkeurige modelopstelling (zoals geschetst in figuur 3 en 4). In tabel 2 zijn de voor deze analyse minder geschikte proeven opgenomen. Deze betreffen de toplagen op een rooster en de metingen waarbij er van opzij in de filterlaag is gestroomd, waardoor het verval over de toplaag niet op alle plaatsen gelijk was (figuur 1). De waarde van de proeven voor deze analyse neemt in de tabellen van links naar rechts en van tabel 1 naar tabel 2 af.

In de tabellen is te zien dat er een groot verschil is tussen de gemeten toplaagdoorlatendheid en de berekende waarden.

3 Verbetering van de formules

3.1 Formules uit ANAMOS

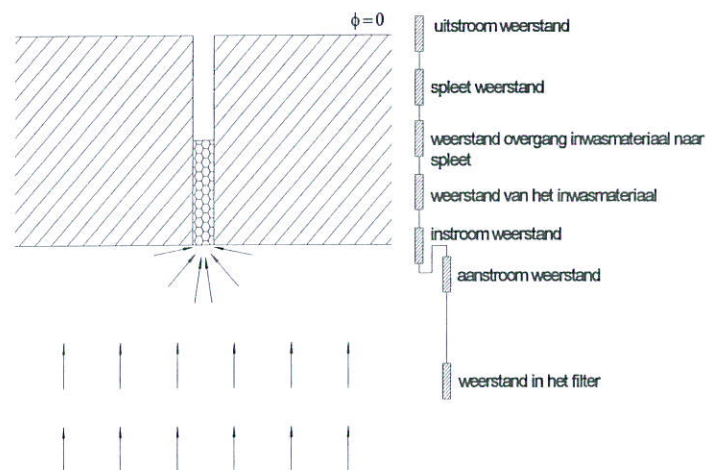
In ANAMOS zijn de formules opgenomen die gebaseerd zijn op theoretische beschouwingen en de metingen uit WL/GD (1990). De formules hebben de volgende algemene vorm:

- Algemene Forchheimer relatie: $i_t = \frac{\phi_t}{D} = a'q + b'q^2$ (1)

- Gelineariseerde doorlatendheid: $k' = \frac{-a' + \sqrt{(a')^2 + 4b'}}{2b'}$ (2)

met: i_t = verhang over de toplaag (-)
 ϕ_t = verval over de toplaag (m)
 q = specifiek debiet door de toplaag, debiet per eenheid van oppervlakte (m/s)
 D = dikte van de toplaag (m)
 a' = lineaire weerstandscoefficiënt van de toplaag (s/m)
 b' = turbulente weerstandscoefficiënt van de toplaag (s²/m²)
 k' = gelineariseerde doorlatendheid van de toplaag (debiet door de toplaag bij $i_t = 1$) (m/s)

De weerstandscoefficiënten kunnen opgebouwd worden gezien uit een aantal weerstandscomponenten, die ook getekend zijn in onderstaande figuur:



Figuur, schematisatie van de toplaag in weerstandscomponenten

Deze weerstandscomponenten zijn ook herkenbaar in de formules voor a' en b' :

$$a' = \frac{1}{qD} (\phi_{\text{spleet, lin}} + \phi_{\text{aanstroom, lin}} + \phi_{\text{inwas, lin}} + \phi_{\text{geotextiel, lin}}) \quad (3)$$

$$b' = \frac{1}{q^2 D} (\phi_{\text{spleet, turb}} + \phi_{\text{aanstroom, turb}} + \phi_{\text{inwas, turb}} + \phi_{\text{geotextiel, turb}} + \phi_{\text{in/uit, turb}}) \quad (4)$$

met:	$\phi_{\text{spleet, lin}} =$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand langs de spleetwand (m)
	$\phi_{\text{spleet, turb}} =$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand langs de spleetwand (m)
	$\phi_{\text{aanstroom, lin}} =$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand in het filter door de contractie van de stroomlijnen naar de spleet (m)
	$\phi_{\text{aanstroom, turb}} =$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand in het filter door de contractie van de stroomlijnen naar de spleet (m)
	$\phi_{\text{inwas, lin}} =$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het inwasmateriaal in de spleet (m)
	$\phi_{\text{inwas, turb}} =$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het inwasmateriaal in de spleet (m)
	$\phi_{\text{geotextiel, lin}} =$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het geotextiel tussen toplaag en filter (m)
	$\phi_{\text{geotextiel, turb}} =$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand van het geotextiel tussen toplaag en filter (m)
	$\phi_{\text{in/uit, lin}} =$	lineaire component van verval als gevolg van de stromingsweerstand bij de stroming de spleet in en bij de stroming de spleet uit (m)
	$\phi_{\text{in/uit, turb}} =$	turbulente component van verval als gevolg van de stromingsweerstand bij de stroming de spleet in en bij de stroming de spleet uit (m)

Het aandeel van deze weerstandscomponenten bij de uitgevoerde proeven is ook gegeven in de tabel 1 t/m tabel 11, in de vorm van het percentage van het totale dimensieloze verval over de toplaag. Voor het berekenen van het aandeel van deze vervalcomponenten zijn de afzonderlijke vervalcomponenten, $\phi_x/(qD)$ en $\phi_x/(q^2D)$, uit bovenstaande formule berekend. Deze berekening is uitgevoerd voor drie fictieve situaties, namelijk (zie formule 5 t/m 30):

- met alleen stootvoegen,
- met alleen langsvoegen,
- met alleen gaten in de bekleding.

Vervolgens is met deze vervalcomponenten de doorlatendheid bepaald voor de drie fictieve situaties: $k'_{\text{langsvoegen}}$, $k'_{\text{stootvoegen}}$ en k'_{gaten} . Tenslotte is met deze drie doorlatendheden de

totale doorlatendheid van de steenzetting berekend (zie paragraaf 3.2): k' . Met deze rekenresultaten kan het aandeel van elke vervalcomponent bepaald worden, rekening houdend met het aandeel van de lineaire vervalcomponenten ten opzichte van de turbulente vervalcomponenten, bijvoorbeeld voor een lineaire vervalcomponent van de langsvoeegen:

$aandeel = (aandeel\ vervalcomponent\ t.o.v.\ a'_{langsvoeegen}) \cdot (aandeel\ a'_{langsvoeegen}\ t.o.v.\ totale\ weerstand\ langsvoeegen) \cdot (aandeel\ debiet\ door\ langsvoeegen\ t.o.v.\ totaal) \cdot 100\%$

$$aandeel = \left(\frac{\left(\frac{\phi_x}{qD} \right)}{a'_{langsvoeegen}} \right) \cdot (aandeel\ a') \left[\frac{debiet\ door\ langsvoeegen}{totaal\ debiet} \right]_{i=1} \cdot 100\% \Rightarrow \quad (5)$$

$$aandeel = \left(\frac{\left(\frac{\phi_x}{qD} \right)}{a'_{langsvoeegen}} \right) \cdot \left(\frac{a'_{langsvoeegen}}{a'_{langsvoeegen} + b'_{langsvoeegen} k'_{langsvoeegen}} \right) \left(\frac{k'_{langsvoeegen}}{k'} \right) \cdot 100\% \quad (6)$$

met: $\phi_x/(qD)$ = Afzonderlijke vervalcomponent, in dit voorbeeld een lineaire component van de langsvoeegen (s/m)

$a'_{langsvoeegen}$ = Lineaire vervalcomponent van de langsvoeegen (als stootvoegen en gaten dicht gedacht zijn) (s/m)

$k'_{langsvoeegen}$ = Doorlatendheid van de toplaag als de stootvoegen en gaten dicht zouden zijn (m/s)

Voor elk van de vervalcomponenten zijn er formules afgeleid die opgenomen zijn in ANAMOS (tot en met versie 2.21):

$$\frac{\phi_{spleet,lin}}{qD} = \frac{12\nu}{gs^2\Omega} \quad \text{mits } Re = qs/(\Omega\nu) < 2000 \text{ met } q = k' \quad (7)$$

$$\frac{\phi_{spleet,lin}}{qD} = 0 \quad \text{mits } Re = qs/(\Omega\nu) > 2000 \text{ met } q = k' \quad (8)$$

$$\frac{\phi_{spleet,turb}}{q^2 D} = 0 \quad \text{mits } Re = qs/(\Omega\nu) < 2000 \text{ met } q = k' \quad (9)$$

$$\frac{\phi_{spleet,turb}}{q^2 D} = \frac{2}{s\Omega^2 C^2} \quad \text{mits } Re = qs/(\Omega\nu) > 2000 \text{ met } q = k' \text{ en } C = 18\log(6s/k_{nik}) \quad (10)$$

$$\frac{\phi_{aanstroom,lin}}{qD} = \frac{sa_f}{\pi\Omega D} \ln\left(\frac{s}{\pi e\Omega r_{min}}\right) \quad \text{met } r_{min} = \max\{D_{f15}/2; 0,4s\} \quad (11)$$

$$\frac{\phi_{aanstroom,turb}}{q^2 D} = \frac{sb_f}{\pi\Omega D} \left(\frac{s}{\pi\Omega r_{min}} - 2 \right) \quad \text{met } r_{min} = \max\{ D_{f15}/2 ; 0,4s \} \quad (12)$$

$$\frac{\phi_{inwas,lin}}{qD} = \frac{a_v c_{vul}}{\Omega} \quad \text{ANAMOS: } c_{vul} = 0,5 \quad (13)$$

$$\frac{\phi_{inwas,turb}}{q^2 D} = \frac{b_v c_{vul}}{\Omega^2} \quad \text{ANAMOS: } c_{vul} = 0,5 \quad (14)$$

$$\frac{\phi_{geotextiel,lin}}{qD} = \frac{a_g T_g}{\Omega D} \quad (15)$$

$$\frac{\phi_{geotextiel,turb}}{q^2 D} = \frac{b_g T_g}{\Omega^2 D} \quad (16)$$

$$\frac{\phi_{in/uit,lin}}{qD} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\phi_{in/uit,turb}}{q^2 D} = \frac{1}{2g\Omega^2 D} \left(\left(\frac{1}{n} - 1 \right)^2 + 1 \right) \quad (18)$$

- met:
- v = viscositeit van water (m²/s)
 - g = zwaartekracht versnelling (m/s²)
 - Ω = relatief open oppervlak in de toplaag (-)
 - s = spleetbreedte (m)
 - C = coëfficiënt van Chezy (m^{0,5}/s)
 - k_{nik} = Nikuradse ruwheid van de spleetwand (m)
 - a_f = lineaire weerstandscoefficiënt van het filter (s/m)
 - b_f = turbulente weerstandscoefficiënt van het filter (s²/m²)
 - a_v = lineaire weerstandscoefficiënt van het inwasmateriaal (s/m)
 - b_v = turbulente weerstandscoefficiënt van het inwasmateriaal (s²/m²)
 - a_g = lineaire weerstandscoefficiënt van het geotextiel (s/m)
 - b_g = turbulente weerstandscoefficiënt van het geotextiel (s²/m²)
 - T_g = dikte van het geotextiel (m)
 - r_{min} = afstand tot het hart van het spleetbegin waarbinnen de radiaire aanstroomweerstand niet meer aanwezig is (m)
 - c_{vul} = deel van de spleethoogte die gevuld is met inwasmateriaal (-)
 - n = porositeit van het filter (-)
 - Re = Reynoldsgetal (-)

De afleiding van deze formules is gegeven in WL/GD (1990).

Als er sprake is van stootvoegen en langsvoegen met een verschillende spleetbreedte, dan wordt in ANAMOS de doorlatendheid berekend met de gemiddelde spleetbreedte (gewogen gemiddelde rekening houdend met lengte van de spleten).

Als er sprake is van gaten en spleten, dan wordt de doorlatendheid in ANAMOS als volgt berekend:

$$k' = k'_{\text{alleen spleten}} + k'_{\text{alleen gaten}} - \min\{k'_{\text{alleen spleten}}; k'_{\text{alleen gaten}}\} \quad (20)$$

met: $k'_{\text{alleen spleten}} =$ doorlatendheid van de toplaag als of er geen gaten zijn (m/s)

$k'_{\text{alleen gaten}} =$ doorlatendheid van de toplaag als of er geen spleten zijn (m/s)

Voor het berekenen van $k'_{\text{alleen gaten}}$ worden de volgende formules gebruikt:

$$a' = \frac{1}{qD} (\phi_{\text{gat},\text{lin}} + \phi_{\text{aanstroom},\text{lin}} + \phi_{\text{inwas},\text{lin}} + \phi_{\text{geotextiel},\text{lin}}) \quad (21)$$

$$b' = \frac{1}{q^2 D} (\phi_{\text{gat},\text{turb}} + \phi_{\text{aanstroom},\text{turb}} + \phi_{\text{inwas},\text{turb}} + \phi_{\text{geotextiel},\text{turb}} + \phi_{\text{in/uit},\text{turb}}) \quad (22)$$

$$\frac{\phi_{\text{gat},\text{lin}}}{qD} = \frac{2\nu}{gR^2\Omega} \quad \text{mits } Re = qR/(\Omega\nu) < 1000 \text{ met } q = k' \quad (23)$$

$$\frac{\phi_{\text{gat},\text{lin}}}{qD} = 0 \quad \text{mits } Re = qR/(\Omega\nu) > 1000 \text{ met } q = k' \quad (24)$$

$$\frac{\phi_{\text{gat},\text{turb}}}{q^2 D} = 0 \quad \text{mits } Re = qR/(\Omega\nu) < 1000 \text{ met } q = k' \quad (25)$$

$$\frac{\phi_{\text{gat},\text{turb}}}{q^2 D} = \frac{1}{R\Omega^2 C^2} \quad \text{mits } Re = qR/(\Omega\nu) > 1000 \text{ met } q = k' \text{ en } C = 18\log(12R/k_{\text{mik}}) \quad (26)$$

$$\frac{\phi_{\text{aanstroom},\text{lin}}}{qD} = \frac{a_f}{D} \sqrt{\frac{B' L'}{4\pi}} \left(\sqrt{\frac{B' L'}{4\pi r_{\text{min}}^2}} - 2 \right) \quad \text{met } r_{\text{min}} = \max\{D_{f15}/2; 0,4\sqrt{A_g}\} \quad (27)$$

$$\frac{\phi_{\text{aanstroom},\text{turb}}}{q^2 D} = \frac{b_f}{D} \sqrt{\frac{B' L'}{4\pi}} \left(3 \left(\frac{B' L'}{4\pi r_{\text{min}}^2} \right)^{1,5} - 4 \right) \quad \text{met } r_{\text{min}} = \max\{D_{f15}/2; 0,4\sqrt{A_g}\} \quad (28)$$

$$\frac{\phi_{\text{inwas},\text{lin}}}{qD} = \frac{a_v c_{\text{vul}}}{\Omega} \quad \text{ANAMOS: } c_{\text{vul}} = 0,5 \quad (29)$$

$$\frac{\phi_{\text{inwas},\text{turb}}}{q^2 D} = \frac{b_v c_{\text{vul}}}{\Omega^2} \quad \text{ANAMOS: } c_{\text{vul}} = 0,5 \quad (30)$$

$$\frac{\phi_{geotextiel,lin}}{qD} = \frac{a_g T_g}{\Omega D} \tag{31}$$

$$\frac{\phi_{geotextiel,turb}}{q^2 D} = \frac{b_g T_g}{\Omega^2 D} \tag{32}$$

$$\frac{\phi_{in/uit,lin}}{qD} = 0 \tag{33}$$

$$\frac{\phi_{in/uit,turb}}{q^2 D} = \frac{1}{2g\Omega^2 D} \left(\left(\frac{1}{n} - 1 \right)^2 + 1 \right) \tag{34}$$

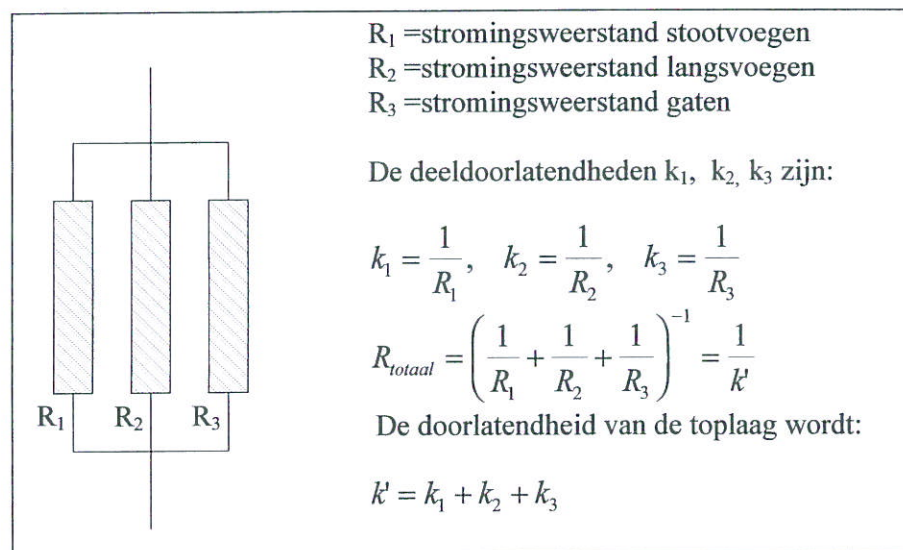
- met: A_g = gatoppervlak van één gat (m²)
 B' = afstand tussen de gaten in de breedte-richting van de blokken (m)
 L' = afstand tussen de gaten in de lengte-richting van de blokken (m)

In onderstaande paragrafen worden enkele formules nader beschouwd om te zien in hoeverre ze verbeterd kunnen worden.

3.2 Sommatie van doorlatendheidscomponenten

Zoals in de vorige paragraaf reeds aangegeven is, wordt er in ANAMOS gerekend met een gemiddelde spleetbreedte en wordt er in geval van gaten en spleten gewerkt met de volgende formule:

$$k' = k'_{\text{alleen spleten}} + k'_{\text{alleen gaten}} - \min\{k'_{\text{alleen spleten}}; k'_{\text{alleen gaten}}\} \tag{35}$$



Figuur, optelling van doorlatendheidscomponenten

Dit kan verbeterd worden door de doorlatendheid van de stootvoegen en de langsvoegen apart te berekenen, en vervolgens de berekende doorlatendheden gewoon te sommeren:

$$k' = k'_{\text{langsvoegen}} + k'_{\text{stootvoegen}} + k'_{\text{gaten}} \quad (36)$$

In bovenstaande figuur is uitgelegd waarom de drie doorlatendheidscomponenten gewoon opgeteld kunnen worden.

Deze verbetering was reeds gesuggereerd door Kuiper en Klein Breteler (2001).

Met deze verbeterde sommatie is de doorlatendheid berekend in tabel 1 en tabel 2.

In tabel 1 is te zien dat de weerstand van de spleetwand volgens de berekeningen een belangrijke bijdrage geeft in de proeven 2b, 4a, 4ah, 1, 2, 3, 5, Deltagoot en B1. De aanstroomweerstand heeft een belangrijke bijdrage bij de proeven 2a, 5a, 4, T1, T2, Basalton, B2, B3, B4 en B5. De in/uitstroomweerstand heeft een belangrijke bijdrage bij de proeven 2a, 5a, 2, 3, 4, 5 en Basalton. De inwassing heeft een belangrijke bijdrage bij de proeven 1a, 1b, 2b, 3a, 4a, 4ah, 6a en 6b. Het geotextiel was zo doorlatend dat het in geen van de proeven een belangrijke invloed had. Opmerkelijk is dat de gaten alleen een belangrijke invloed hadden bij proef 5.

3.3 Berekeningen op basis van gemeten filterdoorlatendheid

In tabel 3 zijn de berekende waarden van de doorlatendheid van de toplaag gegeven die bepaald zijn op basis van de gemeten doorlatendheid van het filter. Voor de verdere analyse wordt de voorkeur gegeven aan deze resultaten, omdat de verschillen tussen de gemeten en berekende toplaagdoorlatendheid niet beïnvloed wordt door onnauwkeurigheden in de berekende doorlatendheid van het filter.

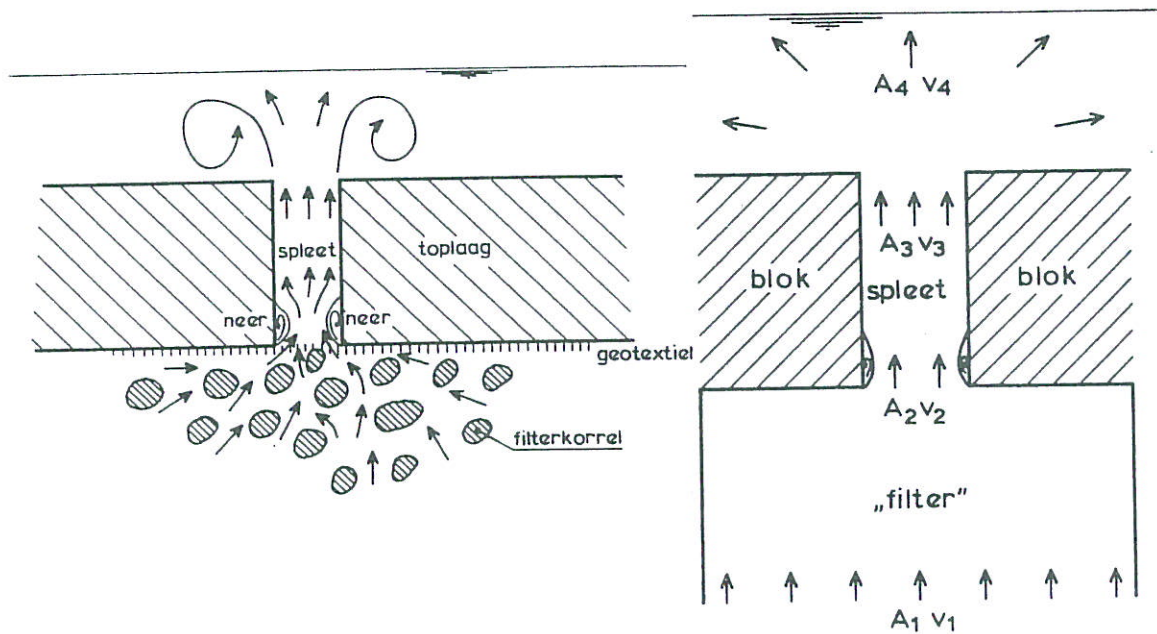
In sommige onderzoeksverslagen was alleen de k van het filter vermeld, en niet de a_f en b_f . In dat geval zijn de berekeningen uitgevoerd met aangepaste waarden van D_{f15} en n ten einde berekende waarden van a_f en b_f te verkrijgen die overeenstemmen met de gemeten waarden van k .

De berekende k' in tabel 3 is vooral verschillend van die in tabel 1 voor proef T1, T2, Basalton en B2 t/m B5 (zie ook de overzichtstabel 12). Bij bijna al deze proeven is het verschil tussen de gemeten en de berekende k' toegenomen.

Bij Proef T1, T2, Basalton, B2 en B3 is het aandeel van de aanstroomweerstand aanzienlijk toegenomen.

3.4 In- en uitstroomweerstand

In WL/GD (1990) is een afleiding gegeven van de stromingsweerstand die ontstaat doordat het water de smalle spleet in moet stromen, waarbij neren op de hoeken onderin de spleet een stromingsweerstand veroorzaken, en de stromingsweerstand die ontstaat als het water de spleet uitstroomt. Dit is geschetst in onderstaande figuren:



Figuur, stromingsweerstand die gepaard gaat met de neren onderin de spleet en de uitstroming boven de spleet

De afleiding laat zien dat er nog geen verlies aan energiehoogte is bij de stroming van A_1 naar A_2 , waardoor de verandering in de stijghoogte tussen deze twee punten berekend kan worden met de wet van Bernoulli. Het feit dat hier de stroomsnelheid aanzienlijk toeneemt, betekent dat de stijghoogte aanzienlijk afneemt:

$$\phi_1 + \frac{u_1^2}{2g} = \phi_2 + \frac{u_2^2}{2g} \quad (37)$$

Vervolgens treedt er energieverlies op van doorsnede A_2 naar A_3 , hetgeen in WL/GD (1990) berekend is met behulp van de wet van behoud van impuls (Carnot).

Bij de nadere analyse van de stroming van doorsnede A_1 naar A_3 wordt er thans aan getwijfeld of de stromingsweerstand inderdaad gedomineerd wordt door het feit dat het water rond de scherpe hoeken van de blokken bij de spleetingang moet stromen. Als er geen filter zou zijn geweest, dan is het plausibel om dit aan te nemen, maar vanwege de aanwezigheid van de filterkorrels is dit minder evident. Het water moet immers door het filter al langs de diverse korrels stromen en gaat daarbij in de buurt van de spleetingang al veelvuldig langs scherpe randen (van de filterkorrels). De stroming rond de hoeken van de blokken bij de spleetingang kan daardoor gezien worden als één van de vele scherpe randen waar de stroming langs gaat en waar er een stromingsweerstand ontstaat. Met dit in gedachte is het minder logisch om de stromingsweerstand bij de blokranden expliciet in de formules op te nemen. Er wordt thans aanbevolen om alleen rekening te houden met het verval dat samenhangt met het stromen van het water uit het filter, waarbij het doorstroomprofiel verwijdt van nA_3 (stroming tussen de korrels) naar A_3 (vrije stroming in de spleet).

Voor het kwantificeren van deze stromingsweerstand kan bij benadering gebruik gemaakt worden van de formules van Carnot voor een plotselinge verwijding, omdat het verschil tussen de stromingsweerstand bij een plotselinge verwijding en een met bijvoorbeeld een uitstroomhoek van 45° gering is:

$$H_{filter} - H_{spleet} = \frac{(u_{filter} - u_{spleet})^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_{filter}}{A_{spleet}}\right)^2 \frac{u_{filter}^2}{2g} \quad (38)$$

met: H_{filter} = energiehogte tussen de bovenste korrels onder de spleet (m)
 H_{spleet} = energiehogte onderin de spleet (m)
 A_{filter} = doorstroomprofiel tussen de bovenste korrels onder de spleet (m²)
 A_{spleet} = doorstroomprofiel onderin de spleet (m²)
 u_{filter} = snelheid tussen de bovenste korrels onder de spleet (m/s)
 u_{spleet} = snelheid onderin de spleet (m/s)

De verhouding tussen de doorstroomprofielen is:

$$\frac{A_{filter}}{A_{spleet}} = n \quad (39)$$

met: n = porositeit (-)

Voor de energiehogte geldt:

$$H_{filter} = \phi_{filter} + \frac{u_{filter}^2}{2g} \quad (40)$$

$$H_{spleet} = \phi_{spleet} + \frac{u_{spleet}^2}{2g} \quad (41)$$

met: ϕ_{filter} = stijghogte tussen de bovenste korrels onder de spleet (m)
 ϕ_{spleet} = stijghogte onderin de spleet (m)

Substitutie van bovenstaande formules geeft:

$$\phi_{filter} + \frac{u_{filter}^2}{2g} - \phi_{spleet} - \frac{u_{spleet}^2}{2g} = (1 - n)^2 \frac{u_{filter}^2}{2g} \quad (42)$$

Met gebruik van $q = u_{spleet}\Omega = u_{filter}\Omega n$ geeft dit voor het instroomverval de volgende formule:

$$\phi_{filter} - \phi_{spleet} = \frac{q^2}{2g} \left(\frac{2}{\Omega^2} - \frac{2}{n\Omega^2} \right) \Rightarrow \quad (43)$$

$$\frac{\phi_{\text{filter}} - \phi_{\text{spleet}}}{q^2 D} = \frac{1}{2g\Omega^2 D} \left(2 - \frac{2}{n} \right) \quad (44)$$

met: n = porositeit van het inwasmateriaal, of van filter als er geen inwasmateriaal is (-)

Hoewel er altijd sprake is van een energieverlies bij een verwijding ($H_{\text{filter}} - H_{\text{spleet}} > 0$) is het verval hier negatief ($\phi_{\text{in}} < 0$) door de verandering van de snelheidhoogte ($u^2/2g$).

Gezien het feit dat hier de vervalcomponent gekwantificeerd is die samenhangt met de stroming uit het filter in de open spleet, treedt deze weerstand ook op bij een gedeeltelijk gevulde spleet ter plaatse van de bovenkant van het inwasmateriaal. Als er inwasmateriaal aanwezig is, moet de porositeit van dat inwasmateriaal in de formule gebruikt worden.

Naast het boven beschreven negatieve verval is er nog het positief verval van doorsnede A_1 naar de doorsnede A_2 onderaan de spleet (nog net in het filter). Dit kan worden berekend met de formules van Bernoulli:

$$\phi_1 + \frac{u_1^2}{2g} = \phi_2 + \frac{u_2^2}{2g} \quad (45)$$

Met $q = u_1 n = u_2 \Omega n_f$ (met: n_f = porositeit van het filter) geeft dit:

$$\frac{\phi_1 - \phi_2}{q^2 D} = \frac{1}{2g n_f^2 D} \left(\frac{1}{\Omega^2} - 1 \right) \quad (46)$$

De totale instroomweerstand wordt hiermee:

$$\frac{\phi_{\text{in}}}{q^2 D} = \frac{1}{g\Omega^2 D} \left(1 - \frac{1}{n_v} + \frac{1}{2n_f^2} - \frac{\Omega^2}{2n_f^2} \right) \quad (47)$$

met: n_v = porositeit van het inwasmateriaal, of van filter als er geen inwasmateriaal is (-)
 n_f = porositeit van het filter (-)

Van doorsnede A_3 naar A_4 neemt het doorstroomprofiel weer aanzienlijk toe en is er weer sprake van energieverlies. De watersnelheid neemt hier aanzienlijk af, waardoor de stijghoogte toe kan nemen, afhankelijk van de mate waarin er verlies aan energiehoogte optreedt.

In de afleiding in WL/GD (1990) is ter vereenvoudiging gesteld dat alle bewegingsenergie gedissipeerd wordt bij de uitstroming, waardoor gesteld kon worden dat de stijghoogte in de spleet gelijk is aan de stijghoogte boven de bekleding ($\phi_3 = \phi_4$). In werkelijkheid is dit echter niet helemaal juist en onderstaand zal de toename van de stijghoogte gekwantificeerd worden (negatief verval).

Als het water de spleet verlaat, is er sprake van een sterke verwijding van het doorstroomprofiel, namelijk:

$$A_3/A_4 = \Omega$$

Bij een plotselinge verwijding van het doorstroomprofiel geldt de regel van Carnot:

$$H_3 - H_4 = \frac{(u_3 - u_4)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_3}{A_4}\right)^2 \frac{u_3^2}{2g} \quad (48)$$

met: H_3 = energiehogte ter plaatse van doorsnede 3 (m)
 H_4 = energiehogte ter plaatse van doorsnede 4 (m)
 A_3 = doorstroomprofiel ter plaatse van doorsnede 3 (m²)
 A_4 = doorstroomprofiel ter plaatse van doorsnede 4 (m²)
 u_3 = snelheid ter plaatse van doorsnede 3 (m/s)
 u_4 = snelheid ter plaatse van doorsnede 4 (m/s)

Voor de energiehogte geldt:

$$H_3 = \phi_3 + \frac{u_3^2}{2g} \quad (49)$$

$$H_4 = \phi_4 + \frac{u_4^2}{2g} \quad (50)$$

met: ϕ_3 = stijghogte ter plaatse van doorsnede 3 (m)
 ϕ_4 = stijghogte ter plaatse van doorsnede 4 (m)

Substitutie van bovenstaande formules geeft:

$$\phi_3 + \frac{u_3^2}{2g} - \phi_4 - \frac{u_4^2}{2g} = (1 - \Omega)^2 \frac{u_3^2}{2g} \quad (51)$$

Met gebruik van $q = u_4 = u_3\Omega$ geeft dit voor het uitstroomverval de volgende formule:

$$\phi_{uit} = \frac{q^2}{2g} \left(2 - \frac{2}{\Omega}\right) \Rightarrow \quad (52)$$

$$\frac{\phi_{uit}}{q^2 D} = \frac{1}{gD} \left(1 - \frac{1}{\Omega}\right) \quad (53)$$

Dit verval heeft een negatieve waarde.

Opgemerkt moet worden dat de formules weliswaar anders zijn dan in ANAMOS, maar dat de som van ϕ_{in} en ϕ_{uit} volgens bovenstaande nieuwe formules ongeveer overeenkomt met het resultaat met de oude formules uit ANAMOS.

In tabel 4 zijn alle proefresultaten nog eens nagerekend met deze nieuwe formule voor de in- en uitstroomweerstand. Het blijkt dat alleen de toplaag van proef 5a een iets grotere berekende doorlatendheid krijgt.

In onderstaande tabellen zijn de resultaten van de detailmetingen van de stijghoogte in de spleet vergeleken met berekeningen. Steeds is het percentage gegeven dat een bepaald verval uitmaakt ten opzichte van het totale verval over de toplaag, waarmee zicht is gegeven op de grootte van de verschillende weerstandscomponenten.

Bij het vergelijken van de percentages moet ook meegewogen worden wat het aandeel is van de betreffende voegen. Daardoor is het grote verschil tussen de instroom+uitstroomvervallen bij de langsvoegen van proef 2a minder relevant.

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
instroom+aanstroom	4	1	3	3	2	2	16	40 à 45
overgang inwas/spleet	3	-	-	-	3	-	-	-
uitstroom	0	1	-1	-4	-1	-4	-4	-2 à 1

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
instroom+aanstroom	2	0	48	-1	0	1	26	40 à 45
overgang inwas/spleet	-	-	-	-6	-	3	-	-
uitstroom	-1	1	-9	0	-1	0	-1	-2 à 1

Tabel, Gemeten vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
aandeel langsvoegen	87	83	9	36	91	41	47	50
instroom+aanstroom	3	1	2	8	4	9	31	42
overgang inwas/spleet	0	-	-	-	0	-	-	-
uitstroom	0	0	0	0	0	0	0	0

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
aandeel stootvoegen	12	16	88	62	9	58	53	50
instroom+aanstroom	4	5	85	2	3	2	48	42
overgang inwas/spleet	-	-	-	0	-	0	-	-
uitstroom	0	0	-1	0	0	0	0	0

Tabel, Berekende vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

Uit tabel 4 blijkt dat de berekende doorlatendheid veel kleiner is dan de gemeten doorlatendheid, m.a.w.: de berekende stromingsweerstand (verval) is veel te groot. Als dit

veroorzaakt zou zijn door een overschatting van het verval bij de instroming en uitstroming, dan zouden bovenstaande berekende percentages véél groter zijn dan de gemeten percentages. Dit blijkt het geval te zijn bij proef 2a, 5a en in mindere mate in h4a. Bij de andere proeven zijn de gemeten waarden en de berekende waarden beide vrij klein (proef 1a, 1b, 2b, 3a en 4a), of van dezelfde orde van grootte (proef T1/T2).

Hieruit blijkt dat in de meeste proeven de stromingsweerstand van de instroming en uitstroming in gelijke mate overschat wordt als de andere componenten, terwijl in slechts sommige proeven juist vooral de stromingsweerstand van de in- of aanstroomweerstand te groot is. Daardoor is het gewenst om ook te zoeken naar verantwoorde mogelijkheden om de stromingsweerstand van de instroming en uitstroming in de formules te verkleinen.

De keuze van de grootte van de porositeit geeft hier aanleiding toe. In bovenstaande berekeningen is steeds aangenomen dat de porositeit van het filter nabij de spleet gelijk is aan die op grote afstand van de spleet. Het is echter te verwachten dat de porositeit tegen de blokken beduidend groter is dan elders, als gevolg van het randeffect. Op basis van deze redenering wordt aanbevolen om de instroomweerstand te berekenen met een vergrote porositeit van het filter, namelijk $n = 0,6$ (arbitraire schatting).

In tabel 5 zijn de proeven nagerekend met de formules waarin ook de gewijzigde porositeit is verwerkt (zie ook de overzichtstabel 12). We zien nu dat het aandeel van de in- en uitstroomweerstand voor alle proeven klein is ten opzichte van andere weerstandscomponenten. Het grootste aandeel zien we bij Basalton (23%) en proef 4 (18%), terwijl dat bij die proeven respectievelijk 40% en 33% was.

Ook bij proef 5a is een belangrijke verandering te zien. Het aandeel van de in- en uitstroomweerstand is gedaald van 41% naar 10%, maar de doorlatendheid van de toplaag is gedaald van 26 mm/s naar 23 mm/s, terwijl we een stijging zouden verwachten! Dit verrassende resultaat is een gevolg van de wijze waarop de stromingsweerstand van de spleetwand wordt berekend.

Voor het berekenen van de stromingsweerstand van de spleetwand wordt eerst aangenomen dat er een laminaire stroming in de spleet is en wordt daarmee een voorlopige waarde van de toplaagdoorlatendheid berekend. Met die voorlopige waarde wordt het Reynoldsgetal bepaald om te kunnen beoordelen of het terecht was dat er gerekend is met een laminaire stroming. Als dat niet terecht blijkt te zijn, wordt de definitieve toplaagdoorlatendheid berekend met een turbulente stroming in de spleet. De formules voor laminaire stroming en turbulente stroming sluiten echter niet op elkaar aan (er is een discontinuïteit). Daardoor kan het voorkomen dat een kleine wijziging in de spleetbreedte een grote verandering van de toplaagdoorlatendheid geeft.

Bij het wijzigen van de formules van de in- en uitstroomweerstand is de stroming in de spleet bij proef 5a en 2 volgens de formules overgegaan van laminair naar turbulent, waardoor de stromingsweerstand in de spleet aanzienlijk toenam. In de volgende paragraaf zal hier verder aandacht aan besteed worden.

3.5 Stromingsweerstand door spleetwand

De stromingsweerstand in de spleet wordt beïnvloed door de ruwheid van de spleetwand als de stroming turbulent is. De ruwheid is in de formules aangenomen op $k_{\text{nik}} = 0,5$ mm, hetgeen volgens de literatuur overeen komt met glad afgestreeken beton. Gezien het feit dat

de doorlatendheid door de formules wordt onderschat in de proeven waarbij de turbulente stromingsweerstand van de spleetwand een belangrijke rol speelt, is er iets voor te zeggen om de ruwheid wat lager te kiezen. Dit is het geval bij proef 5a, 2, 3 en Basalton (en de gatwand van proef 5). Bovendien zal dan de discontinuïteit van laminaire stroming naar turbulente stroming wat kleiner worden (zie vorige paragraaf).

In tabel 6 zijn de berekende resultaten gepresenteerd waarbij de ruwheid verkleind is naar $k_{\text{mik}} = 0,1$ mm. Ten opzichte van tabel 5 is te zien dat de toplaagdoorlatendheid van proef 5a, 2 en 3 duidelijk is toegenomen.

Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven, verdient de overgang van laminaire naar turbulente stroming in de spleet ook aandacht. Met in gedachten dat de spleetweerstand vooral belangrijk is als de spleet smal is en er dus laminaire stroming optreedt, is er in ANAMOS voor gekozen om de grootte van het Reynolds-getal te bepalen met de aanname dat er laminaire stroming optreedt. Dit kan echter tot fouten leiden.

Er zijn echter probleemgevallen waarbij het Reynolds-getal groter is dan 2000 als er laminaire stroming wordt aangenomen, en kleiner is dan 2000 als er turbulente stroming wordt aangenomen (in gaten bij $Re = 1000$). Dit maakt het daardoor moeilijk om een keuze te maken.

Volgens de literatuur is het Reynolds-getal niet de enige parameter die bepalend is voor het type stroming. Ergens tussen $Re = 2000$ en $Re = 20000$ wordt waargenomen dat er een overgang is van laminaire stroming naar turbulente stroming. Het moment van de overgang wordt mede bepaald door allerlei overige bijzondere omstandigheden, zoals de aanwezigheid van aanleidingen tot de vorming van turbulentie. Omdat de stroming vanuit het filter langs blokranden de spleet inkomt, is in WL/GD (1990) aangenomen dat de overgang al bij een relatief laag Reynolds-getal plaatsvindt. Thans wordt voorgesteld de overgang bij een hoger Reynoldsgetal te leggen.

In tabel 7 zijn de berekende resultaten gegeven waarbij de overgang van laminaire stroming naar turbulente stroming in de spleet is gelegd bij $Re = 5000$ (gaten: $Re = 2500$) (zie ook de overzichtstabel 12). In vergelijking tot tabel 6 is te zien dat de berekende k' is toegenomen bij proef 5a, 2, 3 en 5. Bij die proeven is het aandeel van de spleetweerstand ook aanzienlijk afgenomen. Bij proef 5 is de verandering van de berekende k' een gevolg van de vermindering van de stromingsweerstand in het gat.

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
gemeten	-1	-	7	37	0	43	35	4 à 5
berekend	0	-	8	36	0	40	26	4

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
gemeten	11	15	50	-0	10	-1	27	4 à 5
berekend	12	16	3	0	9	0	3	4

Tabel, Gemeten en berekende vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

In bovenstaande tabel zijn de gemeten en berekende vervallen in de spleten als percentage van het totale verval over de toplaag gegeven (gewogen naar het berekende aandeel van het debiet door de langsvoeegen en de stootvoegen).

Uit de tabel blijkt dat in de meeste gevallen de gemeten en berekende waarden mooi overeenstemmen. Alleen bij de stootvoegen van proef 2a en 5a is er een groot verschil tussen de meting en de berekening. Dit grote verschil was ook al in tabel 5 aanwezig (zonder de aanpassing van de berekende spleetweerstand). Bij deze proeven zijn de gemeten waarden en berekende waarde in de langsvoeegen veel minder verschillend.

Het is niet duidelijk waarom de stootvoegen van proef 2a en 5a zo afwijken, maar een deel van de verklaring zal gelegen zijn in een overschatting van de andere weerstandcomponent die in deze proeven een significante tot overheersende invloed heeft: de aanstroomweerstand.. Op die invloed wordt in paragraaf 3.7 nader ingegaan.

3.6 Stromingsweerstand inwasmateriaal

Bij de proeven die uitgevoerd zijn met een inwasmateriaal in de spleten blijkt dat de stromingsweerstand hiervan veruit dominant is t.o.v. de andere stromingsweerstand, en dat met deze stromingsweerstand de gemeten k' onderschat worden. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de proeven 1a, 2a, 3a (langsvoeegen), 2b, 4a, 4ah (stootvoegen), 6a en 6b.

De stromingsweerstand van het inwasmateriaal wordt berekend met de doorlatendheidsrelatie van Forchheimer met coëfficiënten die afgeleid zijn in WL/GD (1990) op basis van een aantal proeven:

$$a_v = \frac{160v(1 - n_v)^2}{gn_v^3 D_{v15}^2} \quad (54)$$

$$b_v = \frac{2,2}{gn_v^2 D_{v15}} \quad (55)$$

met: n_v = porositeit van het inwas materiaal (-)
 D_{v15} = korrelgrootte van het inwas materiaal (m)

Bij die analyse was het opvallend dat het erg moeilijk was om voor de turbulente doorlatendheidscoëfficiënt, b_v , een geschikte relatie te vinden voor de invloed van de porositeit. Op basis van de beschikbare metingen was het mogelijk om zowel een evenredigheid met n^{-2} te kiezen als een met n^{-5} . Uiteindelijk is gekozen voor een evenredigheid met n^{-2} . Dit heeft echter als consequentie gehad dat bij een grote porositeit (zoals gebruikelijk bij inwasmateriaal) de doorlatendheid kleiner is dan wanneer gekozen was voor n^{-5} .

Wellicht was de keuze van destijds achteraf gezien toch minder gelukkig en zou er gekozen moeten worden voor een evenredigheid met n^{-5} , zoals ook in de aloude formule van Cohen de Lara:

$$b_v = \frac{0,14}{gn_v^5 D_{v15}} \quad (56)$$

De coëfficiënt 0,14 was reeds voorgesteld in WL/GD (1990) voor het geval gekozen zou worden voor de evenredigheid met n^{-5} .

In tabel 8 zijn de met deze andere doorlatendheidscoëfficiënt berekende toplaag-doorlatendheden gegeven. Ten opzichte van tabel 7 zijn de berekende waarden van k' voor de proeven waarbij er inwasmateriaal is toegepast met 20% tot 40% toegenomen.

Bij proef 4a en 4ah zien we dat het aandeel van de stromingsweerstand van het inwasmateriaal ten opzichte van de berekeningen in tabel 8 is toegenomen, terwijl toch de stromingsweerstand van het inwasmateriaal is afgenomen. Dit ogenschijnlijk vreemde resultaat is het gevolg van het feit dat de afnemende stromingsweerstand van het inwasmateriaal in de stootvoegen tot gevolg heeft dat daar meer water doorheengaat, en dat het debiet door de langsvoeegen afneemt.

Aan de hand van de resultaten in tabel 8 is duidelijk te zien dat de doorlatendheid van het inwasmateriaal nog steeds flink onderschat wordt voor proef 1a, 1b, 2b, 3a, 4a, 4ah, 6a en 6b (toplaagdoorlatendheid is te klein t.o.v. de metingen, terwijl inwasmateriaal de grootte van k' domineert). Kennelijk is een doorlatendheidsrelatie die bedoeld is voor een groot volume filtermateriaal niet erg nauwkeurig voor inwasmateriaal dat zich in een smalle spleet bevindt. Het feit dat langs de spleetwanden de porositeit groter is dan de gemiddelde porositeit zou verantwoordelijk kunnen zijn voor de geconstateerde verschillen. Daarom wordt voorgesteld om specifiek voor inwasmateriaal een doorlatendheidsrelatie toe te passen met een aangepaste coëfficiënt in de formule voor b_v :

$$b_v = \frac{0,10}{gn_v^5 D_{v15}} \quad (57)$$

In tabel 9 zijn de resultaten gegeven die verkregen zijn met deze formule voor het inwasmateriaal. Het blijkt nu dat de berekende k' van de proeven met een dominante invloed van het inwasmateriaal vrij goed overeenkomen met de gemeten waarden.

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
gemeten	80	80	-	-	86	-	-	-
berekend	82	80	-	-	82	-	-	-

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
gemeten	-	-	-	69	-	56	-	-
berekend	-	-	-	63	-	60	-	-

Tabel, Gemeten en berekende vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoeegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

In bovenstaande tabel zijn de gemeten en berekende vervallen over het inwasmateriaal als percentage van het totale verval over de toplaag gegeven (gewogen naar het berekende aandeel van het debiet door de langsvoeegen en de stootvoegen).

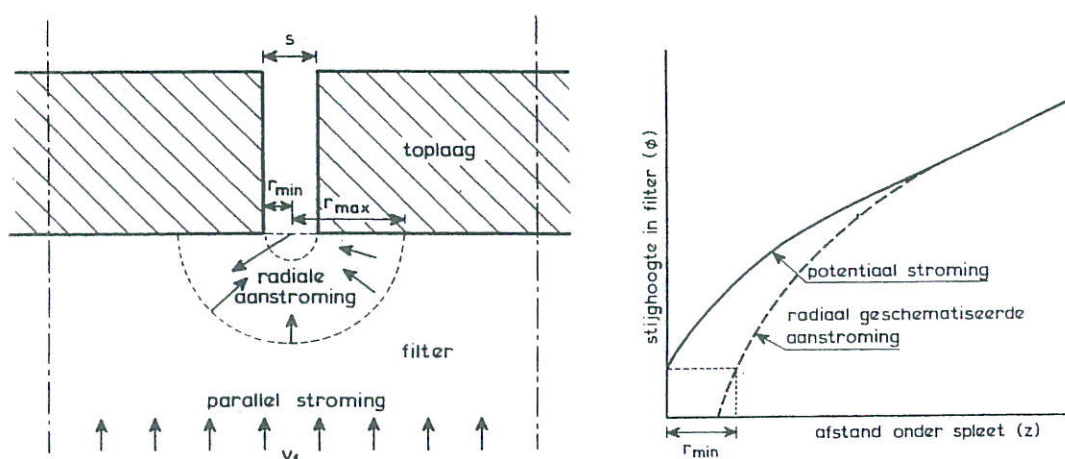
Uit deze tabel blijkt dat de berekeningen goed overeenkomen met de metingen.

3.7 Aanstroomweerstand

Bij de afleiding van de formules voor de aanstroomweerstand is men in WL/GD (1990) gestuit op het probleem dat een eenvoudige weerstandsberekening van een radiaire stroming naar een spleet grote onnauwkeurigheden geeft in het gebied direct onder de spleet. Daar zal de stroming van een zuiver radiaire stroming overgaan naar een verticaal gerichte stroming de spleet in. Bovendien kan het filter daar niet als een homogeen doorlatend materiaal opgevat worden, omdat de korrels groot zijn t.o.v. de spleetbreedte.

Het eerste probleem is aangepakt door de stromingsweerstand te berekenen met de potentiaaltheorie voor laminaire stroming naar een spleet. Dat resulteerde in een afstand van het hart van de spleetbodem waarbinnen de radiaal geschematiseerde stromingsweerstand niet meegeteld hoeft te worden om voor een laminaire stroming toch op de juiste resultaten uit te komen. Deze afstand was volgens de theorie: $r_{\min} = 0,18s$ (met: s = spleetbreedte). Uit een analyse van de resultaat van het beschikbare modelonderzoek bleek echter dat $r_{\min} = 0,4s$ een beter resultaat leverde en dat is uiteindelijk in ANAMOS opgenomen. Een verschil tussen theorie en praktijk is te beargumenteren vanuit het feit dat in de praktijk de stroming bij de spleet niet laminair is maar turbulent.

Gezien het feit dat met de recente metingen gebleken is dat de aanstroomweerstand in de berekeningen overschat wordt, ligt het voor de hand om de grootte van r_{\min} nog wat groter te kiezen, bijvoorbeeld $r_{\min} = 0,5s$.



Figuur, Stroming door het filter naar spleet onder de toplaag en de stijghoogte in het filter als functie van de afstand onder te spleet (schematisch)

Het tweede geconstateerde probleem, namelijk het niet homogeen zijn van de doorlatendheid bij de spleet, is in WL/GD (1990) opgelost door een afstand tot het hart van de spleetbodemplaat aan te houden waarbinnen er geen stromingsweerstand is. Die afstand is gerelateerd aan de korrelgrootte van het filter, omdat het water bij het stromen door het filter vooral een stromingsweerstand ondervindt op de plaatsen waar het doorstroomprofiel nauw is, dus ter plaatse van het hart van de korrels. Het laatste stukje van de afgelegde weg tot de spleet zijn er dergelijke vernauwing niet meer. Er is toen aangenomen dat dit laatste stukje een lengte heeft van $0,5D_{f15}$, zonder dat daarover concrete informatie beschikbaar was. Omdat de aanstroomweerstand in de formules wordt overschat, wordt aanbevolen de waarde te vergroten naar bijvoorbeeld $0,8D_{f15}$.

Daarnaast geldt dat het belangrijkste deel van de aanstroomweerstand plaatsvindt op een kleine afstand van de spleet (enkele centimeters). Omdat de korrels van het filter aanliggen tegen de blokken, is het te verwachten dat er langs de blokken een wat grotere porositeit van het filter is. Dit zal er toe leiden dat relatief veel water langs de blokken naar de spleet zal gaan stromen. Door deze grotere porositeit zal ook de aanstroomweerstand kleiner zijn. Om deze invloed in de berekeningen mee te nemen wordt aanbevolen om de porositeit in de formules van de aanstroomweerstand 0,1 groter te nemen dan de porositeit van het filter.

In tabel 10 zijn de resultaten van berekeningen gegeven waarin de bovengenoemde wijzigingen zijn opgenomen, namelijk $r_{\min} = \min\{0,5s; 0,8D_{f15}\}$ en $n_{aanstroom} = n_{filter} + 0,1$. Het blijkt dat de berekende toplaagdoorlatendheid van met name proef 2a, 5a, 2, 4, T1, T2, Basalton en B2 t/m B5 hierdoor duidelijk groter zijn geworden (zie ook de overzichtstabel 12). Bij deze proeven komen deze veranderingen ook duidelijk tot uiting in het aandeel van de stromingsweerstand.

In onderstaande tabel zijn de gemeten en berekende vervallen over de som van de instroomweerstand en de aanstroomweerstand als percentage van het totale verval over de toplaag gegeven (gewogen naar het berekende aandeel van het debiet door de langsvoeegen en de stootvoegen).

LANGSVOEG

instroom+aanstroom	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
gemeten	4	1	3	3	2	2	13	40 à 45
berekend	1	0	0	3	1	3	19	31

STOOTVOEG

instroom+aanstroom	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
gemeten	2	0	50	-1	0	1	29	40 à 45
berekend	2	2	85	1	1	1	48	31

Tabel, Gemeten en berekende vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoeegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

Uit de tabel blijkt dat voor proef 2a en 5a de berekende waarden veel groter is dan de gemeten waarden, terwijl dat andersom is voor proef T1/T2.

3.8 Overzicht van de verbeteringen en invoering van rekenwaarde van spleetbreedte

In de voorgaande paragrafen zijn een groot aantal verbeteringen doorgevoerd in de formules voor het berekenen van de doorlatendheid van de toplaag. Alle aspecten van de toplaagdoorlatendheid, die in de proeven een belangrijke invloed te zien gaven, zijn daarbij aan de orde geweest:

- De wijze waarop wordt omgegaan met een verschillende spleetbreedte in de stootvoegen en langsvogen, en de wijze waarop het aandeel van de doorlatendheid in de spleten en in de gaten wordt gesommeerd, is verbeterd.
- De in- en uitstroomweerstand is aangepast (de formule voor de instroomweerstand concentreert zich op het verval bij de stroming uit het filter; het negatief verval bij de uitstroming uit de spleet is toegevoegd; en er is gerekend met het feit dat het filter vlak onder de spleten een verhoogde porositeit heeft).
- De stromingsweerstand in de spleet (of gat) is gewijzigd:
 - ruwheid van de spleetwand is verlaagd naar $k_{nik} = 0,1$ mm;
 - het Reynoldsgetal bij de overgang van laminaire naar turbulente stroming is verhoogd naar 5000.
- De doorlatendheidsrelatie voor het inwasmateriaal is aangepast ($b_v = 0,10/(gn_v^5 D_{v15})$).
- De aanstroomweerstand is verkleind door een groter gebied te nemen bij de spleet waar er geen aanstroomweerstand optreedt: $r_{min} = \min\{0,5s ; 0,8D_{f15}\}$. Daarnaast wordt er gerekend met een verhoogde porositeit nabij de spleten.

Het doel van deze verbeteringen is ervoor te zorgen dat de berekende resultaten bij zoveel mogelijk proeven minder dan 30% afwijkt van de gemeten toplaagdoorlatendheid. Voordat deze verbeteringen waren aangebracht, voldeden slechts 13% van de 24 meeste relevante proeven aan dit criterium (zie tabel 3: k' berekend/gemeten). In tabel 10 is te zien dat de verbeteringen ertoe geleid hebben dat 63% van de proeven hieraan voldoen (zie ook de overzichtstabel 12).

Helaas wijken de berekende waarden van k' van de proeven 1, 5, T2, Deltagoot, B1 t/m B3 en B5 nog steeds te veel af. Wat veel van deze proeven gemeen hebben is dat de spleetbreedte vrij klein is. Een dergelijke kleine spleetbreedte is in het model moeilijk nauwkeurig te meten en heeft bovendien in de berekeningen een zeer grote invloed.

De spleetbreedte wordt doorgaans gemeten door er een voeler in te steken met een bekende dikte. De dikste voeler die er nog tussen past, is de gemeten spleetbreedte. Doordat er echter altijd kleine onregelmatigheden op de spleetwanden zitten, leidt deze procedure tot een onderschatting van de spleetbreedte. Bovendien wordt alleen de spleetbreedte aan de bovenzijde bepaald, terwijl de spleetbreedte aan de onderzijde veel belangrijker is.

Het feit dat de spleetbreedte moeilijk te bepalen is en bovendien een grote invloed heeft, maakt het aannemelijk om berekeningen uit te voeren met een iets grotere spleetbreedte dan gerapporteerd was tijdens de metingen.

In tabel 11 zijn de berekende resultaten gegeven uitgaande van een rekenwaarde van de spleetbreedte die voor alle proeven 0,3 mm groter is gekozen dan de gemeten waarden. Uit de tabel blijkt hierdoor 79% van de proeven te voldoen aan het criterium:

$$0,7 < k'_{\text{berekend}} / k'_{\text{gemeten}} < 1,3.$$

Andere waarden dan 0,3 mm geven een minder goed resultaat.

3.9 Aandeel van weerstandscomponenten

Tijdens sommige metingen is een geïnstrumenteerd blok aangebracht waarmee het mogelijk was om verschillende weerstandscomponenten afzonderlijk te meten. Dit was het geval bij het onderzoek van Kuiper en Klein Breteler (2001) (proef 1a t/m 6b) en in proef T1 en T2 uit WL/GD (1990).

Helaas konden niet alle weerstandscomponenten afzonderlijk gemeten worden, maar is steeds de som van de aanstroomweerstand en de instroomweerstand tezamen gemeten, en daarnaast nog apart het verval in de spleet, het verval over het geotextiel en het verval over het inwasmateriaal. Het gemeten verval over de overgang van inwasmateriaal naar de open spleet is toegevoegd aan de instroomweerstand, omdat dit in de rekenmethodiek ook is gedaan.

In onderstaande tabel zijn de gemeten en berekende vervallen over de weerstandscomponenten als percentage van het totale verval over de toplaag gegeven (gewogen naar het berekende aandeel van het debiet door de langsvoegen en de stootvoegen). Sommige waarden zijn dik gedrukt. Dit is gedaan als de betreffende bijdrage belangrijk is (de bijdrage is groter dan 10%) en als er een groot verschil is tussen de metingen en de berekeningen.

Uit de tabel blijkt dat de meeste belangrijke bijdragen vrij redelijk berekend worden. Grote verschillen zijn er bij de instroom- en aanstroomweerstand van proef 2a (stootvoegen) en proef 5a (zowel de langsvoegen als de stootvoegen). Daarnaast zijn er grote verschillen bij de spleetweerstand van proef 2a en 5a.

Een nadere bestudering van de getallen in onderstaande tabel leert dat ook bij de andere proeven er in de spleten zonder inwasmateriaal een onderschatting is van het verval in de spleet, en een overschatting van de instroom+aanstroomweerstand. Dit is in tabel 13 verduidelijkt door alleen de spleten zonder inwasmateriaal te laten zien. In die tabel zijn de getallen vet gedrukt als het verval in de spleet wordt onderschat en de instroom + aanstroomweerstand wordt overschat. Het blijkt dat dit in ruim 70% van de spleten het geval is.

Er is getracht deze getallen beter te krijgen door wijzigingen aan te brengen in de parameters in de formules (zoals gedaan is in de vorige paragrafen). Het is echter gebleken dat dit geen verbetering met zich meebrengt. Een vergroting van de ruwheid van de spleetwand bijvoorbeeld, geeft nauwelijks een vergroting van de betreffende bijdrage in de tabel, terwijl bij andere proeven het verschil tussen de gemeten doorlatendheid van de toplaag en de berekende waarde alleen maar toeneemt.

Het is onduidelijk wat de reden is van het grote verschil tussen de metingen en berekeningen van het verval in de spleet en de instroom+aanstroomweerstand. Hoewel de berekende toplaagdoorlatendheid met de wijzigingen vrij goed overeenkomt met de metingen, is het geconstateerde verschil in bovenstaande tabel een aanwijzing dat er toch ergens iets niet goed zit in de formules. Omdat echter thans niet duidelijk is waar de fout zou kunnen zitten, gecombineerd met het feit dat de berekende toplaagdoorlatendheid goed overeenkomt met metingen, wordt dit voorlopig zo gelaten.

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
instroom+aanstroom	7	1	3	3	5	2	15	40 à 45
geotextiel (geschat)	-	-	-	-	-	-	-	5
inwassing	79	78	-	-	84	-	-	-
spleet	-1	-	7	43	0	45	34	4 à 5
uitstroom	0	1	-1	-4	-1	-4	-4	-2 à 1

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
instroom+aanstroom	2	0	48	-6	0	3	27	40 à 45
geotextiel (geschat)	-	-	-	-	-	-	-	5
inwassing	-	-	-	63	-	54	-	-
spleet	13	16	50	0	11	-1	30	4 à 5
uitstroom	-1	1	-9	0	-1	0	-1	-2 à 1

Tabel, Gemeten vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoeegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
aandeel langsvoeegen	86	81	9	42	89	43	45	50
instroom+aanstroom	1	0	2	8	1	8	25	34
geotextiel	-	-	-	-	-	-	-	11
inwassing	85	80	-	-	88	-	-	-
spleet	0	-	8	34	0	34	20	6
uitstroom	0	0	0	0	0	0	0	0

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
aandeel stootvoegen	14	18	88	57	10	56	55	50
instroom+aanstroom	4	5	82	1	3	1	45	32
geotextiel	-	-	-	-	-	-	-	11
inwassing	-	-	-	56	-	55	-	-
spleet	10	13	9	0	7	0	11	6
uitstroom	0	0	-2	0	0	0	0	0

Tabel, Berekende vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaag) in de stoot- en langsvoeegen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

4 Conclusies

Naar aanleiding van de geconstateerde verschillen tussen de berekende top laag-doorlatendheid van een steenzetting en de gemeten waarden, zijn de formules nader bekeken en zijn een aantal verbeteringen doorgevoerd. Daarbij is als doel gesteld de berekende en gemeten waarden minder dan 30% van elkaar te laten verschillen. Met de oude formules werd slechts bij 13% van de proeven dit criterium gehaald. Door een groot aantal wijzigingen door te voeren is het gelukt om eindelijk bij 79% van de proeven dit criterium te halen (zie tabel 12). Daartoe zijn de volgende wijzigingen in de formules gerealiseerd:

- De wijze waarop wordt omgegaan met een verschillende spleetbreedte in de stootvoegen en langsvogen, en de wijze waarop het aandeel van de doorlatendheid in de spleten en in de gaten wordt gesommeerd, is verbeterd.
- De in- en uitstroomweerstand is aangepast (de formule voor de instroomweerstand concentreert zich op het verval bij de stroming uit het filter; het negatief verval bij de uitstroming uit de spleet is toegevoegd; en er is gerekend met het feit dat het filter vlak onder de spleten een verhoogde porositeit heeft).
- De stromingsweerstand in de spleet (of gat) is gewijzigd:
 - ruwheid van de spleetwand is verlaagd naar $k_{nik} = 0,1$ mm;
 - het Reynoldsgetal bij de overgang van laminaire naar turbulente stroming is verhoogd naar 5000.
- De doorlatendheidsrelatie voor het inwasmateriaal is aangepast ($b_v = 0,10/(gn_v^5 D_{v15})$)
- De aanstroomweerstand is verkleind door een groter gebied te nemen bij de spleet waar er geen aanstroomweerstand optreedt: $r_{min} = \min\{0,5s ; 0,8D_{f15}\}$. Daarnaast wordt er gerekend met een verhoogde porositeit nabij de spleten.
- Er moet gewerkt worden met een rekenwaarde van de spleetbreedte die 0,3 mm groter is dan de gemeten spleetbreedte.

Tijdens sommige metingen is een geïnstrumenteerd blok aangebracht waarmee het mogelijk was om verschillende weerstandscomponenten afzonderlijk te meten. Het is gebleken dat voor 6 van de 8 proeven de berekende bijdrage van de belangrijkste afzonderlijke weerstandscomponenten vrij goed overeenkomen met de metingen. Er is echter te zien dat in de spleten zonder inwasmateriaal er een onderschatting is van het verval in de spleet, en een overschatting van de instroom+aanstroomweerstand. Het is niet gelukt om dit op een verantwoorde wijze te verbeteren. Gecombineerd met het feit dat de berekende top laag-doorlatendheid nu goed overeenkomt met metingen, wordt dit voorlopig zo gelaten.

Referenties

- Klein Breteler (1999). Doorlatendheidsmetingen van blokken op hun kant in de Deltagoot. WL rapport H3553, augustus 1999
- Smith, G.M., en M. Klein Breteler (2000). Doorlatendheid van gezette blokken op hun kant. WL rapport H3564, maart 2000
- WL/GD (1990). Taludbekleding van gezette steen. Doorlatendheid van toplaag en filter en berekening van lek-lengte. WL rapport M1795/H1995, GD rapport co 272550/56, januari 1990
- Kuiper, C., en M. Klein Breteler (2001). Doorlatendheidsmetingen steenzettingen. WL rapport H3911, November 2001

onderzoek	Doortlatheldheidsmetingen steenzettingen, Kuiper en Klein Bretelei, H3911, nov '01											Deel XVIII, jan. '90, sectie 5					MKB '99 Tlathbedelingen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5							
	1a	1b	2a	2b	3a	4a	4ah	5a	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basaltion	Dallapool	B1	B2	B3	B4	B5
proefnummer	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
D [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.25	0.30	0.10	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.20	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
L [m]	22.32	22.32	1.12	1.12	31.37	1.15	1.15	2.17	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	2.00	0.60	1.60	1.60	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10	19.20	
langsvoegen [mm]	1.36	1.36	20.48	20.48	1.35	20.11	20.11	9.11	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	9.00	0.60	1.60	6.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10	19.20	
stootvoegen [mm]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.20	0.25	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
inwassing spleet: n	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
inwassing spleet: Dh15 [mm]	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
gevuld deel langsvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
gevuld deel stootvoeg	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
gatafstand B' [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.20	0.25	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
gatafstand L' [m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
gatoppervlak Ag [cm²]	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
inwassing gat: Dh15 [mm]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.20	0.25	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
inwassing gat: n [-]	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
inwassing gat: gevuld deel	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	8.00	27.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
filter n [-]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.39	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
Geotextiel: Ag*lg [g/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Geotextiel: Bg*lg [g²/2m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Geometen:	0.340	0.000	0.520	0.940	0.890	0.450	1.100	3.200	0.640	0.160	3.900	3.900	3.900	4.500	7	7	1.000	7	7	7	7	7	7	
a filter (s/m)	110	130	113	97	110	152	107	262	38	48	386	386	386	150	200	200	200	7	7	7	7	7	7	
b filter (s²/2m²)	0.169	0.160	0.164	0.170	0.161	0.143	0.160	0.094	0.269	0.257	0.078	0.078	0.078	0.107	0.003	0.006	0.121	7	0.003	0.004	0.004	0.004	0.014	
k filter (m/s)	8.610	7.670	0.000	12.500	4.500	16.600	21.200	2.000	4.000	6.600	25.000	4.000	3.000	5.000	45.000	7	7	7	7	7	7	7	7	
a toplaag (s²/m²)	847	2184	170	2501	920	2033	1584	514	539	913	3500	1600	700	400	10500	7	7	7	7	7	7	7	7	
k' [m/s] gemeten	0.030	0.020	0.077	0.018	0.031	0.018	0.019	0.042	0.040	0.030	0.014	0.024	0.036	0.044	0.008	0.004	0.080	0.010	0.001	0.006	0.007	0.012	0.017	
Berekende resultaten:	10.380	10.380	4.569	4.569	13.885	4.515	4.515	2.843	9.762	9.762	0.885	1.553	2.300	2.840	1.019	1.286	1.286	6.223	0.879	0.880	0.874	1.737	3.957	
% open oppervlak	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	0.192	0.101	0.215	0.215	0.078	0.078	0.078	0.096	0.096	0.013	0.013	0.204	0.099	0.008	0.008	0.008	0.008	
k' filter (m/s)	0.019	0.014	0.043	0.010	0.024	0.010	0.010	0.026	0.017	0.012	0.006	0.016	0.019	0.023	0.003	0.003	0.003	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	
k' berekend/gemeten	0.629	0.704	0.556	0.560	0.790	0.519	0.496	0.619	0.442	0.418	0.409	0.664	0.529	0.527	0.389	0.903	0.903	0.730	0.230	0.005	0.325	0.428	0.543	
Aandeel weerstand langsvoeg (%):	0	0	7	29	0	32	32	16	0	0	50	25	0	17	42	6	6	0	61	50	11	2	0	
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	16	16	0	0	0	17	25	30	
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval over geotextiel	2	2	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: in- en uitstroomverval	1	2	7	1	9	9	27	1	0	12	36	22	23	3	8	8	8	37	5	0	0	0	0	
turbulent: aanstroomverval	1	1	0	0	2	0	0	3	0	1	7	9	4	0	12	12	12	28	0	0	0	0	0	
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval over inwassing	83	80	0	0	85	0	0	0	48	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aandeel weerstand stootvoeg (%):	8	11	0	0	6	0	0	0	0	0	20	10	0	0	21	6	6	0	31	50	11	2	0	
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval door spleetwand	4	5	37	1	3	1	15	1	0	5	14	9	11	1	8	8	8	20	3	0	0	0	0	
turbulent: in- en uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aandeel van weerstand gat (%):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval door gatwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval door gatwand	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: in- en uitstroomverval	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	2	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
turbulent: verval over inwassing	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabel 1, Vergelijking gemeten doortlatheden met berekende waarden volgens ANAMOS formules, maar met verbeterde sommatie van langsvoegen, stootvoegen en gaten

onderzoek	Taubekledingen van gezette steen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5																					
	A1	A2	A3	A4	biz 31	biz 30	biz 30	biz 30	biz 30	biz 30	biz 31	biz 31	biz 31	biz 31	biz 30	biz 30	biz 30	biz 30	biz 30	biz 30		
proefnummer																						
D [m]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
B [m]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
L [m]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
langsvoegen [mm]	0.10	0.80	2.10	5.00	10.00	20.00	4.00	5.00	6.00	7.00	12.00	20.00	1.00	20.00	1.00	20.00	1.00	20.00	1.00	20.00	1.00	
stootvoegen [mm]	0.10	0.80	2.10	5.00	10.00	20.00	4.00	5.00	6.00	7.00	12.00	20.00	1.00	20.00	1.00	20.00	1.00	20.00	1.00	20.00	1.00	
inwassing spleet: n																						
inwassing spleet: Df15 [mm]																						
gevuld deel langsvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
gevuld deel stootvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
gatafstand B' [m]																						
gatafstand L' [m]																						
gatoppervlak Ag (cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
inwassing gat: Df15 [mm]																						
inwassing gat: n (-)																						
inwassing gat: gevuld deel																						
filter Df15 [mm]	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster	rooster
filter n (-)																						
Gemeten:																						
a filter																						
b filter																						
k filter																						
k' [m/s] gemeten	0.003	0.007	0.022	0.057	0.052	0.089	0.030	0.043	0.049	0.055	0.093	0.142	0.006	0.052	0.019	0.017	0.001	0.003	0.006	0.012	0.015	0.005
Berekende resultaten:																						
% open oppervlak	0.080	0.637	1.659	3.882	3.882	7.532	3.124	3.882	4.630	5.369	8.930	14.175	0.795	14.175	5.019	5.339	16.926	0.637	1.032	1.425	2.203	2.588
k (lin.) uitvullag (m/s)	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	3.853	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
k' (m/s)	0.000	0.002	0.016	0.037	0.054	0.116	0.028	0.037	0.048	0.054	0.097	0.160	0.004	0.049	0.012	0.007	0.016	0.036	0.002	0.005	0.008	0.013
k' berekend/gemeten	0.002	0.353	0.725	0.642	1.044	1.171	0.920	0.850	0.929	0.989	1.044	1.124	0.632	0.939	0.984	1.490	1.846	1.785	1.849	1.444	1.119	1.055
Aandeel weerstand langsvoeg (%)																						
laminair: verval door spleetwank	50	44	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	8	13	6	3	35	19	11
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: verval door spleetwank	0	0	0	17	14	6	21	17	14	12	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: in- en uitstroomverval	0	6	34	33	36	44	29	33	36	38	44	47	22	13	6	11	5	2	15	31	38	42
turbulent: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	1	3
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aandeel weerstand stootvoeg (%)																						
laminair: verval door spleetwank	50	44	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	8	13	6	3	35	19	11
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: verval door spleetwank	0	0	0	17	14	6	21	17	14	12	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: in- en uitstroomverval	0	6	34	33	36	44	29	33	36	38	44	47	22	13	6	11	5	2	15	31	38	42
turbulent: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	1	3
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aandeel van weerstand gat (%)																						
laminair: verval door gatwank	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: verval door gatwank	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: in- en uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	9	64	82	0	0	0	0	0
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
totale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46																						

Tabel 2, Vergelijking gemeten doorlatendheden van minder bruikbare proeven met berekende waarden volgens ANAMOS formules, maar met verbeterde sommatie van langsvoegen, stootvoegen en gaten

onderzoek	Doortatendheidsmetingen steenzettingen, Kuiper en Klein Breieler, H3811, nov '01										Gezette blokken op kant. H3564, Smith '00										Deel XVIII, jan. '90, sectie 5 MKB '99 Taludbekledingen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5									
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basaltion	Delagoot	B1	B2	B3	B4	B5				
D [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10					
B [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.10	0.25	0.25	0.30	0.10	0.25	0.25	0.25	0.25					
L [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.25	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25					
langsvoegen [mm]	22.32	22.32	1.12	1.12	31.37	1.15	1.15	2.17	13.20	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	2.00	0.60	1.60	1.60	1.60	15.00	0.60	1.10	2.20	5.10	19.20					
stootvoegen [mm]	1.36	1.36	20.48	20.48	1.35	20.11	20.11	9.11	13.20	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	9.00	0.60	1.60	1.60	1.60	6.00	0.59	1.10	2.20	5.10	19.20					
inwassings spleet: n	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
inwassings spleet: Dr15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	8.00	15.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
gevuld deel langsvoeg	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
gevuld deel stootvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
gatafstand B [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
gatafstand L [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
gatoppervlakt Ag [cm ²]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
inwassings gat: Dr15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	8.00	15.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
inwassings gat: gevuld deel	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
filter Dr15 [mm]	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	8.00	27.00	27.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.50	1.60	1.60	20.00	7.50	1.60	1.60	1.60	1.60					
filter n [-]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.39	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30					
Geotextiel: Ag*Tx [s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Geotextiel: Bg*Tx [s*2/m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Gemeten:																														
a filter (s/m)	0.340	0.000	0.520	0.940	0.890	0.450	1.100	3.200	0.640	0.160	0.160	3.900	3.900	3.900	3.900	4.500	?	?	?	?	?	?	?	?	?					
b filter (s*2/m*2)	110	130	113	97	110	152	107	262	38	48	386	386	386	386	386	450	?	?	?	?	?	?	?	?	?					
k filter (m/s)	0.169	0.169	0.164	0.170	0.161	0.143	0.160	0.094	0.289	0.257	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.107	0.003	0.006	0.121	?	0.003	0.004	0.004	0.006	0.014					
a toplaag (s/m)	8.610	7.670	0.000	12.500	4.500	19.600	21.200	2.000	4.000	6.600	25.000	4.000	4.000	4.000	4.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000					
b toplaag (s*2/m*2)	847	2194	170	2501	920	2033	1584	514	539	913	3500	1600	700	400	10500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
k' [m/s]	0.030	0.020	0.077	0.018	0.031	0.018	0.019	0.042	0.040	0.030	0.014	0.024	0.036	0.044	0.008	0.004	0.004	0.004	0.080	0.010	0.001	0.006	0.007	0.012	0.017					
Berekende resultaten:																														
% open oppervlakt	10.380	10.380	4.569	4.569	13.885	4.515	4.515	2.843	9.762	9.762	0.068	1.553	2.300	2.840	1.019	1.268	1.268	1.268	6.623	0.679	0.080	0.874	1.737	3.957	13.675					
k' [m/s]	0.019	0.014	0.040	0.010	0.028	0.010	0.028	0.018	0.012	0.012	0.008	0.016	0.019	0.022	0.003	0.002	0.002	0.002	0.048	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012					
k' berekend/gemeten	0.629	0.704	0.517	0.590	0.788	0.518	0.498	0.604	0.444	0.419	0.468	0.674	0.521	0.504	0.394	0.459	0.631	0.459	0.602	0.230	0.005	0.228	0.286	0.331	0.742					
Aandeel weerstand langsvoeg (%)	0	0	7	29	0	32	32	16	0	0	0	51	25	0	18	42	3	4	0	61	0	50	6	1	0					
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	34	27	1	0	0	28	36	35	27					
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
laminair: verval over geotextiel	2	2	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: instroomverval	1	0	2	7	1	9	27	1	0	0	12	36	21	23	3	2	4	20	5	0	0	0	4	2	1					
turbulent: uitstroomverval	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	11	5	0	6	9	41	0	0	0	5	7	11					
turbulent: verval over inwassings	83	80	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Aandeel verval over inwassings	8	11	0	0	0	6	0	0	0	0	0	20	10	0	0	21	3	4	0	31	0	50	8	1	0					
laminair: verval door spleetwand	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	34	27	0	0	0	28	36	35	27					
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval door spleetwand	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: instroomverval	4	5	31	1	3	0	0	14	1	0	5	14	8	10	1	2	4	20	3	0	0	0	4	2	1					
turbulent: uitstroomverval	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval over geotextiel	0	0	52	1	0	0	1	32	0	0	3	5	38	0	0	6	9	7	0	0	0	0	5	7	11					
turbulent: verval over inwassings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Aandeel verval over inwassings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval door spleetwand	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: instroomverval	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
turbulent: verval over inwassings	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

Tabel 4, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 3, maar met verbeterde formule voor de in- uitstroomweerstand

onderzoek	Doordatheidsmetingen steenzettingen, Kuiper en Klein Breieler, H3911, nov '01										Gezette blokken op kant, H3564, Smith '00					Deel XVIII, jan '90					MKB '99 Taludbekeddingen, deel XVIII, jan '90, sectie 5				
	1a	1b	2a	2b	3a	4a	4a1	5a	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basalton	Deltahoog	B1	B2	B3	B4	B5	
profielnummer	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
D [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.20	0.10	0.10	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25		
B [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25		
lanosvoegen [mm]	22.32	22.32	1.12	1.12	31.37	1.15	2.17	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	2.00	0.60	1.60	1.60	15.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10	19.20		
stootvoegen [mm]	1.36	1.36	20.48	20.48	1.35	20.11	9.11	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	9.00	0.60	1.60	1.60	6.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10	19.20		
inwassing spleet, n	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
inwassing spleet, Df15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
gevuul deel langsvoeg	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
gevuul deel stootvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
gatafstand B' [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		
gatafstand L' [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
gatoppervlak Ag (cm²/2)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
inwassing gat, Df15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
inwassing gat, n [-]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
inwassing gat, gevuld deel	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
filter Df15 [mm]	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	8.00	27.00	27.00	0.00	6.00	6.00	6.00	7.50	1.60	1.60	20.00	7.50	1.60	1.60	1.60	1.60		
filter n [-]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.39	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35		
Geotextiel: Ag [g/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Geotextiel: Bg [g/s²/m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Gemeten:																									
a filter (s/m)	0.340	0.000	0.520	0.940	0.890	0.450	1.100	3.200	0.640	0.160	3.900	3.900	3.900	4.500	?	?	1.000	?	?	?	?	?	?		
b filter (s²/2m²)	110	130	113	97	110	152	107	262	38	48	386	386	386	386	150	?	200	?	?	?	?	?	?		
k filter (m/s)	0.169	0.160	0.164	0.170	0.161	0.143	0.160	0.094	0.289	0.257	0.078	0.078	0.078	0.078	0.107	0.003	0.006	0.121	?	0.003	0.004	0.004	0.006		
a toplaag (s/m)	8.610	7.670	0.000	12.500	4.500	16.600	21.200	2.000	4.000	6.600	25.000	4.000	3.000	5.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
b toplaag (s²/2m²)	847	2194	170	2501	920	2033	1584	514	539	913	3500	1600	700	400	10500	0	0	0	0	0	0	0	0		
k [m/s] gemeten	0.030	0.020	0.077	0.018	0.031	0.018	0.019	0.042	0.040	0.030	0.014	0.024	0.036	0.044	0.009	0.004	0.004	0.060	0.010	0.001	0.008	0.007	0.012		
Berekende resultaten:																									
% open oppervlak	10.380	10.380	4.569	4.569	13.885	4.515	4.515	2.843	9.762	9.762	0.865	1.553	2.300	2.840	1.019	1.268	6.623	0.879	0.080	0.874	1.737	3.957	13.675		
k' (m/s)	0.019	0.014	0.046	0.011	0.025	0.010	0.010	0.023	0.018	0.012	0.006	0.012	0.021	0.027	0.003	0.002	0.002	0.056	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004		
k' berekend/gemeten	0.648	0.731	0.595	0.612	0.607	0.553	0.530	0.552	0.447	0.420	0.457	0.485	0.564	0.601	0.404	0.470	0.658	0.695	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337		
Aandeel weerstand langsvoeg (%)																									
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	27	44	3	4	0	0	65	50	9	1		
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	30	37	35		
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laminair: verval over inwassing	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: instroomverval	0	0	1	4	0	4	4	3	0	0	5	6	8	15	1	1	1	10	2	0	1	0	0		
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: aanstroomverval	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	14	10	0	7	10	49	0	0	0	0	0		
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval over inwassing	82	77	0	0	0	84	0	0	49	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aandeel weerstand stootvoeg (%)																									
laminair: verval door spleetwand	12	16	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	22	3	4	0	0	32	50	9	1		
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: instroomverval	2	3	13	0	2	0	0	7	0	0	2	2	3	3	0	1	1	13	1	0	0	0	0		
turbulent: uitstroomverval	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: aanstroomverval	0	0	69	1	0	1	1	48	0	0	2	6	37	0	7	10	11	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Aandeel van weerstand gat (%)																									
laminair: verval door gatwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval door gatwand	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: instroomverval	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
turbulent: verval over inwassing	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabel 5, Vergelijking gemeten doorlatendheden met berekende waarden zoals tabel 4, maar met vergrote porositeit van het filter tbv instroomweerstand

onderzoek	Doortendheidsmetingen steenzettingen, Kuiper en Klein Breteleir, H3911, nov 01										Gezette blokken op kant, H3564, Smith 00										Deel XVIII, jan. '90, sectie 5					MKB '99 Taudbekledingen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5				
	1a	1b	2a	2b	3a	4a	4ah	5a	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basaltion	Dellagoot	B1	B2	B3	B4	B5						
proefnummer	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10							
D [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25							
B [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.20	0.25	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25							
L [m]	22.32	22.32	1.12	1.12	31.37	1.15	1.15	2.17	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	2.00	1.60	1.60	15.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10	19.20							
langsvoegen [mm]	1.36	1.36	20.48	20.48	1.35	20.11	20.11	9.11	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	9.00	0.60	1.60	6.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10	19.20							
stootvoegen [mm]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50							
inwissling spleet: n	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	8.00	15.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
inwissling spleet: Df15 (mm)	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
gevuld deel langsvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
gevuld deel stootvoeg	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20							
gatafstand B' [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.20	0.20	0.50	0.50	0.50	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20							
gatafstand L' [m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
gatoppervlakt Ag (cm ²)	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
inwissling gat: Df15 (mm)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
inwissling gat: gevuld deel	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
filter Df15 [mm]	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	8.00	27.00	27.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.50	1.60	20.00	7.50	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60							
filter n []	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.39	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30							
Geotextiel: Ag Tg [s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
Geotextiel: Ba Tg [s ² /m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
Gemeten:	0.340	0.000	0.520	0.940	0.890	0.450	1.100	3.200	0.640	0.160	3.900	3.900	3.900	4.500	?	?	1.000	?	?	?	?	?	?							
a filter (s/m)	110	130	113	97	110	152	107	292	38	48	386	386	386	150	?	?	200	?	?	?	?	?	?							
b filter (s ² /m ²)	0.169	0.160	0.164	0.170	0.161	0.143	0.160	0.094	0.269	0.257	0.078	0.078	0.078	0.107	0.003	0.003	0.008	0.121	?	?	?	?	?							
a toplaag (s/m)	8.610	7.670	0.000	12.500	4.500	16.600	21.200	2.000	4.000	6.600	25.000	4.000	3.000	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000							
b toplaag (s ² /m ²)	847	2194	170	2501	920	2033	1584	514	539	913	3500	1600	700	400	10500	0	0	0	0	0	0	0	0							
k' [m/s] gemeten	0.030	0.020	0.077	0.018	0.031	0.018	0.019	0.042	0.040	0.030	0.014	0.024	0.036	0.044	0.008	0.004	0.080	0.010	0.001	0.006	0.007	0.012	0.017							
Berekende resultaten:	10.380	10.380	4.569	4.569	13.886	4.515	4.515	2.843	9.762	9.762	0.665	1.553	2.300	2.840	1.019	1.268	6.623	0.679	0.080	0.674	1.737	3.957	13.675							
% open oppervlakt	0.019	0.014	0.046	0.011	0.026	0.010	0.010	0.027	0.018	0.012	0.006	0.016	0.026	0.027	0.033	0.002	0.958	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012							
k' berekend/gemeten	0.649	0.731	0.605	0.612	0.807	0.553	0.550	0.659	0.447	0.420	0.459	0.660	0.716	0.607	0.403	0.470	0.668	0.725	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337							
Aandeel weerstand langsvoeg:(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	26	41	3	4	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	35	28	1	0	0	30	37	35							
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	0	0	0	6	4	3							
laminair: verval over geotextiel	2	2	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval over inwissling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: instroomverval	0	0	1	3	0	4	4	8	0	0	5	11	13	15	1	1	1	10	2	0	1	0	0							
turbulent: uitstroomverval	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0							
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	22	10	0	7	10	48	0	0	5	8	11							
turbulent: verval over inwissling	82	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Aandeel weerstand stootvoeg:(%)	12	16	0	0	9	0	0	0	0	0	23	0	0	0	21	3	4	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval door spleetwand	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	35	28	0	0	0	30	37	35							
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	0	0	0	6	4	3							
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval over inwissling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: verval door spleetwand	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	19	13	2	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0							
turbulent: instroomverval	2	3	14	0	2	0	0	0	0	0	2	4	5	3	0	1	1	17	1	0	1	0	0							
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: verval over geotextiel	0	0	70	1	0	1	1	45	0	0	3	9	39	0	7	10	14	0	0	0	5	8	11							
turbulent: verval over inwissling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Aandeel van weerstand gat:(%)	0	0	0	0	57	0	51	52	0	49	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval door gatwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
laminair: verval over inwissling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: verval door gatwand	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: instroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
turbulent: verval over inwissling	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							

Tabel 6, Vergelijking gemeten doorlatendheden met berekende waarden zoals tabel 5, maar met verkleinde ruwheid van de spleetwand

onderzoek	Doortatendheidsmetingen steenzettingen, Kijper en Klein Breteleer, H9111, nov '01											Gezette blokken op kant, H9584, Smith '00					Deel XVIII, jan. '90, sectie 5					MKB '99 Taludbekledingen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5				
	1a	1b	2a	2b	3a	4a	4ah	5a	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basalt	Dellaap	B1	B2	B3	B4	B5		
D [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10			
B [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.25	0.25	0.30	0.10	0.25	0.25	0.25	0.25			
L [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.20	0.25	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25			
langsvoegen [mm]	22.32	22.32	1.12	1.12	31.37	1.15	1.15	2.17	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	2.00	0.80	1.80	1.60	15.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10			
stootvoegen [mm]	1.36	1.36	20.48	20.48	1.35	20.11	20.11	9.11	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	9.00	0.80	1.60	1.60	6.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10			
inwassingspleet: n	0.49	0.49			0.49	0.49	0.55	0.55	0.50	0.50																
inwassingspleet: Df15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	8.00	15.00	15.00	15.00																
gevuld deel langsvoeg	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
gevuld deel stootvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
gelaatstand B' [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20				0.20	0.20	0.20	0.20	0.10											
gelaatstand L' [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50				0.50	0.50	0.50	0.50	0.20											
gatoppervlak Ag (cm ²)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
inwassings gat: Df15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00																				
inwassings gat: n [L]	0.49	0.49			0.49	0.49	0.55	0.55																		
inwassings gat: gevuld deel	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
filter Df15 [mm]	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	8.00	27.00	27.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.50	1.60	1.60	20.00	7.50	1.60	1.60	1.60	1.60			
filter n [L]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.39	0.39	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30			
Geotextiel: Ag Tg [s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.067	0.067	0.067	0.067			
Geotextiel: Bq Tg [s ² /m]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Gemeten:																										
a filter (s/m)	0.340	0.000	0.520	0.940	0.880	0.450	1.100	3.200	0.640	0.640	3.900	3.900	3.900	4.500	?	?	1.000	?	?	?	?	?	?			
b filter (s ² /m ²)	1.10	130	113	97	110	152	107	262	38	48	386	386	386	386	150	?	?	?	?	?	?	?	?			
k filter (m/s)	0.169	0.160	0.164	0.170	0.161	0.143	0.160	0.094	0.269	0.257	0.078	0.078	0.078	0.078	0.107	0.003	0.006	0.121	?	0.003	0.004	0.004	0.008			
a toplaag (s/m)	8.610	7.670	0.000	12.500	4.500	16.600	21.200	2.000	4.000	6.600	25.000	4.000	3.000	5.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
b toplaag (s ² /m ²)	847	2184	170	2501	920	2033	1584	514	539	913	3500	700	400	10500	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
k' [m/s] gemeten:	0.030	0.020	0.077	0.018	0.031	0.018	0.019	0.042	0.040	0.030	0.014	0.024	0.036	0.044	0.008	0.004	0.080	0.010	0.001	0.006	0.007	0.012	0.017			
% open oppervlak	10.380	10.380	4.569	4.569	13.885	4.515	4.515	2.843	9.762	9.762	0.665	1.553	2.300	2.840	1.019	1.288	1.288	6.623	0.679	0.680	0.874	1.737	3.957			
k (m/s)	0.029	0.021	0.046	0.015	0.037	0.015	0.015	0.032	0.029	0.020	0.006	0.021	0.032	0.027	0.004	0.002	0.002	0.098	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004			
k' berekend/gemeten	0.999	1.078	0.605	0.826	1.212	0.810	0.779	0.761	0.734	0.689	0.480	0.696	0.884	0.607	0.472	0.470	0.658	0.725	0.243	0.005	0.242	0.337	0.763			
Aandeel weerstand langsvoeg (%)	0	0	8	26	0	27	27	26	0	0	58	33	14	26	38	3	4	0	65	50	9	1	0			
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	35	28	1	0	0	30	37	35			
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: verval over geotextiel	3	4	0	0	3	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	3			
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval door spleetwand	0	0	1	3	0	3	3	19	0	0	5	21	21	15	1	1	10	2	0	0	0	0	0			
turbulent: instroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: uitstroomverval	4	2	0	0	7	0	0	7	0	0	1	15	34	10	0	7	10	48	0	0	0	5	8			
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval over inwassing	82	80	0	0	82	0	0	0	48	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Aandeel weerstand stootvoeg (%)	8	11	0	0	0	0	0	0	0	0	23	13	5	0	19	3	4	0	32	50	9	1	0			
laminair: verval door spleetwand	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	35	28	0	0	0	30	37	35			
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval door spleetwand	2	2	14	0	1	0	0	5	0	0	2	8	6	3	0	1	17	1	0	0	0	0	0			
turbulent: instroomverval	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: uitstroomverval	0	0	70	3	0	5	3	37	0	0	6	14	39	0	7	10	14	0	0	0	0	5	8			
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Aandeel van weerstand gat (%)	0	0	0	0	63	0	59	61	0	48	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: verval door gatwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval door gatwand	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: instroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
turbulent: verval over inwassing	1	1	0	0	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Tabel 9, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 7, maar met aangepaste doortatendheid van inwasmateriaal ($b_v = 0,10/(gn^5 D_{v15})$)

onderzoek	Doortlathidsmetingen steenzettingen, Kuiper en Klein Breieler, H3911, nov '01											Gezette blokken op kant. H3564, Smith '00											Deel XVIII, jan. '90, sectie 5											MKB '99 Traalbekledingen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5										
	1a	1b	2a	2b	3a	4a	4b	5a	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basalt	Deltagool	B1	B2	B3	B4	B5																				
proefnummer	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.20	0.10	0.10	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10																					
D [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.30	0.10	0.25	0.25	0.25	0.10																					
B [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.30	0.20	0.25	0.25	0.25																						
langsoegen [mm]	22.32	22.32	1.12	1.12	31.37	1.15	2.17	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	2.00	0.60	1.60	1.60	15.00	15.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10																					
stootvoegen [mm]	1.36	1.36	20.48	20.48	1.35	20.11	20.11	9.11	13.20	13.20	1.10	2.10	3.20	9.00	0.60	1.60	1.60	6.00	0.59	0.10	1.10	2.20	5.10																					
inwassing spleet: n	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50																					
inwassing spleet: DF15 [mm]	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
gevuild deel langsoveg	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
gevuild deel stootvoeg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
gatafstand B' [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20																						
gatafstand L' [m]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50																						
gatoppervlak Ag (cm²)	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	8.00	8.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
inwassing gat: DF15 [mm]	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50																						
inwassing gat: n [l]	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
inwassing gat: gevuld deel	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00																						
inwassing gat: DF15 [mm]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35																						
Geotextiel: AgTg [s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
Geotextiel: BgTg [s²/m²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																						
Gemeten:																																												
a filter (s/m)	0.340	0.000	0.520	0.940	0.890	0.450	1.100	3.200	0.640	0.160	3.900	3.900	3.900	4.500	?	?	?	?	?	?	?	?	?																					
b filter (s²/m²)	110	130	113	97	110	152	107	262	38	48	386	386	386	150	?	?	?	?	?	?	?	?	?																					
k filter (m/s)	0.168	0.160	0.164	0.170	0.161	0.143	0.160	0.084	0.269	0.257	0.078	0.078	0.078	0.078	0.107	0.003	0.006	0.121	?	?	?	?	?																					
a topklaag (s/m)	8.610	7.670	0.000	12.500	4.500	16.600	21.200	2.000	4.000	6.600	25.000	4.000	3.000	5.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																					
b topklaag (s²/m²)	847	2194	170	2501	920	2033	1584	514	539	913	3500	1600	700	400	10500	0	0	0	0	0	0	0	0																					
K [m/s] gemeten	0.030	0.020	0.077	0.018	0.031	0.018	0.019	0.042	0.040	0.030	0.014	0.024	0.036	0.044	0.008	0.004	0.004	0.060	0.010	0.001	0.006	0.007	0.012																					
Berekenende resultaten:																																												
% open oppervlak	10.554	10.554	4.766	4.766	14.047	4.712	4.712	3.044	9.966	9.966	1.072	1.758	2.503	3.042	1.461	1.503	1.503	6.802	1.321	0.319	1.111	1.970	4.182																					
K' [m/s]	0.031	0.023	0.062	0.018	0.040	0.019	0.050	0.030	0.021	0.021	0.012	0.031	0.034	0.044	0.009	0.004	0.005	0.092	0.008	0.000	0.004	0.005	0.010																					
K' berekend/gemeten	1.051	1.178	1.074	1.044	1.309	1.029	0.985	1.196	0.752	0.705	0.862	1.297	0.993	0.995	1.086	1.191	1.509	1.149	0.753	0.278	0.602	0.730	0.887																					
Aandeel weerstand langsoveg (%)																																												
laminair: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	31	0	22	47	5	6	0	59	43	10	3	1																					
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	19	0	0	2	20	27	26																					
laminair: verval over geotextiel	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	0	0	4	11	9	8																					
turbulent: verval door spleetwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: instroomverval	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	11	32	19	20	5	3	5	35	8	0	0	4	2																					
turbulent: uitstroomverval	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	6	3	0	7	9	30	0	0	5	9	13																					
turbulent: verval over inwassing	82	77	0	0	85	0	0	0	48	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
Aandeel weerstand stootvoeg (%)																																												
laminair: verval door spleetwand	10	13	0	0	7	0	0	0	0	0	21	12	0	0	24	5	6	0	29	43	10	3	1																					
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	19	0	0	2	20	27	26																					
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	0	0	4	11	9	8																					
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval door spleetwand	4	5	44	0	3	0	0	0	0	0	4	13	8	12	2	3	5	19	4	0	0	4	2																					
turbulent: instroomverval	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0																					
turbulent: uitstroomverval	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	2	3	32	0	0	7	9	3	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	54	0	52	0	48	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
Aandeel van weerstand gat (%)																																												
laminair: verval door gatwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0																					
laminair: aanstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
laminair: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
laminair: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval door gatwand	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: instroomverval	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	17	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: uitstroomverval	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval over geotextiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					
turbulent: verval over inwassing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																					

Tabel 11, Vergelijking gemeten doorlatendheden met berekende waarden zoals tabel 10, maar met rekenwaarde voor de spleetbreedte die 0,3 mm groter is dan de gemeten waarde

tabel	proefnummer	Doortatendheidsmetingen steenzettingen, Kuiper en Klein Breteler, H3911, nov '01										Gezette blokken op kant, H3564, Smith '00					Deel XVIII, jan. '90, sectie 5		MKB '99	Taludbekledingen, deel XVIII, jan. '90, sectie 5				
		1a	1b	2a	2b	3a	4a	4ah	5a	6a	6b	1	2	3	4	5	T1	T2	Basalt	Deltagoot	B1	B2	B3	B4
Tabel 1, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden volgens ANAMOS formule, maar met verbeterde sommatie van langsoeven, stootvoegen en gaten																								
K' berekend [m/s]	0.019	0.014	0.043	0.010	0.024	0.010	0.010	0.026	0.017	0.012	0.006	0.016	0.019	0.023	0.003	0.003	0.003	0.058	0.002	0.000	0.002	0.003	0.005	0.009
K' berekend/gemeten	0.629	0.704	0.556	0.580	0.790	0.519	0.496	0.619	0.442	0.418	0.409	0.684	0.529	0.527	0.389	0.903	0.903	0.730	0.230	0.005	0.325	0.428	0.408	0.543
aandeel spleetweerstand [%]	8	11	12	29	6	32	32	22	0	0	72	35	52	22	66	12	12	12	92	99	23	4	1	0
aandeel in-uitstroomweerstand [%]	5	6	41	8	4	10	10	42	2	1	19	51	31	35	28	15	15	57	8	0	17	10	5	1
aandeel aanstroomweerstand [%]	1	1	47	1	2	1	1	36	1	0	9	14	17	43	6	56	56	31	0	0	45	74	87	94
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	0	0	1	15	12	8	4
aandeel weerstand inwasm. [%]	86	83	0	62	88	58	58	0	97	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 3, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden volgens ANAMOS formule, maar met verbeterde sommatie van langsoeven, stootvoegen en gaten, en gemeten doortatendheid van het filter																								
K' berekend [m/s]	0.019	0.014	0.040	0.010	0.024	0.010	0.010	0.025	0.018	0.012	0.006	0.016	0.019	0.022	0.003	0.002	0.002	0.048	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.628	0.703	0.515	0.579	0.787	0.518	0.496	0.604	0.443	0.418	0.405	0.674	0.520	0.504	0.394	0.459	0.630	0.600	0.230	0.005	0.228	0.266	0.331	0.742
aandeel spleetweerstand [%]	8	11	12	29	6	32	32	21	0	0	72	35	50	22	66	6	8	11	92	99	16	3	0	0
aandeel in-uitstroomweerstand [%]	5	6	35	8	4	10	10	41	2	1	19	50	30	33	30	4	7	40	8	0	8	4	3	3
aandeel aanstroomweerstand [%]	2	1	53	1	3	1	1	38	0	0	9	15	20	45	4	82	73	49	0	0	65	86	90	91
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	0	0	1	11	7	6	8
aandeel weerstand inwasm. [%]	86	83	0	62	87	57	57	0	98	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 4, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 3, maar met verbeterde formule voor de in-uitstroomweerstand																								
K' berekend [m/s]	0.019	0.014	0.040	0.011	0.025	0.010	0.010	0.026	0.018	0.012	0.006	0.016	0.019	0.022	0.003	0.002	0.002	0.048	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.629	0.704	0.517	0.580	0.788	0.518	0.496	0.604	0.444	0.419	0.406	0.674	0.521	0.504	0.394	0.459	0.631	0.602	0.230	0.005	0.228	0.266	0.331	0.742
aandeel spleetweerstand [%]	8	11	12	29	6	32	32	21	0	0	72	35	50	22	66	6	8	11	92	99	16	3	0	0
aandeel in-uitstroomweerstand [%]	5	6	35	8	3	10	10	41	1	1	19	50	30	33	30	4	7	41	8	0	8	4	3	3
aandeel aanstroomweerstand [%]	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	0	0	1	11	7	6	8
aandeel weerstand inwasm. [%]	86	83	0	62	88	57	58	0	98	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 5, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 4, maar met verpogte porositeit van het filter betreffende de instroomweerstand																								
K' berekend [m/s]	0.019	0.014	0.046	0.011	0.025	0.010	0.010	0.027	0.018	0.012	0.006	0.016	0.021	0.027	0.003	0.002	0.002	0.056	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.648	0.731	0.595	0.612	0.807	0.553	0.530	0.552	0.447	0.420	0.457	0.485	0.584	0.601	0.404	0.470	0.658	0.695	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337	0.753
aandeel spleetweerstand [%]	12	16	15	36	9	40	40	39	0	0	82	81	64	31	88	6	9	16	97	99	17	3	0	0
aandeel instroomweerstand [%]	2	3	15	4	2	4	4	10	0	0	8	8	12	18	9	1	2	23	3	0	2	1	1	1
aandeel uitstroomweerstand [%]	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
aandeel aanstroomweerstand [%]	2	1	70	1	3	1	1	52	0	0	10	11	24	51	4	84	77	61	0	0	70	89	92	93
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	0	0	1	11	7	7	6
aandeel weerstand inwasm. [%]	84	80	0	59	87	54	54	0	99	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 6, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 5, maar met verkleinde ruwheid van de spleetwand																								
K' berekend [m/s]	0.019	0.014	0.046	0.011	0.025	0.010	0.010	0.027	0.018	0.012	0.006	0.016	0.026	0.027	0.003	0.002	0.002	0.058	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.649	0.731	0.605	0.612	0.807	0.553	0.530	0.639	0.447	0.420	0.459	0.680	0.716	0.607	0.433	0.470	0.658	0.725	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337	0.753
aandeel spleetweerstand [%]	12	16	13	36	9	40	40	36	0	0	82	69	47	29	78	6	9	11	97	99	17	3	0	0
aandeel instroomweerstand [%]	2	3	16	4	2	4	4	14	0	0	8	15	19	18	15	1	2	27	3	0	2	1	1	1
aandeel uitstroomweerstand [%]	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
aandeel aanstroomweerstand [%]	2	1	72	1	3	1	1	50	0	0	10	16	35	53	7	84	77	64	0	0	70	89	92	93
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	0	0	1	11	7	7	6
aandeel weerstand inwasm. [%]	84	80	0	59	87	54	54	0	99	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 7, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 6, maar met overgang van laminaire naar turbulente stroming in de spleet bij Re=2500 (gat: Re = 5000)																								
K' berekend [m/s]	0.019	0.014	0.046	0.011	0.025	0.010	0.010	0.032	0.018	0.012	0.006	0.021	0.032	0.027	0.004	0.002	0.002	0.058	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.649	0.731	0.605	0.612	0.807	0.553	0.530	0.781	0.447	0.420	0.460	0.896	0.884	0.607	0.472	0.470	0.658	0.725	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337	0.753
aandeel spleetweerstand [%]	12	16	13	36	9	40	40	29	0	0	81	46	20	29	63	6	9	11	97	99	17	3	0	0
aandeel instroomweerstand [%]	2	3	16	4	2	4	4	24	0	0	8	29	29	18	25	1	2	27	3	0	2	1	1	1
aandeel uitstroomweerstand [%]	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
aandeel aanstroomweerstand [%]	2	1	72	1	3	1	1	47	0	0	11	25	52	53	12	84	77	64	0	0	70	89	92	93
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	0	0	1	11	7	7	6
aandeel weerstand inwasm. [%]	84	80	0	59	87	54	54	0	99	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 8, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 7, maar met aangepaste doortatendheid van inwasmateriaal (bv = 0,14/(gn5Dv15))																								
K' berekend [m/s]	0.025	0.018	0.046	0.013	0.032	0.013	0.014	0.032	0.025	0.017	0.006	0.021	0.032	0.027	0.004	0.002	0.002	0.058	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.840	0.937	0.605	0.740	1.050	0.730	0.701	0.781	0.622	0.585	0.460	0.896	0.884	0.607	0.472	0.470	0.658	0.725	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337	0.753
aandeel spleetweerstand [%]	9	12	13	30	7	31	30	29	0	0	81	46	20	29	63	6	9	11	97	99	17	3	0	0
aandeel instroomweerstand [%]	2	2	16	3	1	3	3	24	0	0	8	29	29	18	25	1	2	27	3	0	2	1	1	1
aandeel uitstroomweerstand [%]	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
aandeel aanstroomweerstand [%]	3	2	72	2	5	3	3	47	1	0	11	25	52	53	12	84	77	64	0	0	70	89	92	93
aandeel weerstand geotextiel [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	0	0	1	11	7	7	6
aandeel weerstand inwasm. [%]	86	84	0	65	87	63	63	0	99	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabel 9, Vergelijking gemeten doortatendheden met berekende waarden zoals tabel 7, maar met aangepaste doortatendheid van inwasmateriaal (bv = 0,10/(gn5Dv15))																								
K' berekend [m/s]	0.029	0.021	0.046	0.015	0.037	0.015	0.015	0.032	0.029	0.020	0.006	0.021	0.032	0.027	0.004	0.002	0.002	0.058	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.012
K' berekend/gemeten	0.969	1.076	0.605	0.826	1.212	0.810	0.779	0.761	0.734	0.689	0.460	0.896	0.884	0.607	0.472	0.470	0.658	0.725	0.243	0.005	0.242	0.273	0.337	0.753
aandeel spleetweerstand [%]	8	11	13	27	6	28	27	29	0	0	81	46	20	29	63	6	9	11	97	99	17	3	0	0
aandeel instroomweerstand [%]	2	2	16	3	1	3	3	24	0	0	8	29	29	18	25	1	2	27	3	0	2	1	1	1
aandeel uitstroomweerstand [%]	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
aandeel aanstroomweerstand [%]	4	2	72	3	7	5																		

LANGSVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
instroom+aanstroom			3	3		2	15	40 à 45
geotextiel (geschat)			-	-		-	-	5
inwassing			-	-		-	-	-
spleet			7	43		45	34	4 à 5
uitstroom			-1	-4		-4	-4	-2 à 1

STOOTVOEG

	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
instroom+aanstroom	2	0	48		0		27	40 à 45
geotextiel (geschat)	-	-	-		-		-	5
inwassing	-	-	-		-		-	-
spleet	13	16	50		11		30	4 à 5
uitstroom	-1	1	-9		-1		-1	-2 à 1

Tabel 13a Gemeten vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaa) in de stoot- en langsvogen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

LANGSVOEG

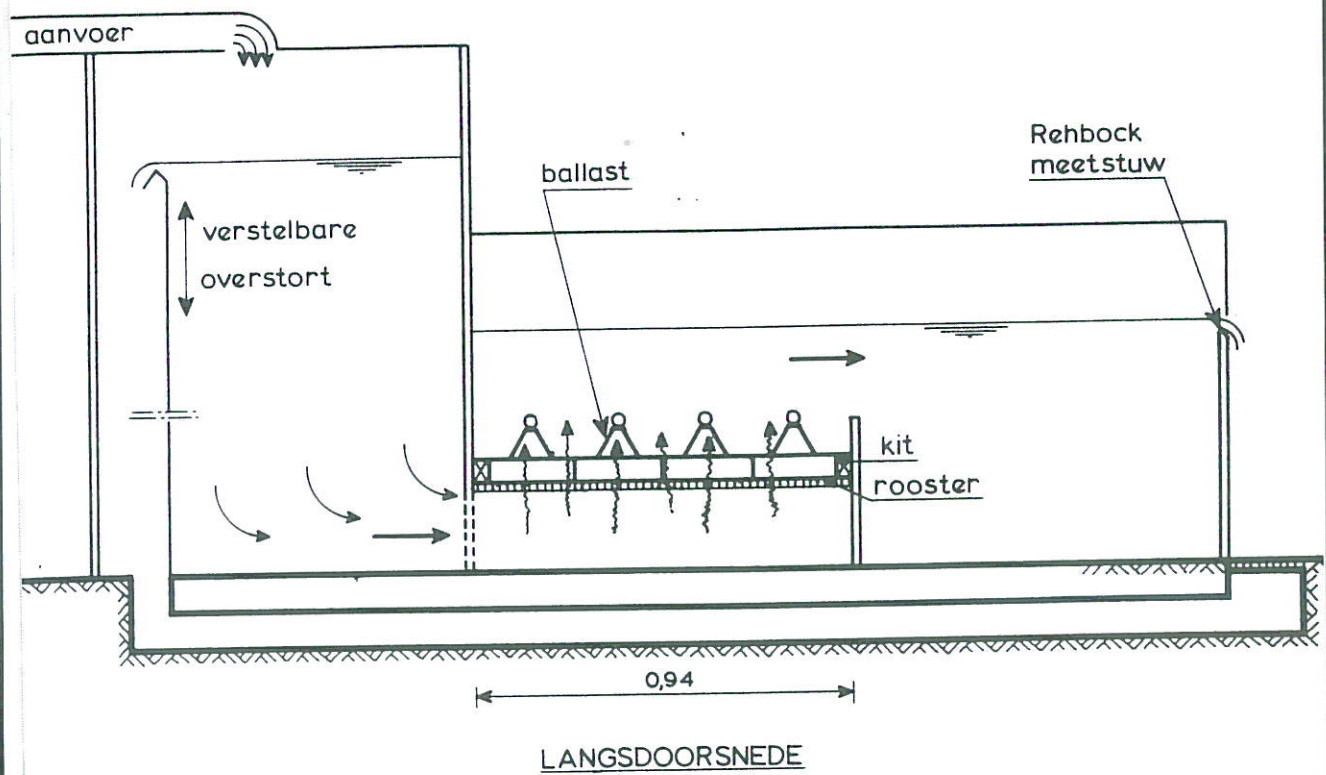
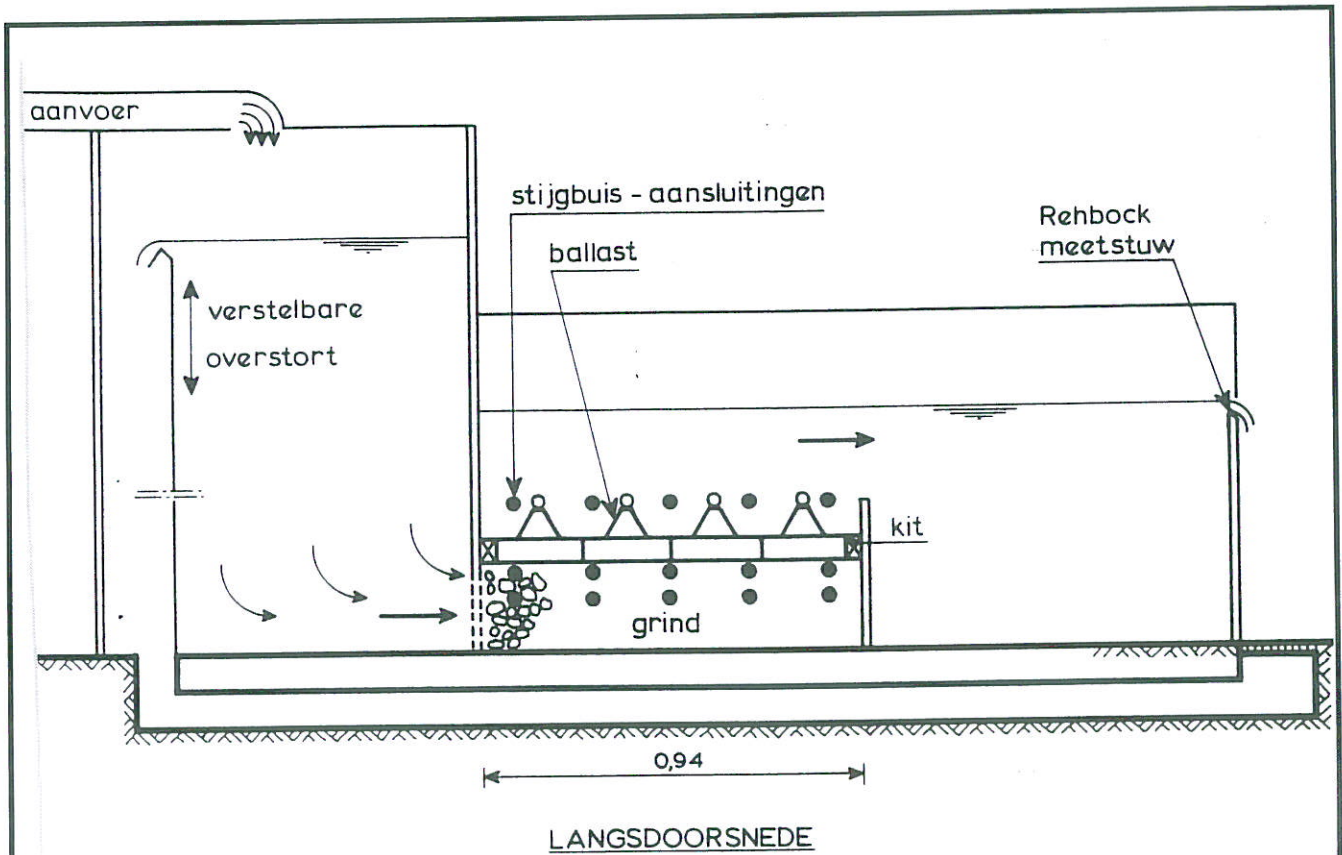
	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
aandeel langsvogen	86	81	9	42	89	43	45	50
instroom+aanstroom			2	8		8	25	34
geotextiel			-	-		-	-	11
inwassing			-	-		-	-	-
spleet			8	34		34	20	6
uitstroom			0	0		0	0	0

STOOTVOEG

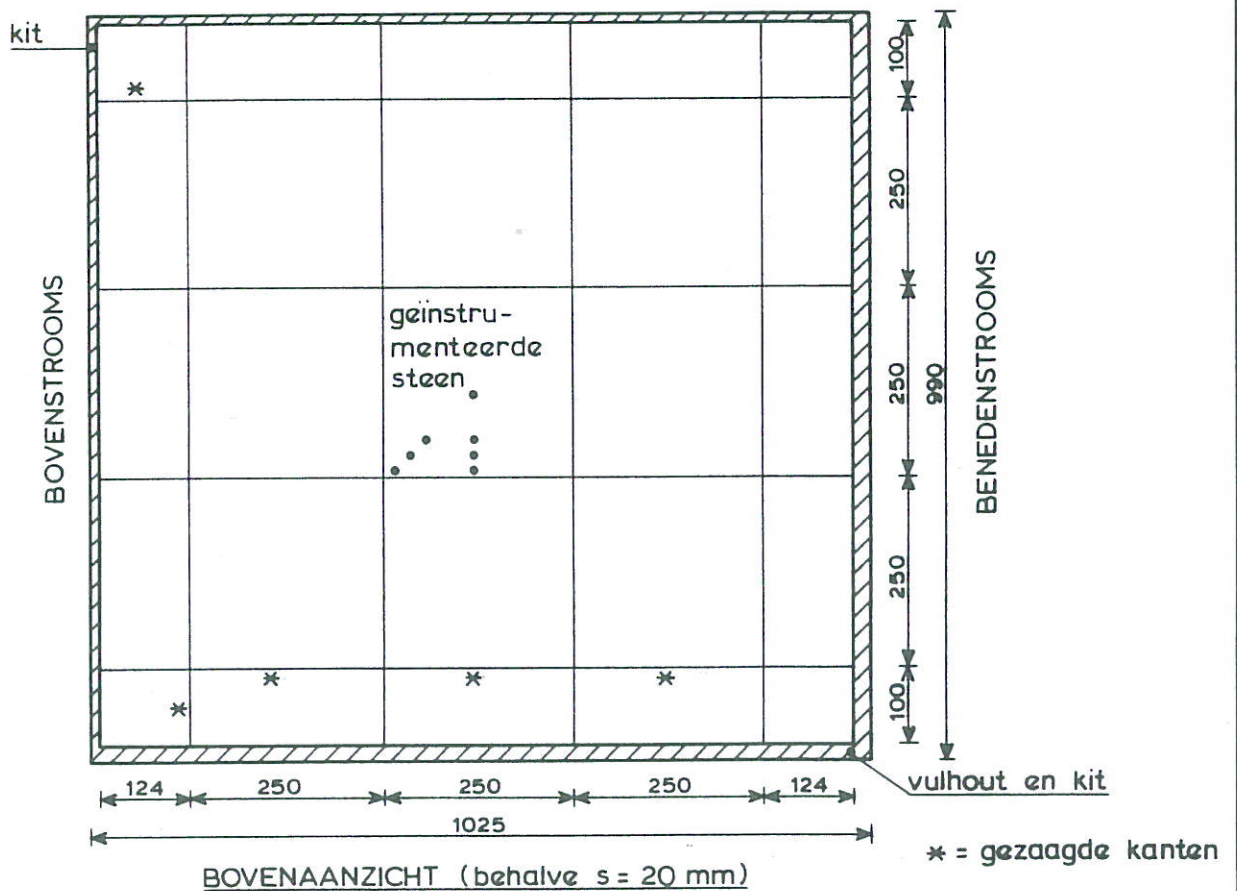
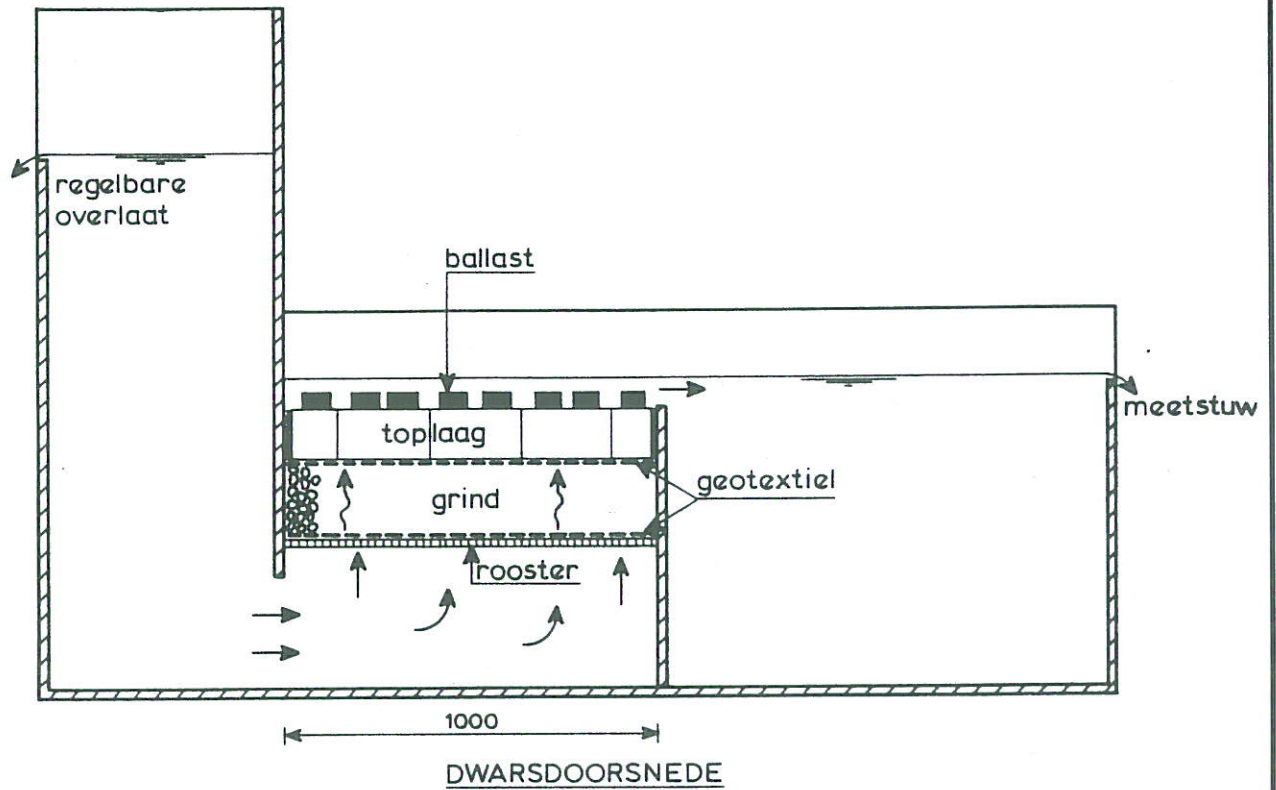
	Serie 1a	Serie 1b	Serie 2a	Serie 2b	Serie 3a	Serie h4a	Serie 5a	T1/T2
aandeel stootvogen	14	18	88	57	10	56	55	50
instroom+aanstroom	4	5	82		3		45	32
geotextiel	-	-	-		-		-	11
inwassing	-	-	-		-		-	-
spleet	10	13	9		7		11	6
uitstroom	0	0	-2		0		0	0

Tabel 13b Berekende vervallen (in procenten van het totaal verval over de toplaa) in de stoot- en langsvogen, vermenigvuldigd met het berekende aandeel van de betreffende spleten

Tabel 13 Gemeten en berekende vervalcomponenten bij spleten zonder inwasmateriaal



Doorsneden van eerste modelopstellingen



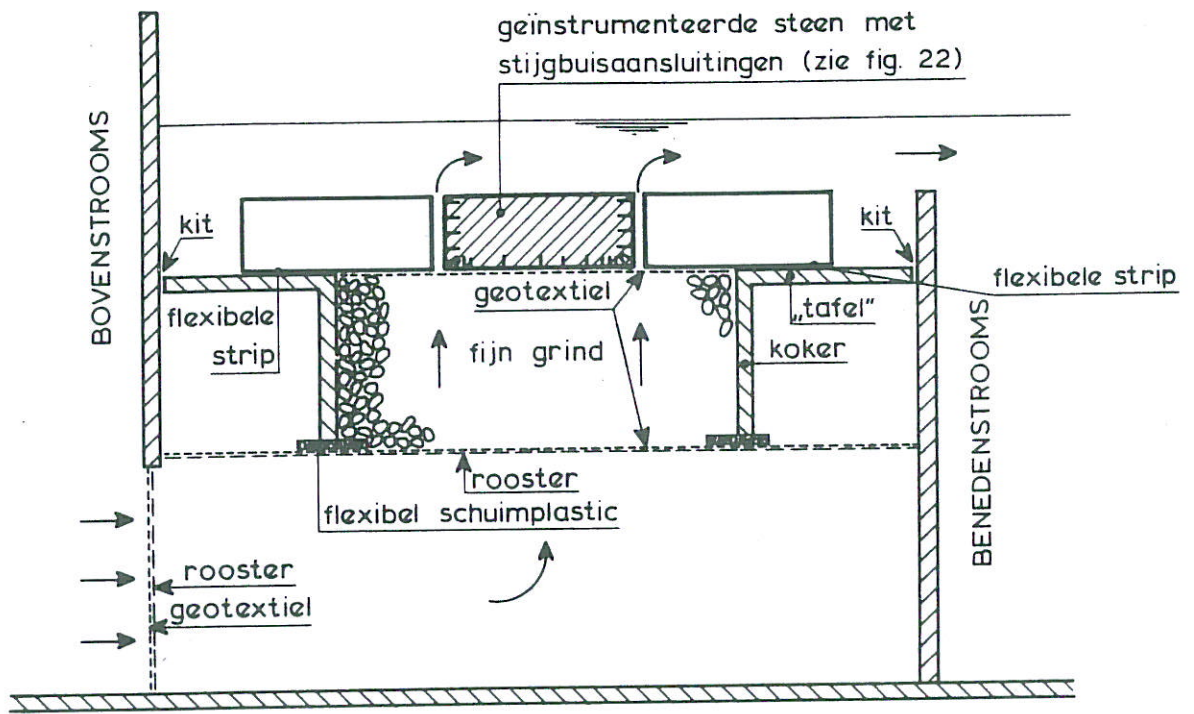
maten in mm

Doorsneden van verbeterde modelopstelling

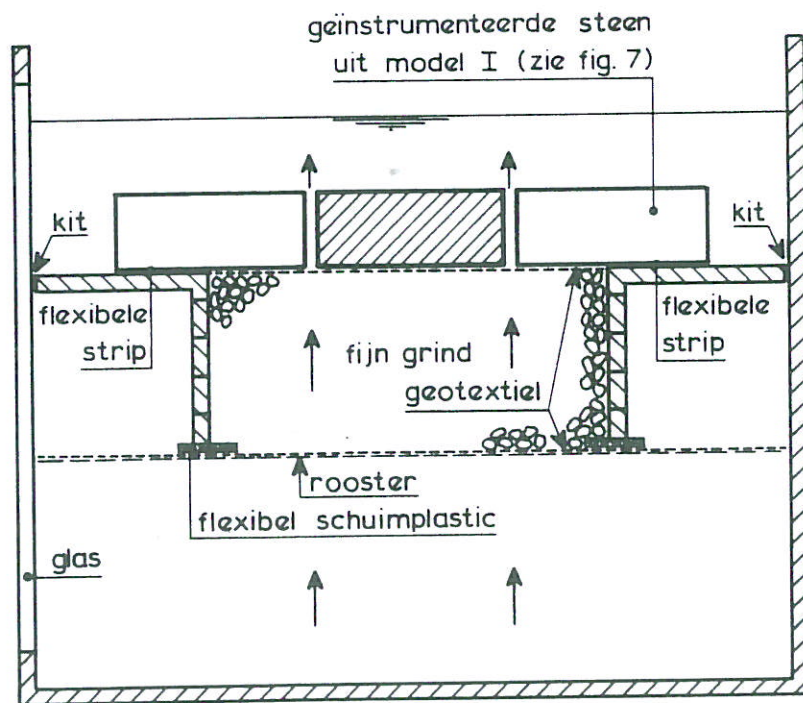
WL | Delft Hydraulics

H3911

FIG. 2

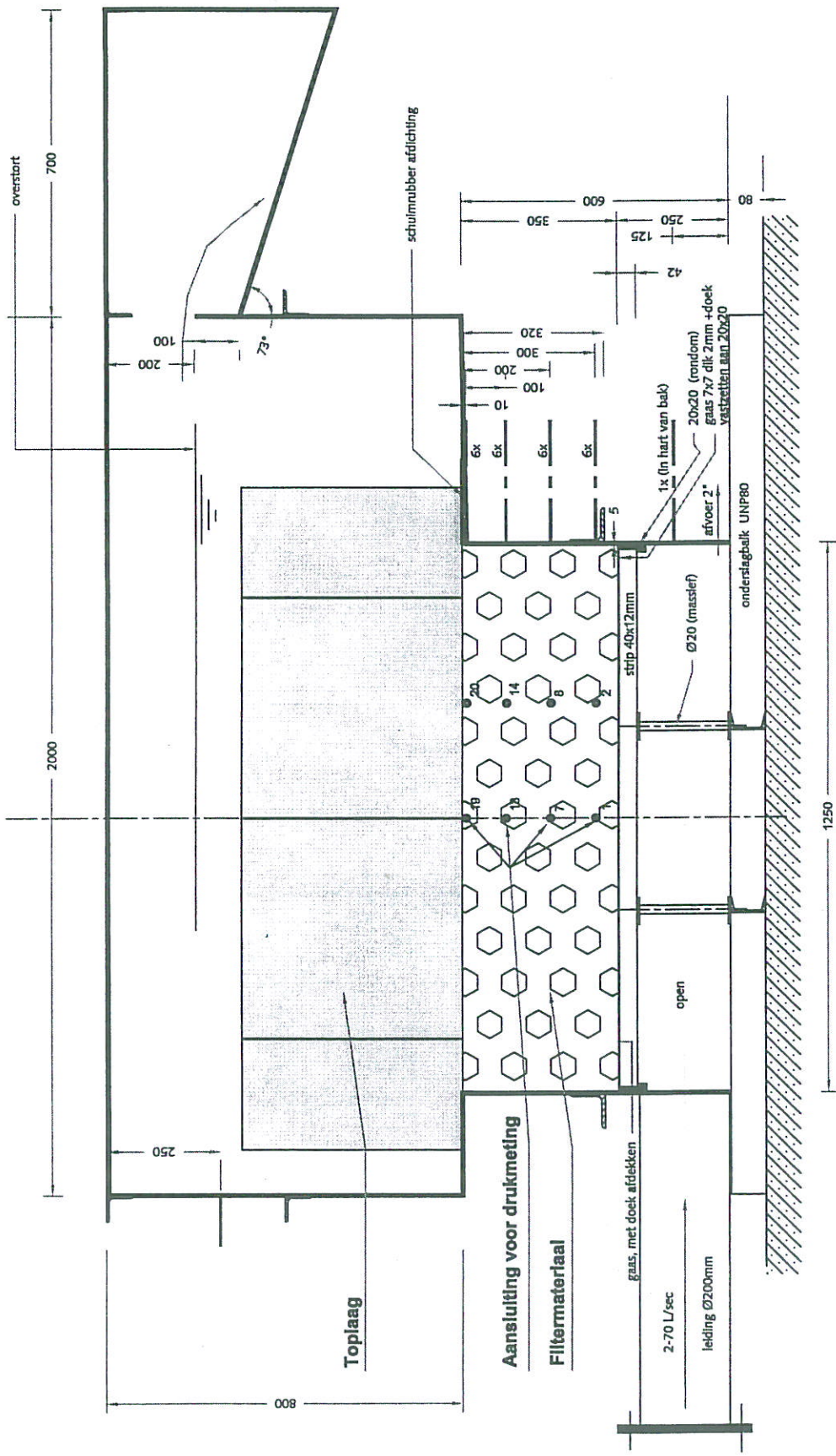


VERTIKALE LANGSDOORSNEDE



VERTIKALE DWARSDOORSNEDE

Doorsneden van opnieuw verbeterde modelopstelling



Doorsneden van modelopstelling van Smith en Klein Breteler (2000) en Kuiper en Klein Breteler (2001)



WL | Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

