

STEENSLUITINGEN IN ONDIEP WATER

onderzoek gedaan naar
aanleiding van het Saemankeum-project

door S.H. van Broekhoven

in opdracht van:

Bouwdienst Rijkswaterstaat

onder begeleiding van:

Prof.ir K d'Angremond
ir F.C. van Roode
ir G.J. Schiereck
dr.ir. H.L. Fontijn
ir. A.F. Franken (Bouwdienst)

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In addition, the document highlights the need for regular audits. By conducting periodic reviews, any discrepancies can be identified and corrected promptly. This proactive approach helps in maintaining the integrity of the financial statements and prevents the accumulation of errors.

Furthermore, it is noted that clear communication is essential. All parties involved in the process should be kept informed of the current status and any changes that may affect the records. This collaborative effort is key to achieving accurate and reliable results.

The second section of the document provides a detailed overview of the reporting requirements. It outlines the specific formats and deadlines for submitting the necessary documents. Adhering to these guidelines is crucial to avoid any penalties or delays in the processing of the information.

It is also mentioned that the reports should be prepared in a clear and concise manner. Using standardized templates and providing detailed explanations for any unusual entries will facilitate the review process. This attention to detail is necessary to ensure that the information is presented accurately and is easy to understand.

The third part of the document addresses the role of technology in record-keeping. It discusses how digital tools can streamline the process, reduce the risk of human error, and improve the overall efficiency of the system. Implementing secure and reliable software solutions is a significant step towards modernizing the record-keeping process.

However, it is also stressed that technology should not replace human oversight. Regular checks and balances are still required to ensure that the digital records are accurate and secure. A combination of manual and digital methods provides the most robust and reliable system for maintaining records.

The fourth section of the document focuses on the importance of data security. It outlines the various risks associated with storing sensitive information and provides strategies to mitigate these risks. This includes implementing strong password policies, using encryption, and ensuring that all data is backed up regularly.

Additionally, it is advised to limit access to the records to only those individuals who have a legitimate need to know. This helps in protecting the confidentiality of the information and prevents unauthorized disclosure. Regular security audits and updates are also essential to stay ahead of potential threats.

The fifth part of the document discusses the importance of training and education. It emphasizes that all staff members involved in the record-keeping process should receive proper training to ensure they are up-to-date on the latest procedures and best practices. Continuous learning is key to maintaining a high level of accuracy and efficiency.

Furthermore, it is noted that clear documentation of training sessions and the completion of necessary courses is important. This provides a clear record of the skills and knowledge of the staff, which is useful for compliance and quality assurance purposes.

The final section of the document provides a summary of the key points discussed throughout the report. It reiterates the importance of accuracy, transparency, and security in the record-keeping process. It also offers some final recommendations for ensuring the long-term success and reliability of the system.

In conclusion, maintaining accurate and secure records is a fundamental responsibility for any organization. By following the guidelines and best practices outlined in this document, organizations can ensure that their records are reliable, transparent, and secure, thereby supporting their overall operational and financial goals.

VOORWOORD

Voor u ligt het resultaat van mijn afstudeeronderzoek getiteld "Steensluitingen in ondiep water". Het onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het Saemankeum-project in Zuid-Korea. In dit rapport wordt verslag gedaan van mijn bevindingen.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat.

De resultaten uit het rapport kunnen worden gebruikt bij toekomstige projecten waarbij sprake is van ondiep water. Hierbij is voorzichtigheid geboden omdat zeer weinig bekend is over stromingen in ondiep water. De resultaten van dit afstudeeronderzoek zijn eerder een indicatie voor de optredende effecten dan ontwerpregels.

Bij het schrijven van het rapport ben ik er van uitgegaan dat de lezer een civieltechnische opleiding heeft. De basiskennis van de civiele techniek wordt verondersteld aanwezig te zijn. Getracht is de tekst ook begrijpelijk te maken voor andere geïnteresseerden.

Hierbij dank ik de heren d'Angremond, van Roode, Schiereck en Fontijn van de TU Delft en de heer Franken van de Bouwdienst, voor hun begeleiding tijdens mijn afstuderen.

Utrecht, 22 december 1995

Saskia van Broekhoven

INHOUD

1. INLEIDING

1.1 Omschrijving Saemankeum-project	5
1.2 Het NEDECO-ontwerp voor sluitgat 3	5
1.3 Probleemstelling	
1.3.1 Invloed van bodemwrijving op vervalafbouw	8
1.3.2 Geldigheid van de stabiliteitsrelaties	9
1.3.3 Afname stromingsbelasting	10
1.4 Doelstelling afstudeeronderzoek	11
1.5 Afbakening afstudeeronderzoek	11
1.6 Werkwijze	12
1.7 Structuur van het rapport	12

2. FYSISCH MODELONDERZOEK

2.1 Inleiding	13
2.2 Doel van het modelonderzoek	13
2.3 Gebruikte faciliteiten	13
2.4 Representativiteit van het modelonderzoek	14
2.5 Opzet van het modelonderzoek	15
2.6 Proefprogramma	16
2.7 Opstelling	
2.7.1 Basisopstelling	16
2.7.2 Opstelling serie I	19
2.7.3 Opstelling serie II	19
2.7.4 Opstelling serie III	21
2.7.5 Opstelling serie IV	21
2.8 Procedure	21
2.9 Definities	
2.9.1 Bodemniveau	22
2.9.2 Kritieke snelheid	22
2.10 Nauwkeurigheid van de meetresultaten	23
2.11 Beschrijving van de meetresultaten	23

3. VERVALAFBOUW OVER DE BODEMVERDEDIGING

3.1 Inleiding	25
3.2 Resultaten modelonderzoek	25
3.3 Analytische beschouwing	
3.3.1 Chezy-benadering	26
3.3.2 Bélanger-benadering	30
3.4 Conclusies	32

4. DE AFVOERCOËFFICIËNT

4.1 Inleiding	33
4.2 Theorie afvoerformule	33
4.3 Resultaten modelonderzoek	35
4.4 Afleiding formule	
4.4.1 Formule onvolkomen overlaat	39
4.4.2 Formule volkomen overlaat	41
4.4.3 Berekening afvoercoëfficiënt Saemankeum-project	42
4.4 Conclusie	43

5. STEENSTABILITEIT OP EN ACHTER DE DREMPELCONSTRUCTIE

5.1 Inleiding	45
5.2 K-waarden van drempel en bodemverdediging	
5.2.1 K-waarden van de drempel	45
5.2.2 K-waarden van de bodemverdediging	47
5.2.3 Invloed drempelhoogte op steenstabiliteit	48
5.2.4 Invloed waterdiepte op steenstabiliteit	49
5.2.5 Invloed bodemverdediging voor de drempel	50
5.3 Afname stroombelasting	54
5.4 Conclusie	58

6. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

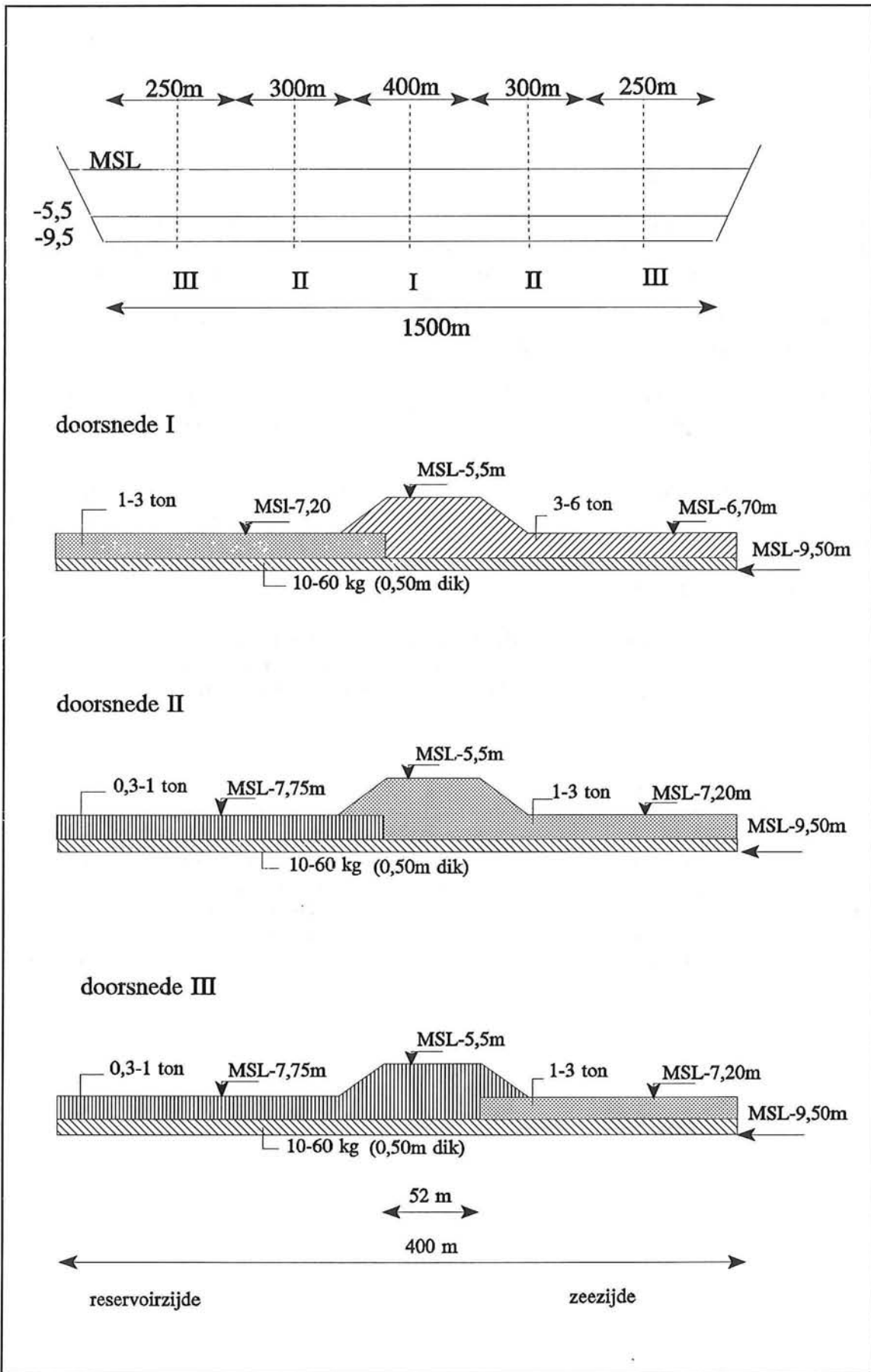
6.1 Conclusies	59
6.2 Aanbevelingen	60

7. INVLOED NEDECO-ONTWERP

7.1 Inleiding	61
7.2 Vertaling Saemankeum naar model	61
7.3 Stroomsnelheden	
7.3.1 Bepaling afvoercoëfficiënt gehele constructie	61
7.3.2 Maatgevende stroomsnelheden	63
7.4 Steendiameter bodemverdediging	63

LIJST VAN GEBRUIKTE LITERATUUR

BIJLAGEN



1.3 NEDECO-ontwerp bodemverdediging

Tabel 1.1

fase		h_{zee} [m]	h_{res} [m]	$u_{drempel}$ [m/s]
T_1	eb	-2,63	-1,42	-4,23
	vloed	1,96	1,14	3,51
T_2	eb	-2,18	-0,46	-5,22
	vloed	1,96	0,70	4,32
T_3	eb	-1,60	0,59	-5,74
	vloed	2,46	0,60	5,23

Door het grote tijverschil (6 m) neemt de stroomsnelheid aanzienlijke waarden aan.

Aan de hand van de verschillende stroomsnelheden is de benodigde steendiameter voor de toplaag van zowel de bodemverdediging als de drempel bepaald. Doordat grote stenen nodig zijn (3-6 ton) wordt de bodemverdediging vrij dik (tot 2,80 m). De gemiddelde waterdiepte in het sluitgat wordt hierdoor met circa 25% verkleind.

De geringe waterdiepte en de grote steendiameter leiden tot een kleine relatieve waterdiepte. Dit is de verhouding van de waterdiepte h en de steendiameter d . In Saemankeum worden voor de relatieve waterdiepte waarden variërend van 3 tot 8 gevonden. Als grens tussen relatief diep en ondiep water wordt veelal een waarde van 5 aangehouden.

In figuur 1.3 is een overzicht gegeven van het NEDECO-ontwerp van de bodemverdediging. In de sluitfase wordt het sluitgat horizontaal vernauwd; bij vordering van de sluiting neemt de stroomsnelheid en daarmee de aanval op de bodemverdediging in het sluitgat toe. Naarmate het sluitgat smaller wordt, zijn dus zwaardere stenen nodig. Dit is in de figuur te zien door de steengewichten van doorsnede 1 met die van doorsnede 3 te vergelijken.

In bijlage II is doorsnede 1 op schaal weergegeven; hierin is duidelijk te zien dat de drempel relatief laag is.

Het ontwerp dient als uitgangspunt voor het verdere onderzoek. Op de achtergronden van het NEDECO-ontwerp wordt hier niet ingegaan. In dit rapport wordt er ter vereenvoudiging van uitgegaan dat de constructie van doorsnede I over de gehele breedte van het sluitgat wordt toegepast.

1.3 Probleemstelling

In sluitgat 3 van het Saemankeum-project heeft men te maken met een groot verval over een relatief ondiep sluitgat. Deze onbekende situatie riep bij de ontwerpers van NEDECO een aantal vragen op, waarop binnen het tijdsbestek van het ontwerp geen antwoord kon worden gevonden. De gerezen vragen luiden als volgt:

- in hoeverre heeft de bodemwrijving invloed op de afbouw van het verval in het sluitgat;
- in hoeverre is de gebruikte stabiliteitsrelatie geldig voor de situatie zoals deze zich in Saemankeum voordoet;
- is de veronderstelde afname van de stromingsbelasting over de lengte van de bodemverdediging juist.

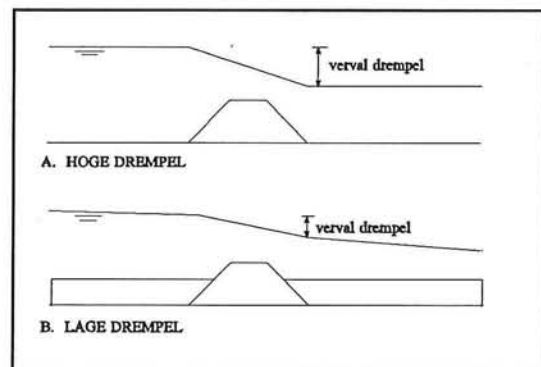
Deze vragen vormen de aanleiding voor dit afstudeeronderzoek. Bovenstaande vragen worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

1.3.1 Invloed van bodemwrijving op vervalafbouw

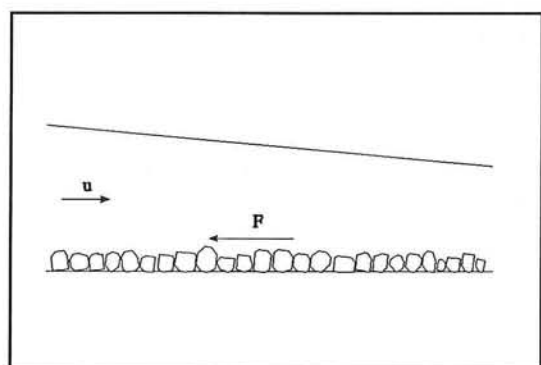
Bij de bepaling van de stroomsnelheden in het sluitgat is NEDECO er van uitgegaan, dat het verval dat over het sluitgat staat alleen over de drempel wordt afgebouwd (zie figuur 1.4 a). Met name in situaties waarin de relatieve waterdiepte klein is, gaat deze aanname niet zonder meer op.

Bij stroming over een ruwe bodem ondervindt de stroming een vertragende wrijvingskracht. Om deze wrijvingskracht te overwinnen moet zich een verval instellen (zie figuur 1.5). Naarmate de bodem ruwer is, neemt de wrijvingskracht en daarmee het benodigde verval toe. De bodemruwheid is een functie van de relatieve waterdiepte.

Doordat in Saemankeum sprake is van relatief ondiep water (ruwe bodem), zal het verval over de bodemverdediging voor en achter de drempel niet meer verwaarloosbaar zijn. Dit betekent dat, bij gegeven verval over het sluitgat, het verval over de drempel kleiner is dan bij een relatief gladde bodemverdediging.



1.4 Vervalafbouw over constructie



1.5 Wrijvingsweerstand

In de ontwerpberekeningen voor het Saemankeum-project is de stroomsnelheid op de drempel berekend met een afvoerformule voor overlaten (Lit. [2]):

$$\text{onvolkomen overlaat : } u = \mu \sqrt{2g(H-h)} \quad (1.1)$$

$$\text{volkomen overlaat : } u = m \sqrt{2g \cdot \frac{1}{3}H} \quad (1.2)$$

waarin:	u	stroomsnelheid op de drempel [m/s]
	μ	afvoercoëfficiënt onvolkomen overlaat [-]
	m	afvoercoëfficiënt volkomen overlaat [-]
	g	valversnelling [m/s ²]
	H	energiehoogte bovenstrooms van de drempel [m]
	h	waterstand benedenstrooms van de drempel [m]

Waar in dit rapport over de stroomsnelheid u wordt gesproken, wordt de diepte- en tijdsgemiddelde waarde bedoeld tenzij anders vermeld.

In de afvoercoëfficiënt worden de energieverliezen ten gevolge van wrijving, contractie en vertraging verdisconteerd. De voor de afvoercoëfficiënt gebruikte waarden zijn gebaseerd op situaties waarin het wrijvingsverlies een geringe rol speelt. In Saemankeum is dit echter niet het geval. Doordat de relatieve waterdiepte op de drempel klein is, kan het energieverlies door bodemwrijving op de drempel een aanzienlijke waarde aannemen zodat het maar de vraag is of de gebruikte waarden voor de afvoercoëfficiënt hier zonder meer mogen worden toegepast.

1.3.2 Geldigheid van de stabiliteitsrelaties

Bij de dimensionering van de stenen voor de drempel en de bodemverdediging is voor Saemankeum gebruik gemaakt van de formule van Shields. Deze luidt (Lit. [4]):

$$\Delta d = \frac{u^2}{C^2 \psi} \quad (1.3)$$

waarin:	Δ	relatieve dichtheid ($\rho_{\text{steen}} - \rho_{\text{water}} / \rho_{\text{water}}$) [-]
	d	steendiameter [m]
	u	stroomsnelheid [m/s]
	C	Chezy-waarde [m ^{3/2} /s]
	ψ	Shields-parameter [-]

In dit rapport wordt voor de steendiameter de nominale steendiameter d_{n50} gebruikt.

Formule (1.3) is geldig voor een uniforme stroming. In het algemeen is de stroming rond een constructie verre van uniform; de constructie introduceert versnellingen, vertragingen en turbulentie in de stroming. De invloed hiervan op de stabiliteit van de stenen wordt meegenomen als een vergrotingsfactor K op de stroomsnelheid. De formule van Shields wordt hiermee:

$$\Delta d = \frac{K^2 \cdot u^2}{C^2 \psi} \quad (1.4)$$

De factor K wordt gedefiniëerd als:

$$K = \frac{u_{kr,uniform}}{u_{kr,constructie}} \quad (1.5)$$

Hierin is $u_{kr, constructie}$ de kritieke snelheid in een stroming rond de constructie en $u_{kr, uniform}$ de kritieke snelheid in een uniforme stroming bij gelijke waterdiepte.

In de vertragende stroming achter een drempel is de turbulentie-intensiteit hoog; dit leidt tot een grotere belasting op de stenen. Hierdoor zijn de stenen in de stroming achter de drempel minder stabiel dan in een eenparige stroming. De factor K heeft dan een waarde groter dan 1.

De stroming op een drempel versnelt en de turbulentie-intensiteit neemt af in benedenstroomse richting. Hierdoor zijn stenen op het vlakke deel van een drempel stabiel dan in een eenparige stroming. De K-waarde op de drempel kan waarden kleiner dan 1 aannemen.

Het gebruik van stabiliteitsrelatie (1.4) leidt tot een dermate zware bodemverdediging in sluitgat 3, dat vraagtekens worden gezet bij de geldigheid van de stabiliteitsrelatie voor een situatie zoals deze zich in Saemankeum voordoet.

1.3.3 Afname stromingsbelasting

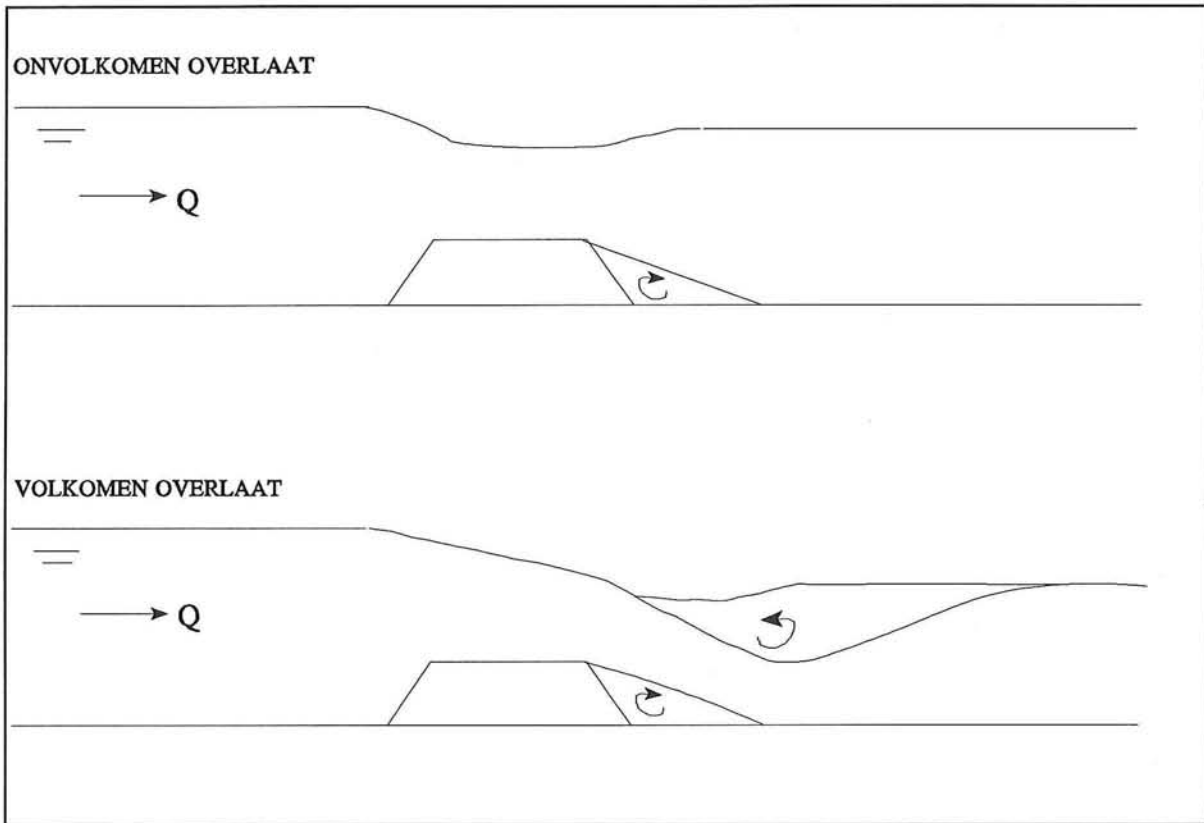
Bij stroming over een drempel ontstaat in het algemeen het in figuur 1.6 weergegeven beeld (Lit. [10]). De stroming duikt achter de drempel naar de bodem tot het punt waar de stroming de bodem raakt. Benedenstrooms van dit aanligpunt spreidt de stroming zich over de waterdiepte waardoor de stroomsnelheid in benedenstroomse richting afneemt.

De vertragende stroming achter de drempel impliceert een hoge mate van turbulentie. Benedenstrooms van het aanligpunt past de stroming zich aan tot een eenparige stroming. Hierdoor neemt de turbulentie in benedenstroomse richting af.

In benedenstroomse richting neemt de belasting op de bodemverdediging door stroming dus af. Dit uit zich in een afname van de benodigde steendiameter met de afstand tot de drempel. Tevens is de belasting op de benedenstroomse rand van de bodemverdediging bepalend voor de diepte van de erosiekuil en daarmee voor de benodigde lengte van de bodemverdediging.

Zie voor een uitgebreider beschouwing over de lengtebepaling van de bodemverdediging Lit. [4].

In Saemankeum is de drempel relatief laag (zie bijlage II). Dit betekent dat de waterdiepte achter de drempel vrijwel gelijk is aan de waterdiepte op de drempel. De stroming kan zich achter de drempel vrijwel niet over de vertikaal spreiden en zal derhalve ook weinig vertragen. Bovendien ontstaat bij relatief ondiep water een wrijvingsverval over de bodemverdediging waardoor de stroming in benedenstroomse richting versnelt. Dit leidt zelfs tot een toename van de belasting op de stenen.



1.6 Stroming over een drempel

Tevens introduceert de ruwe bodemverdediging turbulentie in het water. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat de turbulentie benedenstrooms van het aanligpunt niet afneemt maar gelijk blijft of zelfs toeneemt.

De relatief lage drempel kan tot gevolg hebben dat de belasting op de stenen achter de drempel nauwelijks afneemt in benedenstroomse richting. Dit leidt tot een extreem lange bodemverdediging bestaande uit zware stenen.

1.4 Doelstelling afstudeeronderzoek

Gedurende het afstudeeronderzoek wordt gezocht naar antwoorden op de gerezen vragen zoals omschreven in paragraaf 1.3. Hierdoor wordt meer kennis verkregen omtrent de aspecten die een rol spelen bij steensluitingen in ondiep water. Deze kennis kan worden toegepast bij toekomstige projecten waarbij een soortgelijke situatie optreedt. Een voorbeeld hiervan is het project "Gulf of Khambhat" in India.

1.5 Afbakening afstudeeronderzoek

Gedurende het onderzoek wordt niet ingegaan op de achtergronden van het NEDECO-ontwerp, zoals daar zijn de sluitingsmethode, de sluitingsstrategie en de geometrie van de constructie in het sluitgat.

De mogelijke invloed van golven, dichtheidsstromen en scheepvaart op de stroming in het sluitgat wordt buiten beschouwing gelaten.

Bij dit onderzoek wordt niet gekeken naar de juistheid van de stabiliteitsrelatie van Shields, maar worden waarden gezocht voor de K-factor. Verder wordt gekeken naar het verloop van de turbulentie en de snelheid met de afstand tot de drempel.

1.6 Werkwijze

In de beginfase van het afstudeeronderzoek is een beperkte literatuurstudie gedaan naar de aspecten die bij afsluitingen en stroming door sluitgaten een rol spelen.

Vervolgens is een fysisch model opgezet waarin onderzoek is gedaan. Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek wordt een antwoord gezocht op de vragen welke zijn omschreven in paragraaf 1.3.

1.7 Structuur van het rapport

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een beschrijving gegeven van het fysisch modelonderzoek. De resultaten hiervan worden in de desbetreffende hoofdstukken besproken.

Vervolgens wordt gekeken naar de mate waarin het verval over de verschillende delen van de constructie in het sluitgat wordt afgebouwd. Hierbij wordt getracht de resultaten van het modelonderzoek analytisch te benaderen. Dit wordt in hoofdstuk 3 gedaan voor de bodemverdediging en in hoofdstuk 4 voor de drempel.

In hoofdstuk 5 wordt gekeken naar de waarden die de K-factor aanneemt in de situatie van Saemankeum. Daarnaast wordt onderzocht of de belasting op de stenen achter de drempel varieert met de afstand tot de drempel.

In hoofdstuk 6 worden de conclusies van het onderzoek weergegeven.

In hoofdstuk 7 wordt aan de hand van deze conclusies de invloed van de bevindingen van het onderzoek op het NEDECO-ontwerp bepaald.

2. FYSISCH MODELONDERZOEK

2.1 Inleiding

Ten behoeve van het afstudeeronderzoek is gebruik gemaakt van een fysisch model. Hierin wordt onderzoek gedaan naar de stroming over een bodemverdediging waarop een drempel is aangebracht. In dit hoofdstuk worden de doelstelling, het proefprogramma en de uitvoering van het onderzoek besproken. De resultaten worden besproken in de desbetreffende hoofdstukken.

2.2 Doel van het modelonderzoek

Het doel van het fysisch modelonderzoek is te bepalen:

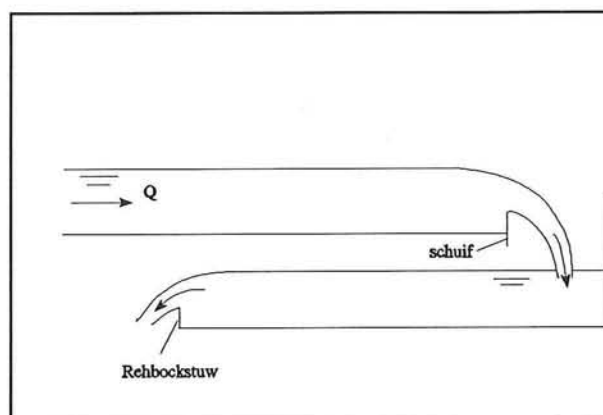
1. in hoeverre een deel van het totale verval over het sluitgat wordt afgebouwd boven de bodemverdediging;
2. welke K-waarden moeten worden gebruikt bij de bepaling van de stabiliteit van de stenen op en achter de drempel;
3. of de relatieve waterdiepte en drempelhoogte van invloed zijn op deze K-waarden;
4. hoe de turbulentie en de stroomsnelheid achter de drempel verlopen;

2.3 Gebruikte faciliteiten

De proeven zijn uitgevoerd in een stroomgoot van het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de TU Delft. De goot is 14 m lang, 0,40 m breed en 0,40 m hoog. In deze goot zijn de verschillende constructies aangebracht waarover de stroming werd geleid.

Het debiet en de benedenstroomse waterstand van de stroming zijn gevarieerd. Het debiet wordt ingesteld met een afsluiter in de toevoerleiding en gemeten met een Rehbock-stuw.

De waterdiepte in de goot is ingesteld met behulp van een in hoogte verstelbare schuif aan de benedenstroomse zijde van de goot. Door de schuif naar beneden te draaien, wordt de waterstand in de goot verlaagd. Het water stort over deze schuif in een retourgoot waarin aan het einde de Rehbock-stuw is gemonteerd (zie figuur 2.1).



2.1 Schematisatie stroomgoot

Als bodemmateriaal zijn steentjes met een D_{n50} van 1,00 cm en een ρ van 2710 kg/m^3 gebruikt.

De waterstand in de goot is gemeten met een peilnaald. Verder is gebruikt gemaakt van een ElectroMagnetische Snelheidsmeter (EMS). Dit apparaat is gebruikt voor het meten van lokale stroomsnelheden. Uit de gemeten snelheden bepaalt het apparaat de tijdsgemiddelde waarden en

de standaarddeviatie.

2.4 Representativiteit van het modelonderzoek

In het model wordt de stroming over een constructie (het prototype) verkleind weergegeven. Aan de hand van de metingen aan het model worden conclusies getrokken die moeten gelden voor het prototype. Daarvoor moet het model representatief zijn voor de in werkelijkheid optredende situatie. Dit betekent dat het model gelijkvormigheid moet vertonen met het prototype.

Ten eerste moet de stroming in het model gelijkvormig zijn met de stroming in het prototype. Een belangrijke parameter voor de stroming is het Reynolds-getal. Voor stroming met een vrij oppervlak wordt de volgende definitie gehanteerd (Lit. [3]):

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (2.1)$$

waarin:	Re	Reynolds-getal [-]
	u	stroomsnelheid [m/s]
	d	waterdiepte [m]
	ν	kinematische viscositeit [m ² /s]

In het model wordt onderzoek gedaan naar de stroming over een bodemverdediging waarop een drempel is aangebracht. Een dergelijke stroming in reële situaties is altijd hoog turbulent. Dit houdt in dat het Reynolds-getal groter is dan 10⁴.

Voor het modelonderzoek is het van belang dat het Reynolds-getal in het model een waarde tussen 10⁴ en 10⁵ inneemt. In dat geval is de waarde van C_D, de drag-coëfficiënt (zie Lit. [4]), onafhankelijk van het Reynolds-getal. De waarde van C_D is mede bepalend voor de belasting op de stenen door de stroming. Voor het modelonderzoek geldt, dat voor de instellingen waarbij transport van de stenen optreedt, het Reynolds-getal een waarde groter dan 10⁴ maar kleiner dan 10⁵ aanneemt. In zowel prototype als model is de stroming dus hoog-turbulent.

Daarnaast moeten prototype en model meetkundig gelijkvormig zijn om schaaffecten te voorkomen (zie Lit. [10]). Bij stroming met een vrije waterspiegel is sprake van gelijkvormigheid als het Froude-getal in model en prototype gelijk is. Het Froude-getal is gedefiniëerd als (Lit. [3]):

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gh}} \quad (2.2)$$

waarin:	Fr	Froude-getal [-]
	u	stroomsnelheid [m/s]
	g	valversnelling [m/s ²]
	h	waterdiepte [m]

Bij een meetkundig gelijkvormig model wordt iedere lengtemaat (diepte, snelheidshoogte, steendiameter, etc.) op dezelfde schaal weergegeven. Voor de schaal n_x van een grootte x geldt:

$$n_x = \frac{X_{prototype}}{X_{model}} \quad (2.3)$$

Hieruit volgt dat geldt $n_{waterstand} = n_{diepte} = n_{energiehoogte} = n_{breedte}$. Omdat het Froude-getal in model en prototype gelijk is, geldt $n_{Froude} = 1$. Hieruit volgt dat $n_u = n_{\sqrt{gh}} = \sqrt{n_h}$. Aan de hand van deze schaalregels kunnen de resultaten van het model worden vertaald naar het prototype.

2.5 Opzet van het modelonderzoek

In een stroomgoot worden met behulp van steentjes een drempel en een bodemverdediging gemaakt; de bodemverdediging ligt in eerste instantie alleen achter de drempel. Over deze constructie wordt een debiet ingesteld dat langzaam in een aantal stappen wordt opgevoerd. Dit gebeurt bij een bepaalde relatieve waterdiepte welke boven de bodemverdediging wordt ingesteld.

Bij het opvoeren van het debiet treedt op een gegeven moment transport van de stenen op de drempel op. Door voor iedere stap het transport te meten en uit te zetten tegen de snelheid, kan de kritieke snelheid worden bepaald. Dit is de snelheid waarbij begin van bewegen optreedt en waarbij de steentjes dus niet meer stabiel zijn. Aan de hand van deze kritieke snelheid wordt in een later stadium van het onderzoek de K-waarde bepaald.

Vervolgens wordt een bodemverdediging vóór de drempel aangebracht en wordt de proef herhaald. Hierdoor kan een uitspraak worden gedaan over de invloed van de bodemverdediging vóór en achter de drempel op de vervalafbouw over de constructie.

Het effect van de drempelhoogte op de steenstabiliteit wordt onderzocht door de proeven uit te voeren bij twee verschillende drempelhoogten.

Door de proef uit te voeren bij verschillende relatieve waterdiepten, wordt de invloed hiervan op de steenstabiliteit bepaald. In Saemankeum varieert de relatieve waterdiepte van 3 tot 8. Om in een later stadium een vergelijking te kunnen maken tussen de voor het NEDECO-ontwerp gebruikte waarden en de waarden die in het fysisch model worden gevonden, moeten voor overeenkomstige waarden proeven worden gedaan.

Bij $h/d = 3$ is duidelijk sprake van relatief ondiep water, bij $h/d = 8$ van relatief diep water. Er worden ook nog proeven uitgevoerd bij een waarde van $h/d = 5$. Dit is ongeveer de overgang tussen diep en ondiep water.

2.6 Proefprogramma

Door de verschillende opstellingen te combineren, ontstaat het volgende programma:

SERIE I:	proef 1	bodemverdediging achter lage drempel, $h/d = 8$
	proef 2	bodemverdediging achter lage drempel, $h/d = 5$
	proef 3	bodemverdediging achter lage drempel, $h/d = 3$
SERIE II:	proef 4	bodemverdediging achter hoge drempel, $h/d = 8$
	proef 5	bodemverdediging achter hoge drempel, $h/d = 5$
	proef 6	bodemverdediging achter hoge drempel, $h/d = 3$
SERIE III:	proef 7	bodemverdediging vóór en achter lage drempel, $h/d = 8$
	proef 8	bodemverdediging vóór en achter lage drempel, $h/d = 5$
	proef 9	bodemverdediging vóór en achter lage drempel, $h/d = 3$
SERIE IV:	proef 10	bodemverdediging vóór en achter hoge drempel, $h/d = 8$
	proef 11	bodemverdediging vóór en achter hoge drempel, $h/d = 5$
	proef 12	bodemverdediging vóór en achter hoge drempel, $h/d = 3$

Bovenstaand programma is twee keer uitgevoerd. Gedurende de eerste keer is de stabiliteit van de stenen op de drempel bepaald. De stenen op de drempel worden eerder dan de stenen van de bodemverdediging instabiel. Als de kritieke snelheden van de stenen op de drempel en de bodemverdediging veel verschillen, dan is reeds een groot aantal stenen van de drempel getransporteerd voordat transport van de bodemverdediging optreedt. Door het transport vervormt de drempel wat de stroming achter de drempel beïnvloed; derhalve is de stroming niet meer representatief voor een stroming achter een drempel. Om de stabiliteit van de stenen achter de drempel te kunnen bepalen zijn gedurende de tweede uitvoering de stenen van de drempel vastgelegd.

Tijdens het tweede deel van het onderzoek wordt ook de lokale stroomsnelheid gemeten met behulp van een Electro-Magnetische Snelheidsmeter (EMS). Hiermee wordt de over de tijd gemiddelde lokale snelheid en de standaarddeviatie bepaald. Aan de hand hiervan kan iets worden gezegd over de invloed van de bodemverdediging vóór de drempel op de turbulentie-intensiteit van de stroming boven en achter de drempel.

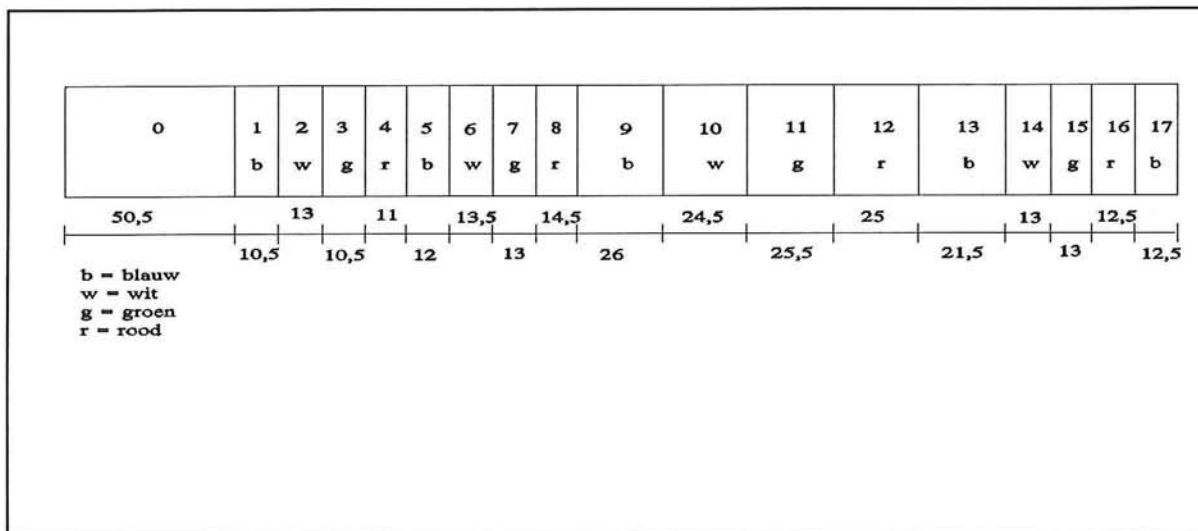
Ter verificatie van de opstelling werd nog een extra serie proeven uitgevoerd. Hierbij is voor een bekende toestand nagegaan of het fysisch model deze toestand naar behoren weergeeft. In het model is bij verschillende waterdiepten de kritieke snelheid van de steentjes op een vlak bed bepaald. De resultaten werden vergeleken met theoretisch bepaalde waarden. Hierbij werden afwijkingen van minder dan 5 % gevonden. Deze worden voldoende klein geacht.

2.7 Opstelling

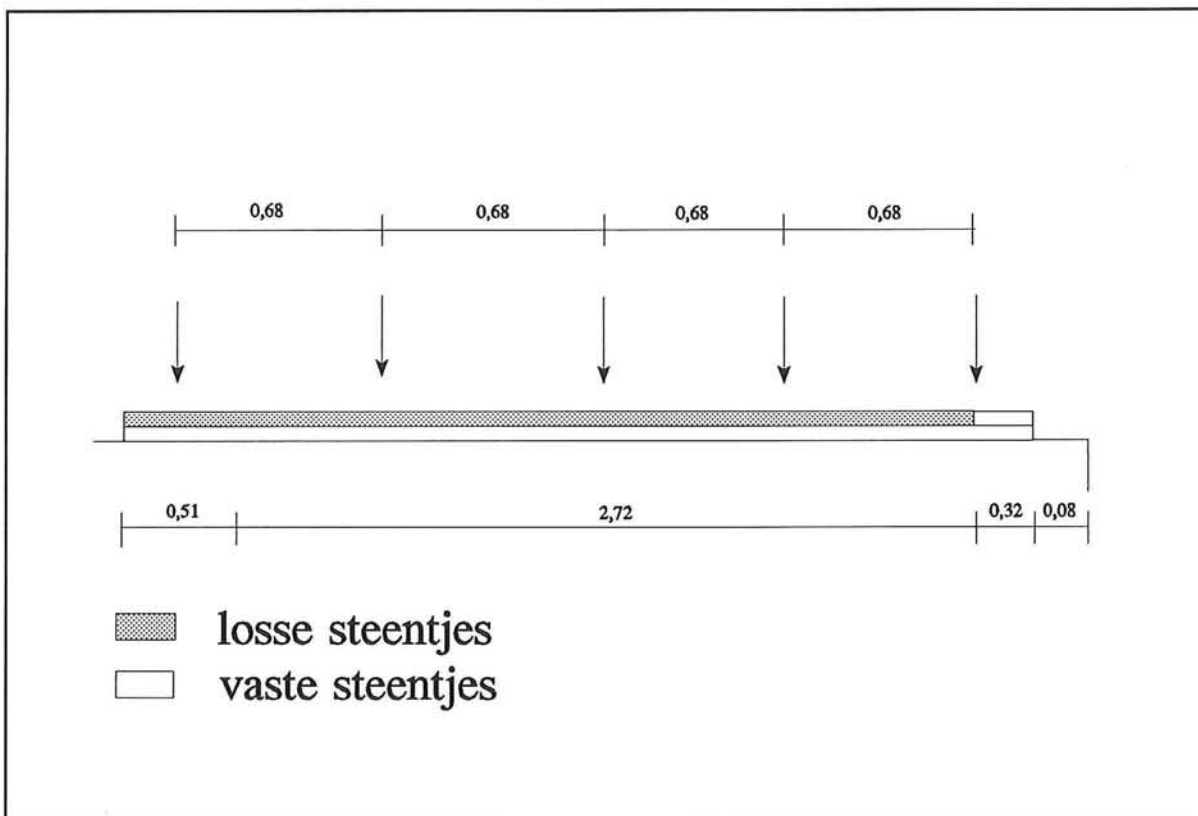
2.7.1 Basisopstelling

De proeven zijn uitgevoerd bij een kleine waterdiepte. Door de proefopstelling achter in de goot aan te brengen, wordt voorkomen dat de waterstand te veel oploopt ten gevolge van de stuwkromme voor de vrije overstort. In de goot werd over 3,50 m een steenbed aangebracht van in totaal 3 lagen steentjes. De onderste laag steentjes is vastgelegd om te voorkomen dat bij een groot transport van steentjes de stroming in aanraking komt met de bodem. Dit zou de stroming lokaal te veel kunnen beïnvloeden. Het achterste gedeelte van de tweede en derde laag

zijn ook vastgelegd om te voorkomen dat de steentjes door het ontbreken van steun van omringende steentjes wegspoelen. De bovenste 2 lagen steentjes liggen los en worden in gekleurde stroken aangebracht zoals weergegeven in figuur 2.2.

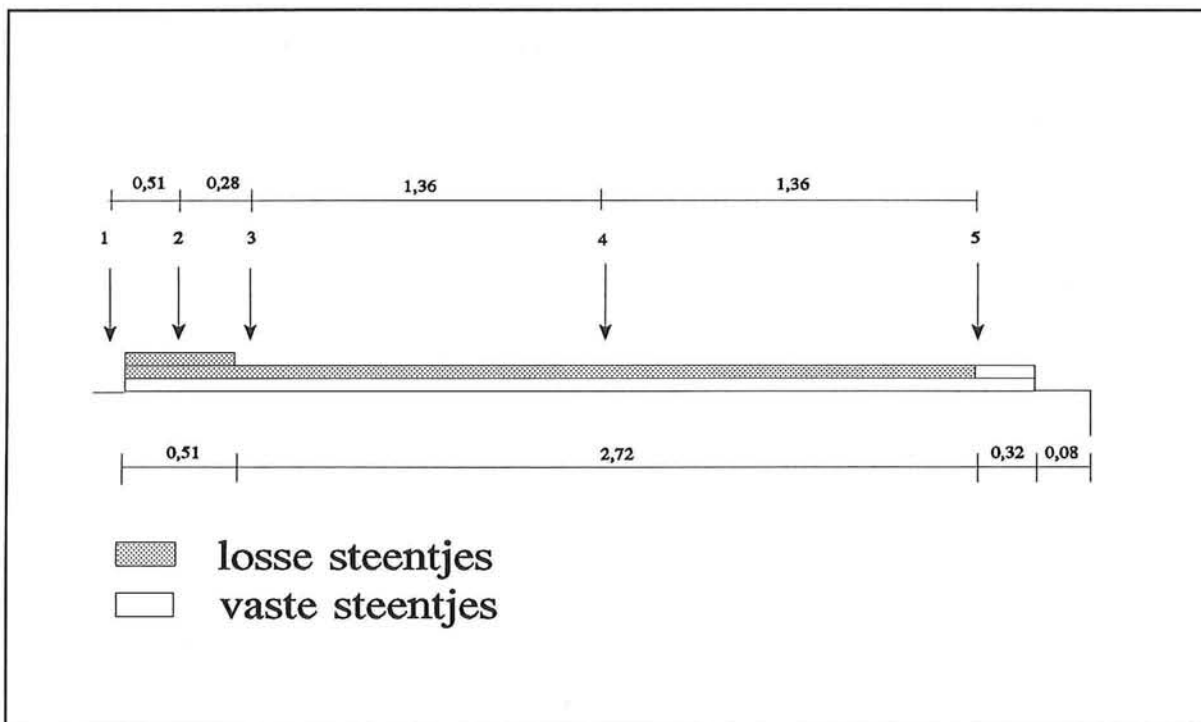


2.2 Indeling in vakken

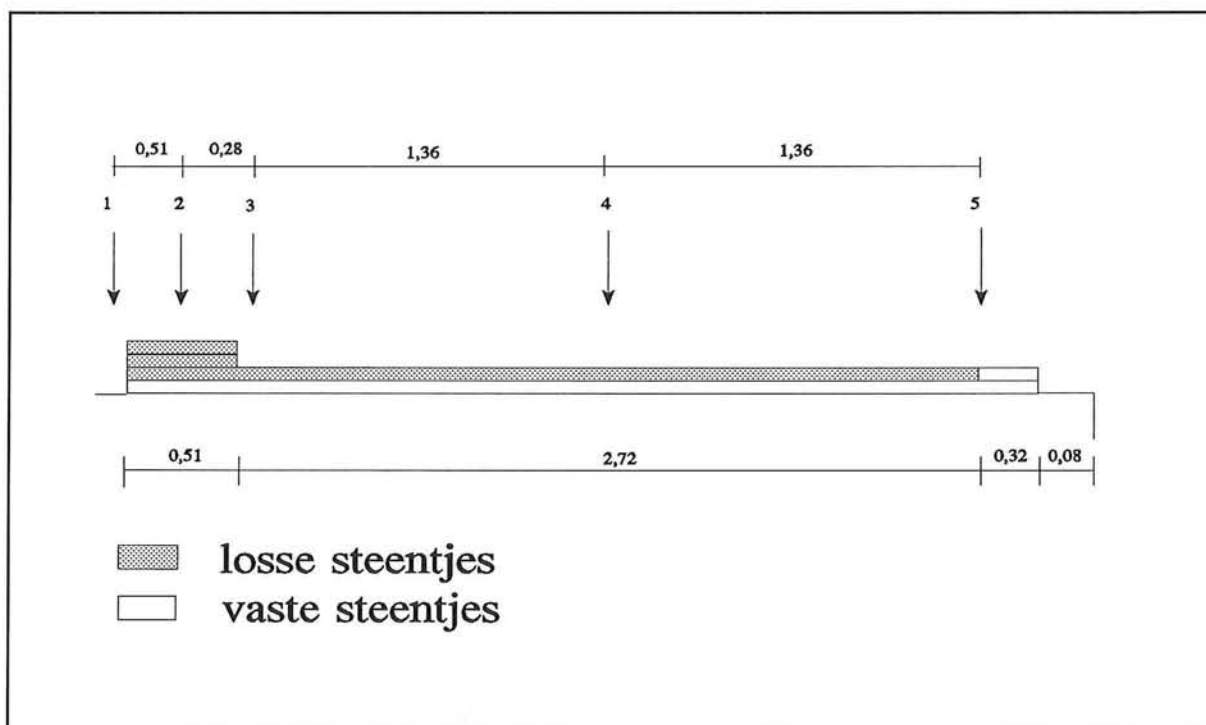


2.3 Basisopstelling

In figuur 2.3 is de basisopstelling weergegeven. Dit is de opstelling waarin de verificatie van het model is uitgevoerd. Deze opstelling dient als basis voor de overige proeven. Vak 0 is het



2.4 Opstelling serie I



2.5 Opstelling serie II

gedeelte waarop de drempel wordt aangebracht. Tijdens de uitvoering van de proeven bleek dat de stroming in vak 14 t/m 17 erg veel door de vrije overstort over de schuif wordt beïnvloed. Door de grote versnelling van de stroming was de situatie in deze vakken niet meer representatief voor de onderzochte situatie. De steentjes in deze vakken werden te snel instabiel. Bij de uitwerkingen zijn deze vakken dan ook niet meegenomen. Gaandeweg deel 1 van het onderzoek zijn de steentjes in deze vakken vastgeplakt.

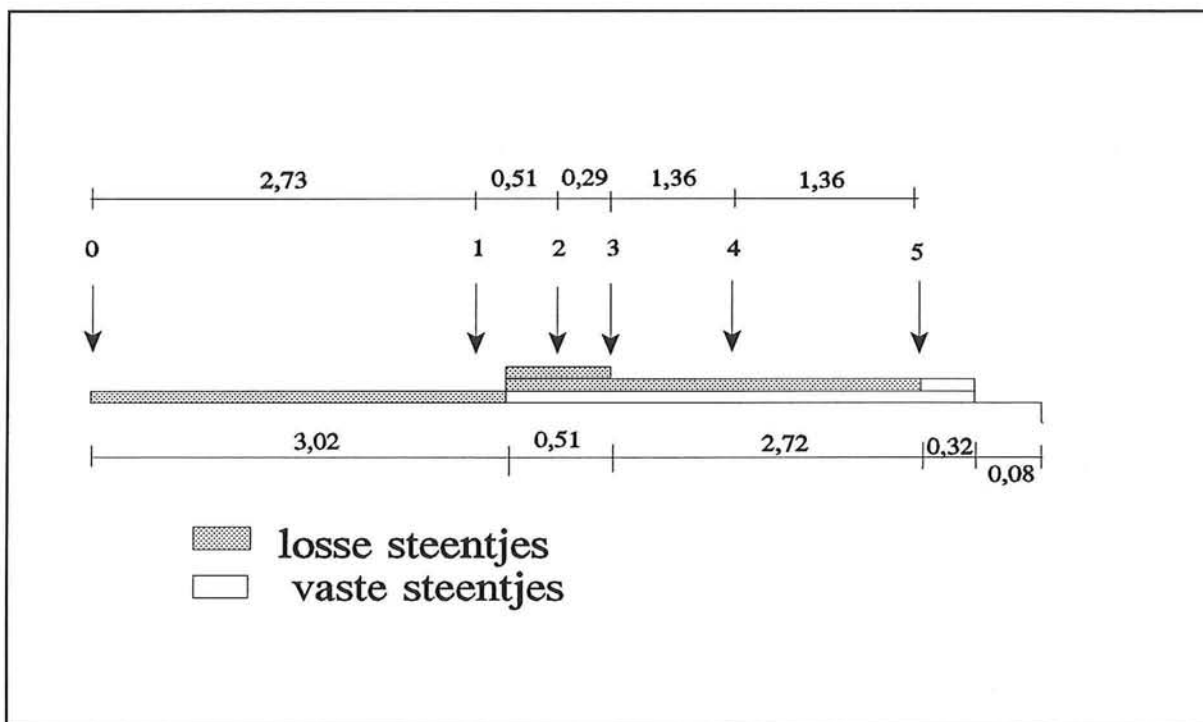
2.7.2 Opstelling serie I

Ten behoeve van serie I werd in vak 0 een drempel aangebracht, bestaande uit circa 2 lagen losse steentjes (zie figuur 2.4).

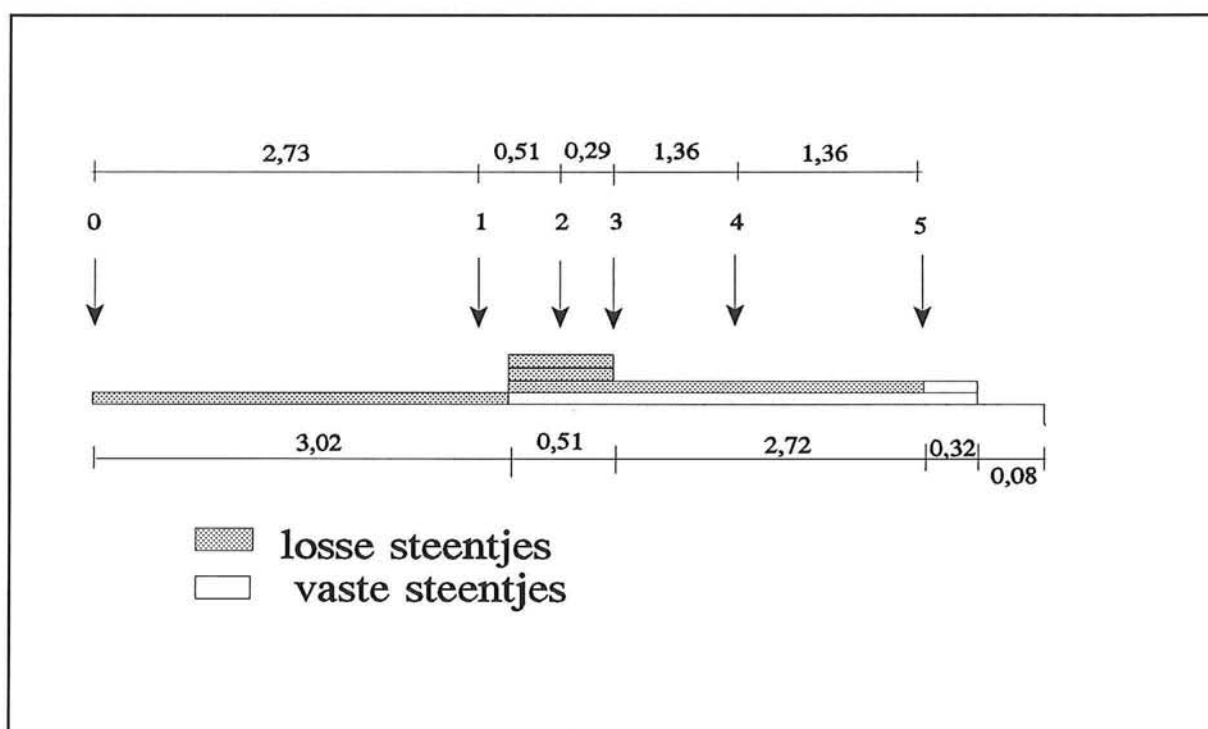
Op vijf punten boven het bed wordt de waterdiepte gemeten. De voor de proeven vereiste waterdiepte is voor het eerste deel van de proeven ingesteld bij meetpunt 5. In dit punt wordt de waterstand in grote mate beïnvloed door de overlaat. Dit uit zich in een daling van de waterspiegel ter plaatse. Bij het tweede deel van de proeven is de vereiste waterdiepte ter plaatse van meetpunt 4 ingesteld.

2.7.3 Opstelling serie II

Voor serie II worden op de drempel 2 extra lagen steentjes aangebracht. De drempel bestaat nu in totaal uit 4 lagen steentjes (zie figuur 2.5).



2.6 Opstelling serie III



2.7 Opstelling serie IV

2.7.4 Opstelling serie III

Voor serie III wordt een opstelling gebruikt waarbij de drempel uit 2 lagen steentjes bestaat. Voor de drempel wordt nu over 3 m een steenbed bestaande uit 2 lagen losse steentjes aangebracht (zie figuur 2.6).

2.7.5 Opstelling serie IV

De opstelling van serie IV is gelijk aan die van serie III, alleen bestaat de drempel uit 4 lagen steentjes (zie figuur 2.7).

2.8 Procedure

Voor iedere proef wordt de volgende procedure gehanteerd:

1. in de goot wordt een laag water aangebracht waarvan de diepte ongeveer gelijk is aan de waterdiepte;
2. eventuele verplaatste stenen worden teruggelegd;
3. er wordt een debiet ingesteld;
4. door met de benedenstroomse schuif te manipuleren wordt de gewenste waterdiepte ingesteld;
5. met deze instelling van debiet en waterstand wordt gedurende 15 minuten gestroomd;
6. de waterstanden en het debiet worden gemeten;
7. het aantal verplaatste steentjes wordt geteld;
8. de stappen 3 tot en met 7 worden herhaald bij een groter debiet.

Bij de bepaling van de keuze van de stroomtijd moet rekening worden gehouden met de volgende punten:

- de instelling van de benedenstroomse waterstand neemt enkele minuten in beslag;
- de stroming moet zich instellen op de opgelegde randvoorwaarden. De instellingstijd is een fractie van de tijd die benodigd is voor de instelling van de randvoorwaarden;
- de stroomtijd moet voldoende groot zijn om transport op te laten treden. Het overgrote deel van het transport treedt op in de eerste minuten na het instellen van de randvoorwaarden;
- in de stroomtijd worden de waterstanden gemeten; dit neemt 10 tot 15 minuten in beslag.

Het laatste punt is bepalend voor de stroomtijd waarvoor 15 minuten is aangehouden.

Vooraf bij de proeven bij kleinere relatieve waterdiepten komt het voor dat op den duur de benedenstroomse schuif geheel naar beneden is gedraaid om bij een bepaald debiet aan de gewenste waterdiepte te kunnen voldoen. Wordt bij de volgende stap het debiet verder opgevoerd dan gaat de waterstand mee omhoog en wordt dus niet meer voldaan aan de vereiste waterdiepte. Als er transport optrad voordat de schuif geheel naar beneden was gedraaid, werden de proeven doorgezet. Dit is noodzakelijk voor het bepalen van de kritieke stroomsnelheid.

Om te voorkomen dat vastgelegde steentjes voor een volgende proef moesten worden losgehaald, zijn de proeven voor het tweede deel van het onderzoek in een andere volgorde gedaan dan in het proefprogramma is aangegeven. Na het uitvoeren van serie I is voor de drempel een bodemverdediging aangebracht, zodat serie II kon worden uitgevoerd. Voor de opstelling van serie II zijn vervolgens de EMS-metingen verricht. Hierna werd de

bodemverdediging voor de drempel verwijderd en werden de EMS-metingen voor serie I gedaan. Hierna werd de drempel verhoogd om de volgende series proeven te doen.

2.9 Definities

2.9.1 Bodemniveau

Voor de uitwerking van de proeven moet de ligging van de bodem worden gedefiniëerd. Hier is gekozen om een gemiddelde hoogte van het steenbed aan te houden. Deze hoogte is als volgt bepaald.

In het midden van de stroomgoot is na het aanbrengen van de stenen op tien willekeurige plaatsen de hoogte van het bed gemeten met een peilnaald. Van deze metingen is het gemiddelde bepaald en dit is aangehouden als de hoogte van de bodem.

2.9.2 Kritieke snelheid

De kritieke snelheid is de snelheid waarbij begin van bewegen van de steentjes optreedt. Dit is geen eenduidig te bepalen punt. Reeds bij een lage stroomsnelheid treedt initieel transport op van lichte en labiele steentjes. Pas bij een grotere stroomsnelheid treedt structureel transport op van de voor de steensortering representatieve steentjes. Derhale wordt hier gesteld dat de kritieke snelheid optreedt bij een transport van 5 steentjes uit een vak. De kritieke snelheid wordt bepaald door het gemeten transport uit te zetten tegen de snelheid. Door de meetpunten wordt een vloeiende lijn getrokken waaruit bij een transport van 5 steentjes de kritieke snelheid kan worden afgelezen.

De theoretische waarde van de kritieke snelheid wordt berekend met de formule van Shields ([lit. 4]):

$$u_{kr} = C \sqrt{\psi \Delta d} \quad (2.4)$$

$$C = 25 \left(\frac{h}{k}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (2.5)$$

waarin: u_{kr} : kritieke stroomsnelheid [m/s]
C: Chezy-waarde [$m^{1/2}/s$]
 ψ : Shields-parameter [-]
 Δ : relatieve steendichtheid ($\rho_{steen} - \rho_{water} / \rho_{water}$) [-]
d: steendiameter [m]
25: constante [$m^{1/2}/s$]
k: equivalente zandruwheid volgens Nikuradse [m]

Voor k is een waarde van $2 \cdot D_{n50}$ aangehouden. Deze waarde wordt veelal gebruikt voor een vlak afgewerkte steenbestorting.

Bij verificatie van de opstelling is de waarde van ψ voor de proeven berekend volgens (Lit.[4]):

$$\psi = \frac{u_{kr}^2}{C^2 \Delta d} \quad (2.6)$$

Hieruit volgde voor ψ een waarde van 0,03. Deze waarde is bij verdere berekening aangehouden.

2.10 Nauwkeurigheid van de meetresultaten

Bij het uitvoeren van de experimenten zijn 3 soorten metingen verricht:

1. het tellen van de steentjes;
2. het meten van de waterstand;
3. het meten van de stroomsnelheid;
4. de bepaling van de bodemligging;

ad 1: Het tellen van de steentjes

Bij het tellen treedt een onnauwkeurigheid op doordat steentjes niet juist worden geteld en doordat steentjes in een strook van dezelfde kleur terecht komen. De onnauwkeurigheid in het tellen wordt geschat op 2 %, wat inhoudt dat van de 50 verplaatste steentjes er 1 niet wordt meegeteld. De onnauwkeurigheid doordat steentjes in een strook van dezelfde kleur terecht komen, wordt geschat op 1 % (van de 100 steentjes wordt 1 steentje niet meegeteld).

ad 2: Het meten van de waterstand

De waterstand wordt gemeten met behulp van een peilnaald. Hierbij worden fouten gemaakt door het aflezen van de schaalverdeling, de fluctuatie van de waterspiegel en een systematische fout door het plaatsen van de peilnaald op de waterspiegel. De onnauwkeurigheden worden geschat op respectievelijk 0,5 mm, 1,0 mm en 0,5 mm. Bij een waterdiepte van 3 cm geeft dit een relatieve fout van respectievelijk 2 %, 3 % en 2 %. Aangenomen wordt dat de fouten onafhankelijk van elkaar zijn, waardoor de totale fout wordt bepaald door de kwadratische optelling van de afzonderlijke fouten: $\sqrt{(2^2 + 3^2 + 2^2)} = 4$ %.

ad 3: Het meten van de stroomsnelheid

De lokale stroomsnelheid wordt gemeten met behulp van een EMS. De nauwkeurigheid van de EMS bedraagt 1 % (Lit. [12]).

ad 4: De bepaling van de bodemligging

De hoogte van het bed wordt bepaald met behulp van een peilnaald. Deze peilnaald is relatief dun ten opzichte van de ruimte tussen de stenen. Hierdoor wordt tussen de stenen een veel lagere waarde gevonden voor de bodemligging dan voor de stroming geldt. De afwijking hierdoor wordt op 0,5 cm (halve steendiameter) gesteld. De relatieve fout bij een waterdiepte van 3 cm wordt dan 17 %.

2.11 Beschrijving van de meetresultaten

De resultaten van het eerste deel van de proeven zijn opgenomen in bijlage III. In bijlage V zijn de resultaten van het tweede deel van het onderzoek opgenomen. In bijlage VII wordt een overzicht gegeven van de gemeten vervallen van het tweede deel van het onderzoek. De resultaten van de EMS-metingen zijn opgenomen in bijlage IX.

3. VERVALAFBOUW OVER DE BODEMVERDEDIGING

3.1 Inleiding

Bij de getijdeberekeningen is geen rekening gehouden met de afbouw van het verval door wrijving boven de bodemverdediging. Als het wrijvingsverval een belangrijk deel uitmaakt van het totale verval over de constructie, is het zinvol het effect van wrijving in de getijdeberekeningen mee te nemen. Doordat een deel van het totale verval dat over het sluitgat staat, wordt afgebouwd over de bodemverdediging, neemt het verval over de drempel af. Dit leidt tot een lagere stroomsnelheid op de drempel.

Om een antwoord te kunnen geven op de vraag of het voor Saemankeum zinvol is het wrijvingsverval in de berekeningen mee te nemen, is in het fysisch model onderzoek gedaan naar het verval over de bodemverdediging. De resultaten hiervan worden besproken in paragraaf 3.2.

In paragraaf 3.3 wordt getracht de gemeten vervallen middels een eenvoudige analytische berekening te benaderen. Als dit mogelijk is, kan in het begin van de ontwerpfase op een eenvoudige wijze worden bepaald, of het verval over de bodemverdediging dermate groot is, dat bij het ontwerp hiermee rekening moet worden gehouden.

3.2 Resultaten modelonderzoek

Voor de proeven van het tweede deel van het modelonderzoek is voor ieder ingesteld debiet het verval over de verschillende constructieonderdelen gemeten. In bijlage VII zijn de resultaten opgenomen.

In deze bijlage is te zien dat in het algemeen bij toename van het debiet het verval over de verschillende constructieonderdelen toeneemt. Dit is te verklaren uit het feit dat bij toenemend debiet de stroomsnelheid groter wordt. Hierdoor neemt de wrijving tussen bodem en stroming toe waardoor het wrijvingsverval groter wordt. Bij toenemend debiet neemt weliswaar ook de (relatieve) waterdiepte toe, maar de invloed van de waterdiepte op het wrijvingsverval is kleiner dan de invloed van de stroomsnelheid.

Bij een aantal proeven is de toename van het verval over de constructieonderdelen niet continu. Dit is met name het geval bij het verval over de drempel en de bodemverdediging achter de drempel. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in meeton nauwkeurigheden.

In de eerste vakken achter de drempel loopt de waterstand iets op. In de meeste gevallen is de hoogste waterstand achter de drempel niet in meetpunt 3 gevonden maar meer benedenstrooms daarvan. Deze waterstand is gebruikt voor de bepaling van het verval over de drempel en de bodemverdediging achter de drempel. Bij de proeven is voor ieder vak van de bodemverdediging achter de drempel de waterstand in het midden van het vak bepaald. De grootste van deze waterstanden is gebruikt voor de bepaling van het verval over drempel en bodemverdediging. Deze waterstand zal altijd afwijken van de werkelijke hoogste waterstand.

Naarmate het debiet groter wordt, vertoont de waterspiegel achter de drempel fluctuaties. Dit is met name het geval bij de proeven 1, 4, 7 en 10 waarbij grote debieten zijn ingesteld. Door het fluctueren van de waterspiegel wordt de bepaling van de waterstand erg onnauwkeurig. De uitwijkingen zijn van orde grootte 1 cm. Bij een waterdiepte van 5 cm geeft dit een relatieve fout in de waterstandsbepaling van 20 %.

Uit de resultaten blijkt, dat bij de proeven met een lage drempel en een bodemverdediging achter de drempel (proef 1, 2 en 3) een aanzienlijk deel van het verval over de bodemverdediging wordt afgebouwd. Wordt vóór de drempel ook een bodemverdediging aangebracht (proef 7, 8 en 9), dan blijkt dat ook hierover een niet-verwaarloosbaar verval staat. Door de aanwezigheid van de bodemverdediging vóór de drempel wordt het verval over de drempel verder verkleind.

Ook bij de proeven met een hoge drempel wordt een aanzienlijk deel van het verval over de bodemverdediging achter de drempel afgebouwd. De bodemverdediging vóór de drempel heeft echter een geringere invloed op de afbouw van het verval dan bij een lage drempel. Worden echter de overeenkomstige proeven bij een lage en een hoge drempel vergeleken, dan blijkt dat bij een hoge drempel een groter percentage van het totale verval over de drempel wordt afgebouwd. Dit is te verklaren uit het feit dat een hoge drempel hydraulisch ruwer is ten opzichte van de bodemverdedigingen dan een lage drempel.

Bij proef 9, 11 en 12 wordt het verval over de bodemverdediging vóór de drempel kleiner dan 10 % en derhalve verwaarloosbaar. Deze proeven zijn gedaan bij een kleine relatieve waterdiepte ($h/d = 3$). Dit strookt niet met de verwachting dat bij een kleine relatieve waterdiepte het verval over de bodemverdediging een significant deel uitmaakt van het totale verval over de constructie. Bij een kleine relatieve waterdiepte is de drempel relatief hoog. Een hoge drempel heeft een grotere hydraulische ruwheid dan de bodemverdedigingen waardoor een groter percentage van het totale verval over de drempel wordt afgebouwd. Bij dezelfde proeven is het verval over de bodemverdediging achter de drempel niet verwaarloosbaar. Dit komt omdat achter de drempel de stroomsnelheid en daarmee het wrijvingsverval groter is.

In tegenstelling tot de verwachting blijkt dat niet alleen bij kleinere relatieve waterdiepte het wrijvingsverval een rol speelt. Ook bij een grotere relatieve waterdiepte van $h/d = 8$ wordt over de bodemverdedigingen een niet te verwaarlozen percentage van het totale verval afgebouwd.

3.3 Analytische beschouwing

In deze paragraaf wordt het verval over de bodemverdediging in de goot analytisch berekend volgens twee verschillende benaderingen:

1. de benadering volgens Chezy;
2. de benadering volgens Bélanger.

3.3.1 Chezy-benadering

De Chezy-benadering is geldig voor eenparige of in stroomafwaartse richting langzaam variërende stroming. Zolang het verval over de bodemverdediging niet te groot wordt, is in de goot sprake van een langzaam variërende stroming.

Voor een langzaam variërende stroming geldt de formule van Chezy:

$$u = C \sqrt{Ri} \quad (3.1)$$

waarin: u stroomsnelheid [m/s]
C Chezy-waarde voor de bodemruwheid [$m^{1/2}/s$]
R hydraulische straal [m]
i verhang [-]

Met:

$$i = \frac{dH}{dx} \quad (3.2)$$

kan formule (3.1) worden omgeschreven tot een uitdrukking voor het wrijvingsverhang:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{u^2}{C^2 R} \quad (3.3)$$

waarin: H energiehogte [m]
x lengte wrijvingsgebied [m]

Voor het berekenen van de Chezy-waarde wordt in dit rapport gebruik gemaakt van de formule van Strickler:

$$C = 25 \cdot \left(\frac{h}{k}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (3.4)$$

waarin: h waterdiepte [m]
k equivalente zandruwheid Nikuradse [m]

In het algemeen wordt voor de berekening van de Chezy-waarde de formule van White-Colebrook gebruikt. Deze formule is echter vrij gevoelig voor kleine waarden van de relatieve waterdiepte. Bij de verificatie van het fysisch model (zie paragraaf 2.3) bleek, dat de formule van Strickler in het geval van relatief ondiep water kleinere afwijkingen gaf tussen modelwaarden en theoretische waarden. Er is daarom gekozen voor het gebruik van de formule van Strickler. Bij grotere relatieve waterdiepten geven de formules van White-Colebrook en Strickler ongeveer dezelfde waarden.

Verder wordt bij de analytische berekening gebruik gemaakt van de wet van Bernoulli en van de continuïteitsregel. Bij de analytische berekening van het wrijvingsverval wordt dus gebruik gemaakt van de volgende formules (Lit. [3]):

$$Chezy : \frac{dH}{dx} = \frac{u^2}{C^2 R} \quad (3.5)$$

$$Strickler: C = 25 \cdot \left(\frac{h}{k}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (3.6)$$

$$Bernoulli : H = z+h+\frac{u^2}{2g} \quad (3.7)$$

$$continuïteit: Q = u \cdot B \cdot h \quad (3.8)$$

waarin:	H:	energiehoogte ten opzichte van het referentieniveau [m]
	x:	lengte van de bodemverdediging [m]
	u:	stroomsnelheid [m/s]
	C:	Chezy-parameter voor de bodemruwheid [$m^{1/2}/s$]
	R:	hydraulische straal [m]
	h:	diepte [m]
	k:	equivalente zandruwheid volgens Nikuradse [m]
	z:	hoogte bodem ten opzichte van referentieniveau [m]
	g:	valversnelling [m/s^2]
	Q:	debiet [m^3/s]
	B:	breedte van de bodemverdediging [m]

De equivalente zandruwheid k is bij steenbestortingen een functie van de diameter van de stenen. De waarde van k varieert tussen $2d_{50}$ en $4d_{50}$. Voor een vlak afgewerkte granulaire bodembescherming wordt meestal een waarde van $2d_{n50}$ aangehouden. Zo ook in de berekeningen.

De berekening van het verval verloopt op de volgende wijze:

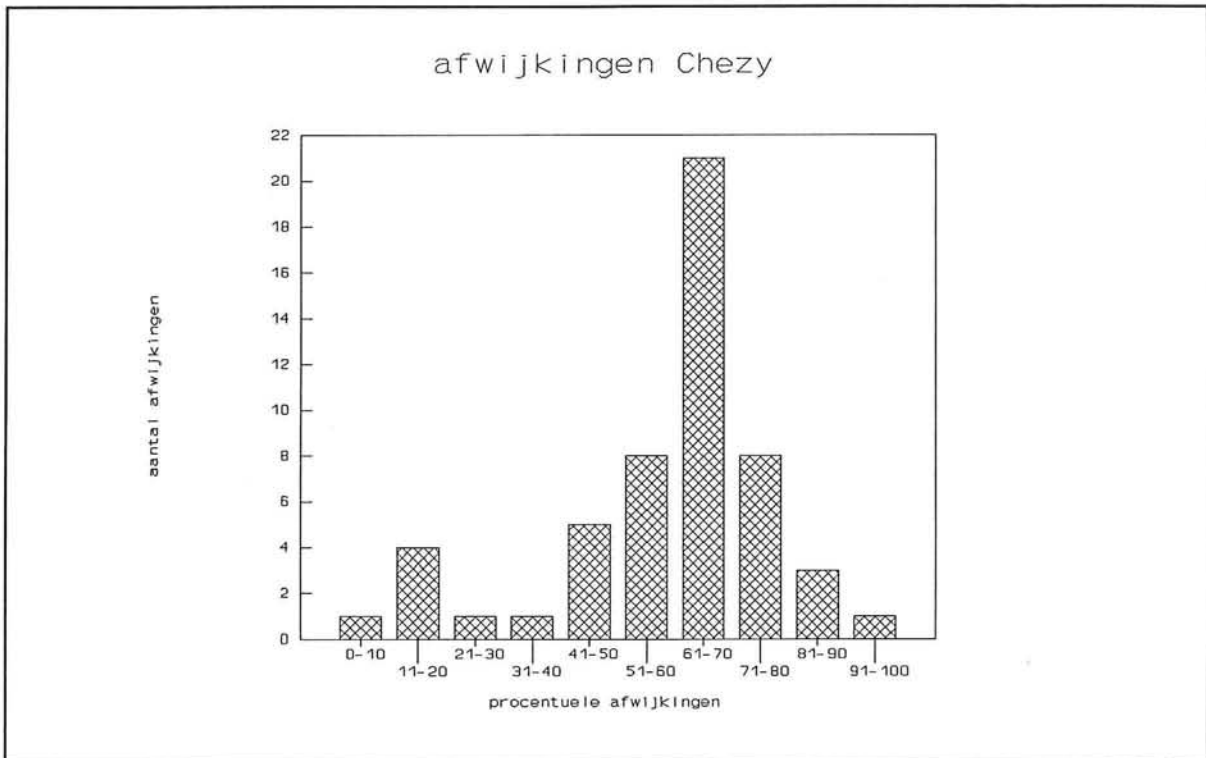
- op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging zijn de waterdiepte en het debiet bekend;
- met formule (3.8) wordt de stroomsnelheid berekend;
- met de snelheid en de waterdiepte wordt met formule (3.7) de energiehoogte H bepaald op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging;
- met de waterdiepte h en $k = 2d_{50}$ wordt een Chezy-waarde berekend (3.6). Tevens wordt de hydraulische straal R berekend;
- met deze gegevens kan aan de hand van formule (3.5) een waarde voor het energieverlies dH over de bodemverdediging worden berekend;
- met de formules (3.7) en (3.8) kunnen de stroomsnelheid en de waterstand op de benedenstroomse rand van de bodemverdediging worden berekend;
- het verval over de bodemverdediging is nu bekend.

Een rekenvoorbeeld wordt gegeven in bijlage VIII. In deze bijlage wordt het berekende verval vergeleken met het gemeten verval.

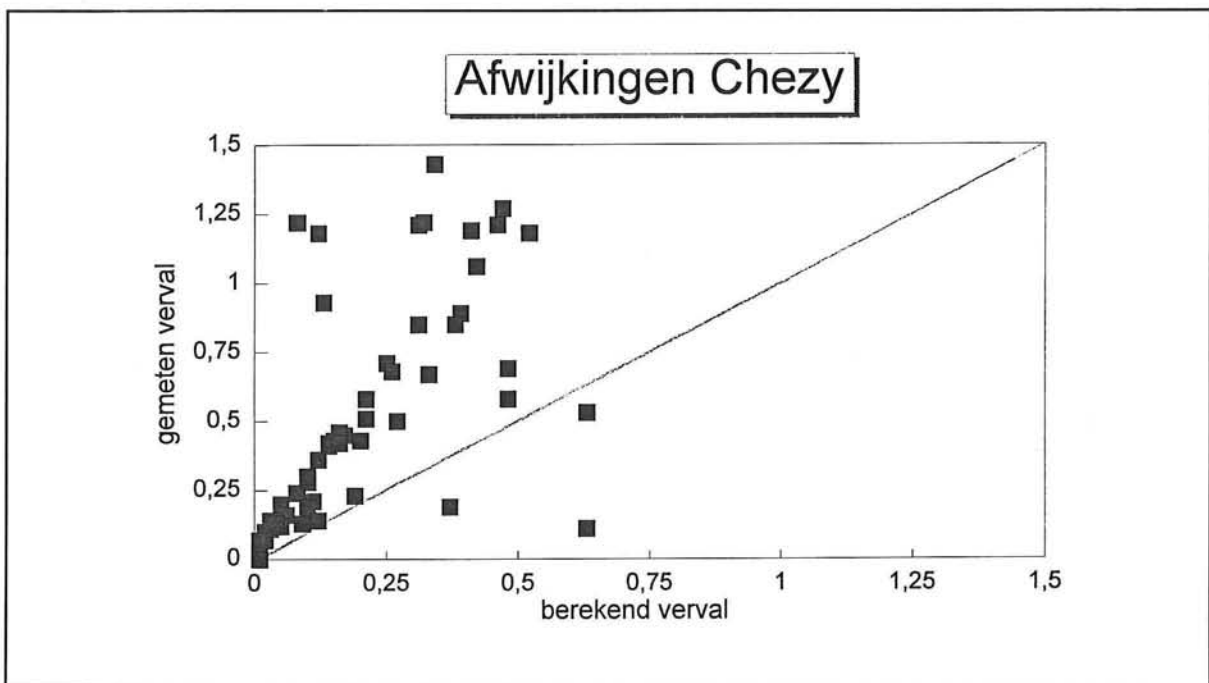
Omdat bij de proeven 1, 4, 7 en 10 de bepaling van het gemeten verval over de bodemverdediging achter de drempel niet nauwkeurig is (zie paragraaf 3.2) worden de resultaten van deze proeven niet verder in de beschouwing betrokken.

In figuur 3.1 is de gevonden procentuele afwijking tussen gemeten en berekend verval uitgezet tegen het aantal keren van voorkomen. Hieruit blijkt dat in de meeste gevallen een afwijking van 60-70% wordt gevonden. Dit is aan de hoge kant.

In figuur 3.2 zijn de gemeten en de berekende vervallen tegen elkaar uitgezet. Uit deze figuur blijkt, dat het gemeten verval ongeveer 2,5 keer zo groot is als het berekende verval.



3.1 Afwijkingen bij Chezy-benadering



3.2 Afwijking tussen gemeten en berekend verval bij Chezy

3.3.2 Bélanger-benadering

De vergelijking van Bélanger voor twee-dimensionale stroming is die van een stuwkromme. De oplossing voor een stroming over een vlakke bodem luidt (Lit. [3]):

$$\frac{1}{4} h^4 - h_g^3 h + \frac{g}{C^2} h_g^3 x = \text{constant} \quad (3.9)$$

waarin: h waterdiepte [m]
h_g grensdiepte [m]
g valversnelling [m/s²]
C Chezy-waarde [m^{1/2}/s]
x afstand [m]

De waarde van de constante wordt bepaald uit de randvoorwaarde $d = d_0$ op $x = x_0$. Voor de opstelling in de goot ligt x_0 op de benedenstroomse rand van de bodemverdediging. Bij een bodemverdediging van 3 m ligt de bovenstroomse rand dus op $x = -3$ m.

Voor de grensdiepte geldt:

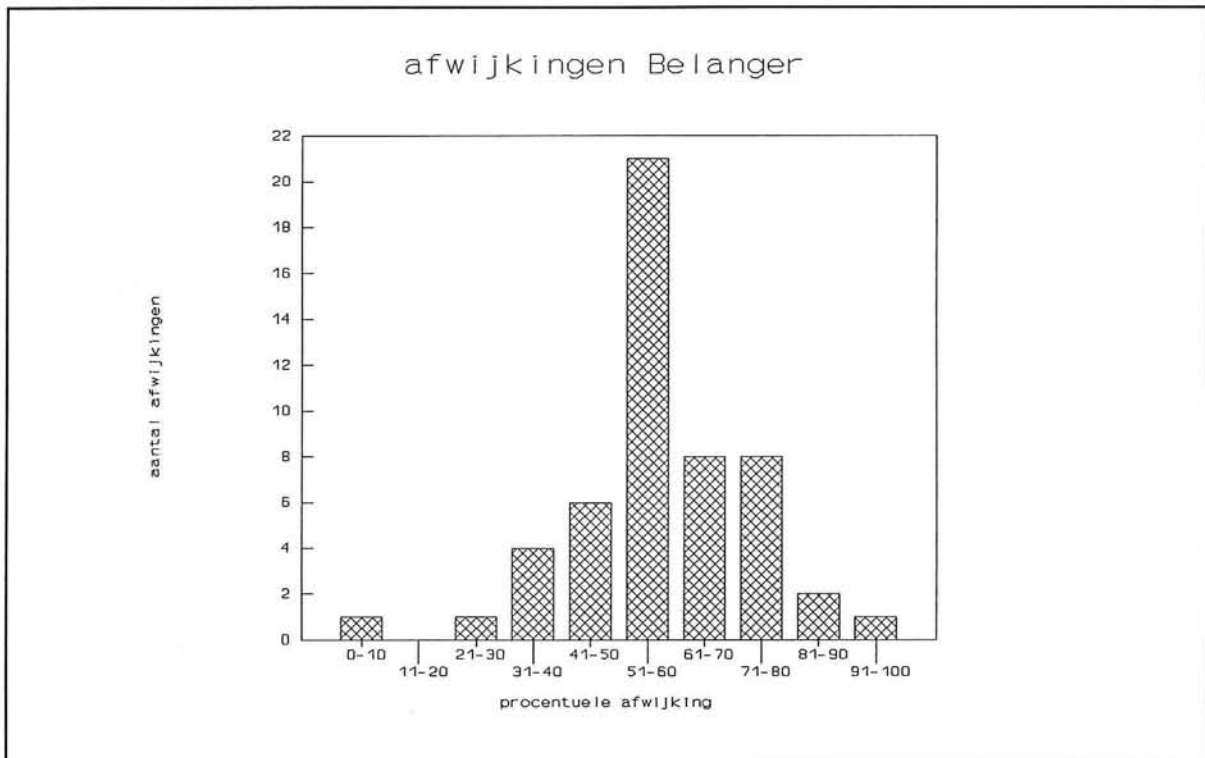
$$h_g^3 = \frac{Q^2}{B^2 g} \quad (3.10)$$

De berekening van het verval verloopt op de volgende wijze:

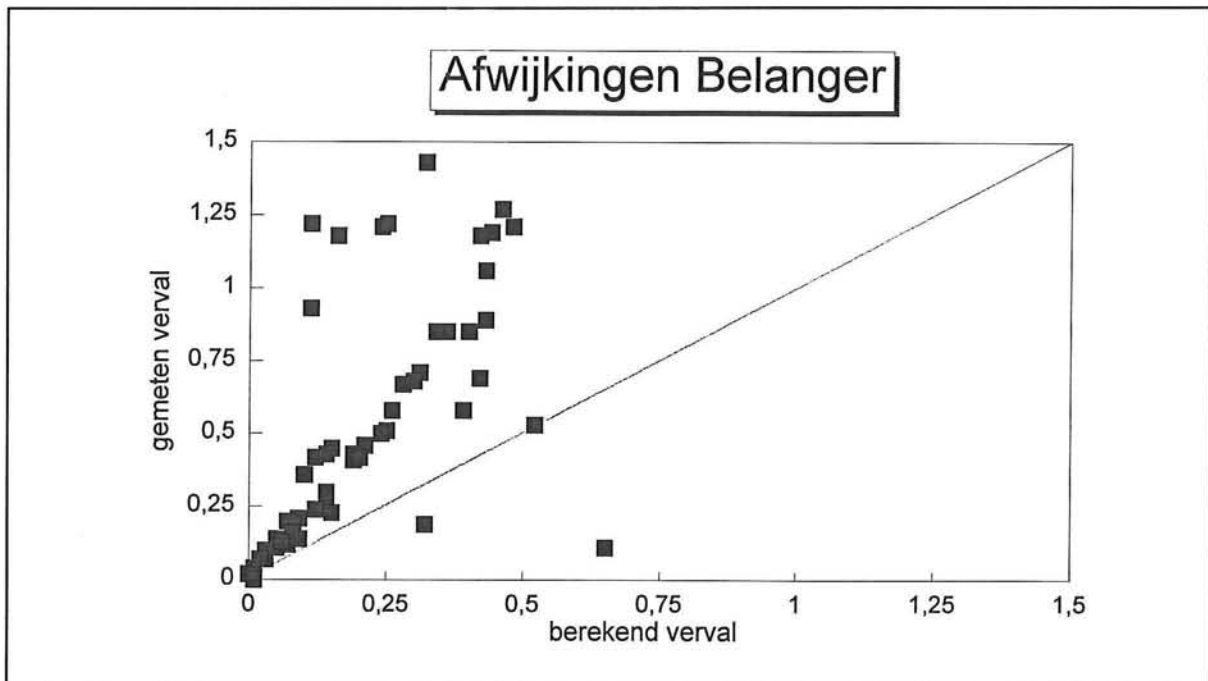
- uit de meetresultaten is de waterstand op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging bekend;
- met deze waterstand wordt een waarde voor de bodemruwheid C bepaald;
- voor het ingestelde debiet wordt de grensdiepte berekend;
- aan de hand van deze gegevens wordt een waarde voor de constante bepaald;
- door te iteren kan met behulp van deze gegevens de waterstand op de benedenstroomse rand van de bodemverdediging worden berekend;
- het verval over de bodemverdediging is dan het verschil van de twee waterstanden op de randen.

Een rekenvoorbeeld wordt gegeven in bijlage IX. In deze bijlage wordt het berekende verval vergeleken met het gemeten verval.

In figuur 3.3 is de gevonden procentuele afwijking tussen de gemeten vervallen en de volgens Bélanger berekende vervallen uitgezet. Hieruit blijkt dat de gevonden afwijking in de meeste gevallen hoog is (50-60 %). Uit figuur 3.4 blijkt dat ook bij gebruik van de Bélanger-benadering het gemeten verval 2,5 keer zo groot is als het berekende verval.



3.3 Afwijking bij Belanger-benadering



3.4 Afwijking tussen gemeten en berekend verval bij Bélanger

Bij beide beschouwingen is het gemeten verval 2,5 keer zo groot als het berekende verval. Bij de berekeningen werd voor de equivalente zandruwheid k een waarde van $2d_{50}$ aangehouden. Wordt daarentegen een waarde van $4d_{50}$ gebruikt, dan komen het gemeten en het berekende verval wel overeen. Kennelijk voldoen de beide benaderingen voor het berekenen van het wrijvingsverval mits voor de bepaling van de bodemruwheid voor k een waarde van $4d_{50}$ wordt gebruikt.

De berekeningen zijn uitgevoerd aan de hand van in de proef gemeten grootheden (debiet, waterstand, bodemligging) en aangenomen waarden (equivalente zandruwheid). Bij het meten treden onnauwkeurigheden en systematische fouten op. De grootste onnauwkeurigheid treedt op bij de bepaling van de bodemligging en bij de aanname van de equivalente zandruwheid. Dergelijke fouten werken door in de berekeningen en veroorzaken daardoor een afwijking tussen gemeten en berekende vervallen.

3.4 Conclusie

Uit de resultaten van het modelonderzoek blijkt dat het wrijvingsverval over de bodemverdedigingen een aanzienlijk percentage van het totale verval kan uitmaken. Niet alleen, conform de verwachtingen, bij kleine relatieve waterdiepten, maar ook bij grotere relatieve waterdiepten. Door de aanwezigheid van een wrijvingsverval worden de stroomsnelheden boven de drempel significant kleiner. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het zinvol is de afbouw van het verval boven de bodemverdedigingen mee te nemen in de getijdeberekeningen. Dit geldt ook voor situaties waarin de relatieve waterdiepte groot is.

De benaderingen van Chezy en Bélanger zijn geschikt voor de berekening van het wrijvingsverval mits voor de equivalente zandruwheid k een waarde van $4d_{50}$ wordt aangehouden.

4. VERVALAFBOUW OVER DE DREMPEL

4.1 Inleiding

Uit hoofdstuk 3 volgt dat een deel van het totale verval over de constructie wordt afgebouwd over de bodemverdediging. Het resterende deel van het totale verval over de constructie wordt over de drempel afgebouwd. Aan de hand van het verval over de drempel wordt de stroomsnelheid op de drempel en daarmee het debiet door het sluitgat bepaald. Dit wordt gedaan met behulp van een afvoerformule. Deze formule bevat een afvoercoëfficiënt waarin onder andere de invloed van wrijving op de drempel wordt verdisconteerd.

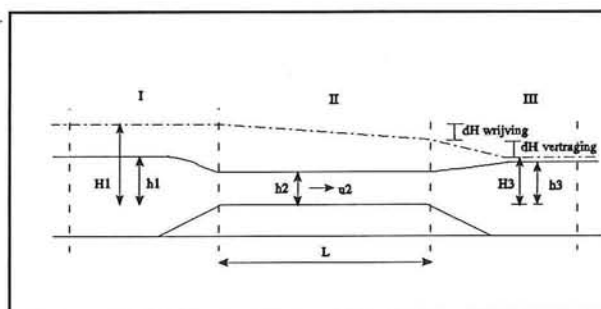
De voor Saemankeum gebruikte waarden voor de afvoercoëfficiënt zijn gebaseerd op situaties waarin het wrijvingsverlies op de drempel een geringe rol speelt. In Saemankeum is dit echter niet het geval. Door de kleine relatieve waterdiepte boven de drempel, kan bodemwrijving een grote rol spelen. In dit hoofdstuk wordt onderzocht welke waarden voor een dergelijke situatie moeten worden gebruikt en welke invloed de wrijving op de drempel heeft op de afvoercoëfficiënt.

In paragraaf 4.3 wordt aan de hand van de resultaten van het modelonderzoek afgeleid welke waarde voor de afvoercoëfficiënt moet worden gebruikt. In paragraaf 4.4 wordt een formule afgeleid waarmee de afvoercoëfficiënt voor onvolkomen en volkomen lange overlaten kan worden berekend. Hierin wordt de wrijvingsinvloed expliciet meegenomen waardoor de invloed van de wrijving op de afvoercoëfficiënt kan worden bepaald. Om deze afleiding inzichtelijker te maken, wordt in paragraaf 4.2 eerst de theorie achter de afvoerformule behandeld.

In paragraaf 4.5 wordt een conclusie getrokken omtrent de waarden die dienen te worden gebruikt voor een lange ruwe overlaat.

4.2 Theorie afvoerformule

In figuur 4.1 is schematisch een lange overlaat met onvolkomen afvoer weergegeven. Een overlaat is lang als de stroomlijnen in het nauwste deel (raai 2 in figuur 4.1) recht zijn. Energieverlies ten gevolge van wrijving speelt alleen een rol bij lange overlaten aangezien de grootte van het verlies op de drempel evenredig is met de lengte van de drempel.



4.1 Stroming over lange overlaat

In het gebied tussen raai 1 en raai 2 wordt de stroming versneld zodat daar de wet van Bernoulli kan worden toegepast. Er is sprake van een verwaarloosbaar energieverlies dus geldt:

$$H_1 = H_2 \quad (4.1)$$

$$H_2 = h_2 + \frac{u_2^2}{2g} \quad (4.2)$$

$$u_2 = \sqrt{2g (H_1 - h_2)} \quad (4.3)$$

Van de energie in raai 2 gaat een gedeelte verloren door de vertraging en een gedeelte wordt omgezet in potentiële energie doordat de waterspiegel achter de drempel iets oploopt. De grootte hiervan ($h_3 - h_2$) is afhankelijk van de vorm en het talud van het benedenstroomse deel van de overlaat.

In het algemeen is niet h_2 maar h_3 bekend. In de formule wordt h_2 daarom vervangen door h_3 en wordt de fout die daarmee wordt gemaakt verdisconteerd door het invoeren van een afvoercoëfficiënt μ (> 1). Hiermee wijzigt formule (4.3) tot:

$$u_2 = \mu \sqrt{2g (H_1 - h_3)} \quad (4.4)$$

meestal geschreven als:

$$u = \mu \sqrt{2g (H - h)} \quad (4.5)$$

Energieverlies door wrijving op de drempel en door contractie van de stroming wordt eveneens verdisconteerd in μ . Dit heeft een daling van μ tot gevolg.

De waarde van μ varieert van 1,3 bij een gladde afgeronde kruin, een glooiend benedenverloop en een klein verval, tot een waarde van 0,9 bij een ruwe dam, scherpe kruinlijnen, een steil benedenstrooms talud en een groot verval.

Formule (4.5) is alleen geldig voor situaties waarin h_2 groter dan of gelijk is aan $\frac{2}{3} H_1$. Als hieraan wordt voldaan spreekt men van een onvolkomen overlaat. Als h_3 kleiner wordt dan $\frac{2}{3} H_1$ blijft h_2 gelijk aan $\frac{2}{3} H_1$. Er is dan sprake van een volkomen overlaat. Formule (4.5) verandert hiermee tot:

$$u = m \sqrt{2g \cdot \frac{1}{3} H} \quad (4.6)$$

De stroomsnelheid op de drempel is nu onafhankelijk van de waterstand benedenstrooms van de overlaat.

m is kleiner dan 1 wegens wrijving en contractie. De vorm van het benedenverloop heeft nu echter geen invloed op m . De waarde van m varieert tussen 1,0 bij een gladde dam met afgeronde kruin en een klein verval tot 0,8 bij een ruwe dam met scherpe kruinlijnen en een groot verval.

Voor $h = \frac{2}{3} H$ en $\mu = m = 1$ geven de formules (4.5) en (4.6) hetzelfde resultaat.

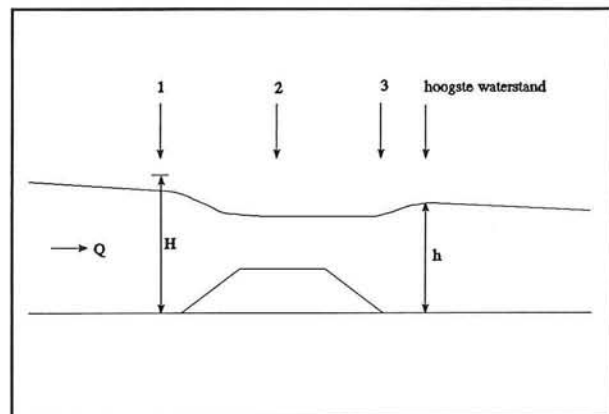
In Saemankeum is zowel voor een onvolkomen als voor een volkomen overlaat voor de afvoercoëfficiënt een waarde van 0,9 gebruikt.

4.3 Resultaten modelonderzoek

Aan de hand van de resultaten van deel 2 van het modelonderzoek is per proef voor iedere stap de afvoercoëfficiënt berekend (uitkomsten weergegeven in bijlage V). Hierbij is de volgende berekeningswijze aangehouden.

Voor een onvolkomen overlaat:

Bij de proeven ontstaat het in figuur 4.2 weergegeven beeld. Achter de drempel loopt de waterstand iets op om vervolgens weer af te nemen. De hoogste waterstand achter de drempel wordt bij de meeste proeven iets benedenstrooms van meetpunt 3 gevonden. Bij deel 2 van het modelonderzoek is de waterstand in het midden van ieder vak achter de drempel gemeten waaruit de hoogste waterstand achter de drempel kan worden bepaald. Deze waterstand wordt gebruikt bij de bepaling van het verval over de drempel. Het verval $H-h$ is dan het verschil tussen de energiehoogte in meetpunt 1 en de hoogste waterstand achter de drempel. De stroomsnelheid op de drempel is te bepalen uit het debiet en de waterstand in meetpunt 2.

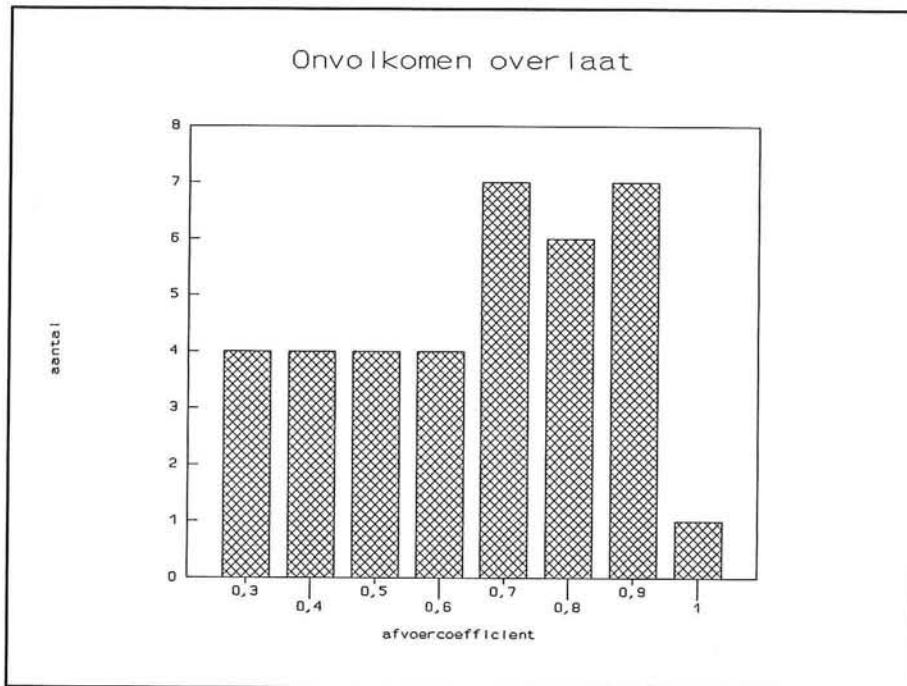


4.2 Stroombeeld onvolkomen overlaat in model

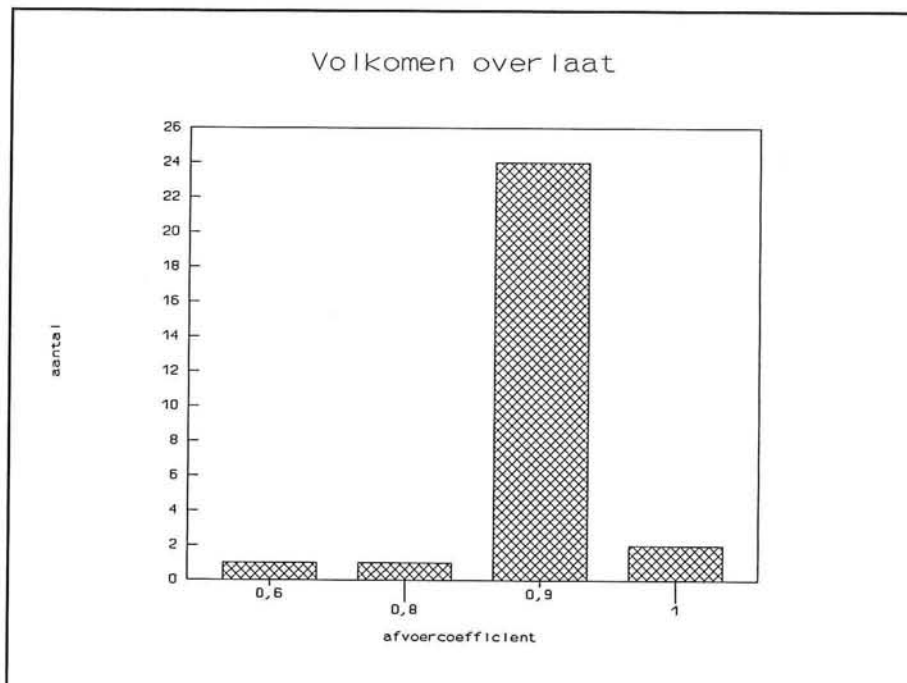
De afvoerformule is om te schrijven tot:

$$\mu = \frac{u}{\sqrt{2g(H-h)}} \quad (4.7)$$

Door het verval en de stroomsnelheid op de drempel in te vullen, wordt een waarde voor de afvoercoëfficiënt gevonden.



4.4 Afvoercoëfficiënt onvolkomen overlaat



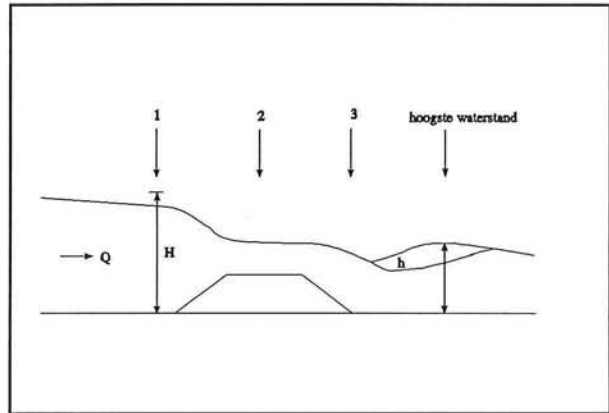
4.5 Afvoercoëfficiënt volkomen overlaat

Voor een volkomen overlaat:

De afvoerformule is om te schrijven tot:

$$m = \frac{u}{\sqrt{2g \cdot \frac{1}{3} H}} \quad (4.8)$$

Uit de meetresultaten wordt een waarde voor de energiehoogte in meetpunt 1 bepaald. Tevens is de stroomsnelheid op de drempel bekend uit de metingen in meetpunt 2. Door de energiehoogte en de stroomsnelheid in formule 4.8 in te vullen, wordt een waarde van m bepaald.

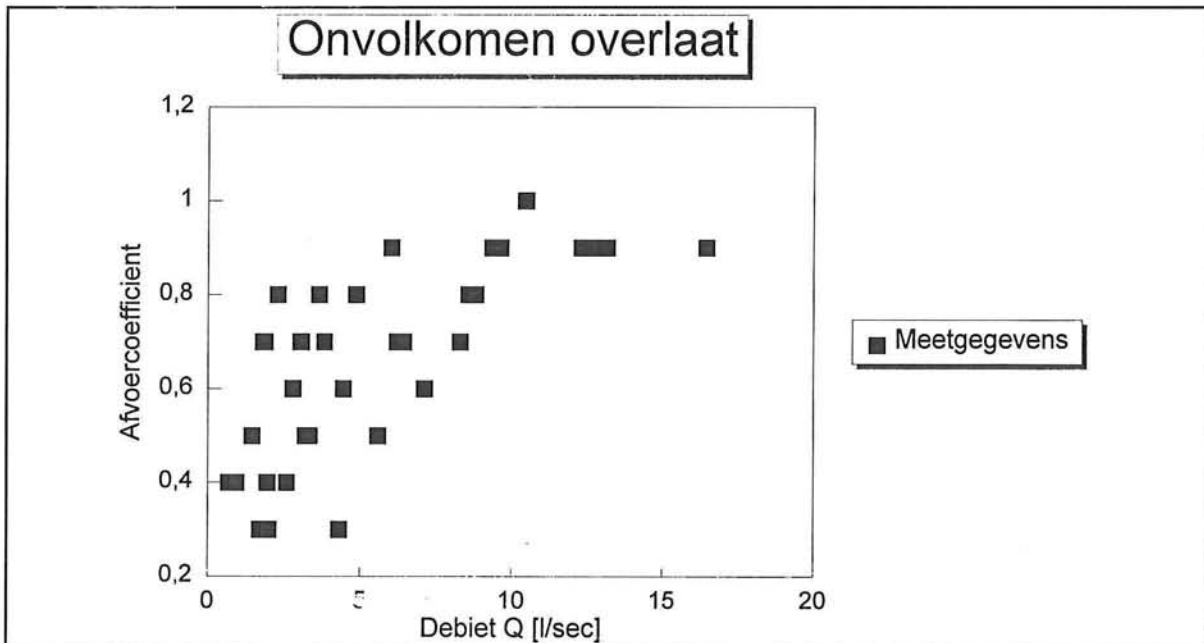


4.3 Stoombeeld volkomen overlaat in model

In de figuren 4.4 en 4.5 zijn voor respectievelijk een onvolkomen en een volkomen overlaat de berekende afvoercoëfficiënten uitgezet tegen het aantal keren dat ze voorkomen.

Voor een onvolkomen overlaat worden waarden tussen 0,3 en 1,0 gevonden. In de meeste gevallen ligt de waarde voor de afvoercoëfficiënt tussen 0,7 en 0,9. De in Saemankeum gebruikte waarde van 0,9 strookt met de resultaten van het modelonderzoek.

Uit figuur 4.5 blijkt dat bij vrijwel alle proeven voor een volkomen overlaat een waarde van 0,9 wordt gevonden. Dit is gelijk aan de waarde die voor Saemankeum is gebruikt.



4.6 Relatie tussen μ en Q

Bij een onvolkomen overlaat is de spreiding van de gevonden afvoercoëfficiënt vrij groot. Uit de proeven blijkt dat de afvoercoëfficiënt toeneemt naarmate het (specifieke) debiet over de

constructie toeneemt (zie figuur 4.6). Bij grotere debieten wordt de afvoercoëfficiënt constant en neemt de waarde 0,9 aan. Voor deze afhankelijkheid tussen μ en Q is geen verklaring gevonden.

In de praktijk treden meestal geen situaties op waarbij de afvoercoëfficiënt lager is dan 0,5. Een dergelijk lage afvoercoëfficiënt duidt op een stroming met extreem veel energieverlies en is daardoor niet reëel voor stroming over een lage drempel. Wellicht is bij lagere afvoeren de afvoerformule niet geldig. Hiernaar is verder geen onderzoek gedaan. Bij het maken van berekeningen is een waarde van 0,9 voor de afvoercoëfficiënt waarschijnlijk een juiste waarde.

Bij de bepaling van de afvoercoëfficiënt uit de proeven is de hoogste waterstand achter de drempel gebruikt. Bij de bepaling hiervan treedt een onnauwkeurigheid op (zie paragraaf 3.2). Deze onnauwkeurigheid is, samen met de onnauwkeurigheid door het fluctueren van de waterspiegel, bepalen voor de fout die wordt gemaakt bij de berekening van de afvoercoëfficiënt. Uit deze fout is echter niet te verklaren waarom voor de afvoercoëfficiënt van die kleine waarden worden gevonden.

4.4 Afleiding formule

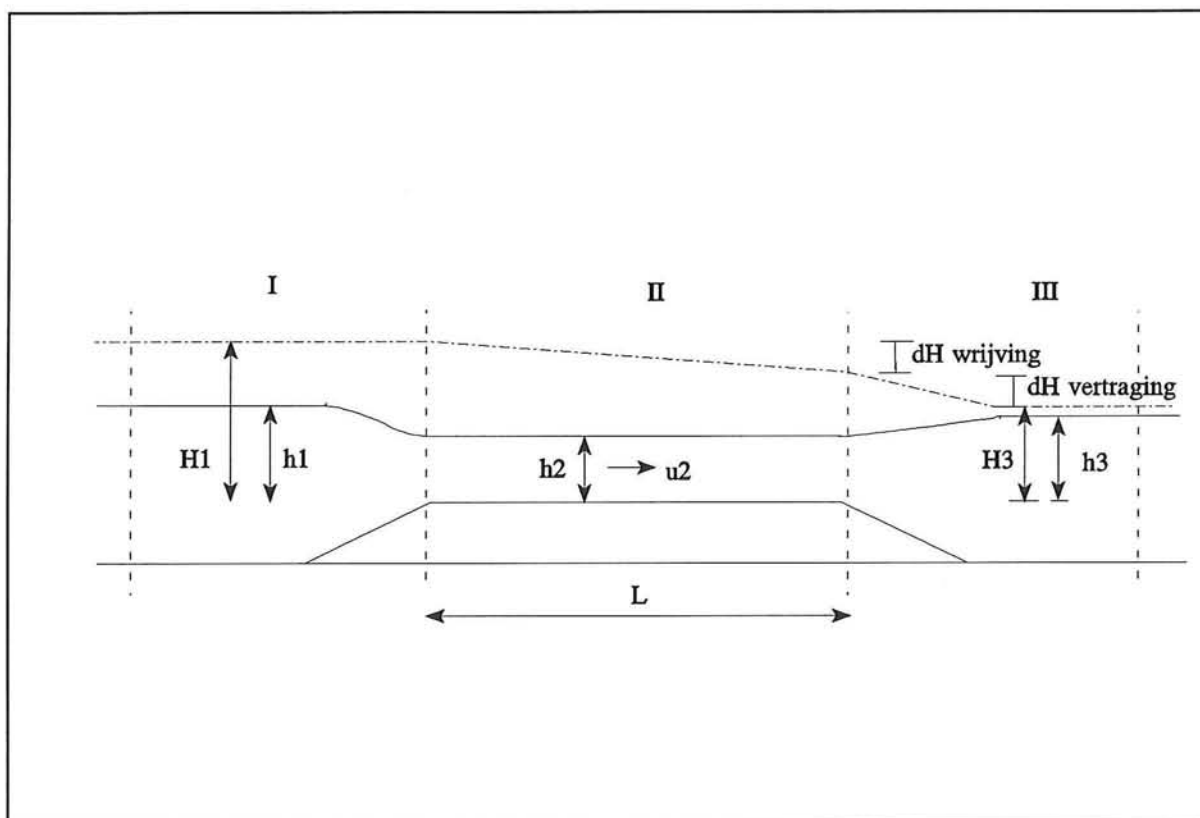
In de in paragraaf 4.2 genoemde afvoercoëfficiënt μ of m worden drie effecten verdisconteerd:

1. verhoging van de waterstand achter de drempel door vertraging van de stroming;
2. wrijvingsverlies op de drempel;
3. energieverlies door contractie op de bovenkruinlijn.

In deze paragraaf wordt een formule afgeleid waarmee een waarde voor de afvoercoëfficiënt kan worden berekend. In deze formule worden wrijvingsverlies en vertragingverlies apart verdisconteerd, zodat de invloed van wrijving op de waarde van de afvoercoëfficiënt kan worden bepaald. Bij de afleiding worden energieverlies door vertraging en contractie samengevoegd en als een geheel beschouwd.

4.4.1 Formule onvolkomen overlaat

Bekeken wordt de volgende schematisatie:

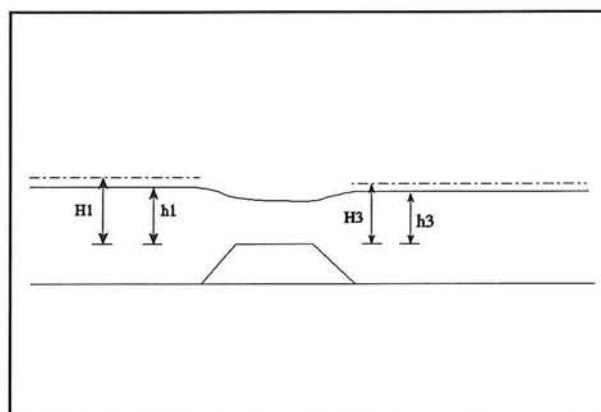


4.4 Schematisatie

Het stroombeeld wordt opgedeeld in 3 secties:

- sectie I: het gedeelte bovenstrooms van de drempel en het bovenstroomse talud van de drempel;
- sectie II: de kruin van de drempel;
- sectie III: het gedeelte benedenstrooms van de drempel en het benedenstroomse talud van de drempel.

Het totale energieverlies over de drempel kan worden opgedeeld in een gedeelte veroorzaakt door wrijving op de drempel ($\Delta H_{\text{wrijving}}$) en een gedeelte veroorzaakt door vertraging achter de drempel ($\Delta H_{\text{vertraging}}$).



4.5 Korte onvolkomen overlaat

Als de secties I en III aan elkaar worden gedacht, is sprake van een extreem korte overlaat (zie figuur 4.5). Er treedt energieverlies op ten gevolge van contractie op de bovenkruinlijn en ten gevolge van vertraging achter de drempel. Voor een korte onvolkomen overlaat geldt:

$$u = \mu \sqrt{2g (H_1 - h_3)} \quad (4.9)$$

ofwel:

$$u^2 = \mu^2 2g (H_1 - h_3) \quad (4.10)$$

Aangenomen wordt nu, dat geldt $h_3 = H_3$.

Hiermee geldt:

$$H_1 - H_3 = \Delta H_{\text{vertraging}} = \frac{u_2^2}{\mu^2 2g} \quad (4.11)$$

In sectie II treedt energieverlies op ten gevolge van bodemwrijving. Als de stroming boven de drempel als eenparig wordt beschouwd geldt:

$$\Delta H_{\text{wrijving}} = \frac{u_2^2 L}{C^2 h_2} \quad (4.12)$$

Hierbij wordt verondersteld dat $R = h_2$.

Voor het totale energieverlies

$$\Delta H_{\text{totaal}} = \Delta H_{\text{wrijving}} + \Delta H_{\text{vertraging}} \quad (4.13)$$

kan na invullen van de formules (4.9) en (4.10) worden geschreven:

$$\Delta H_{\text{totaal}} = \frac{u_2^2 L}{C^2 h_2} + \frac{u_2^2}{\mu^2 2g} \quad (4.14)$$

Invullen van de formule van Strickler geeft:

$$\Delta H_{\text{totaal}} = \frac{u_2^2 L k^{1/3}}{625 h_2^{4/3}} + \frac{u_2^2}{\mu^2 2g} \quad (4.15)$$

$$2g \Delta H_{\text{totaal}} = u_2^2 \left(\frac{L k^{1/3} 2g}{625 h^{4/3}} + \frac{1}{\mu^2} \right) \quad (4.16)$$

Formule (4.14) kan worden omgeschreven tot een vervangende afvoerformule voor een onvolkomen overlaat waarin de invloeden van wrijving en vertraging gescheiden zijn:

$$u = \alpha \sqrt{2g \Delta H_{\text{totaal}}} \quad (4.17)$$

waarin:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\frac{L k^{1/3} 2g}{625 h^{4/3}} + \frac{1}{\mu^2}}} \quad (4.18)$$

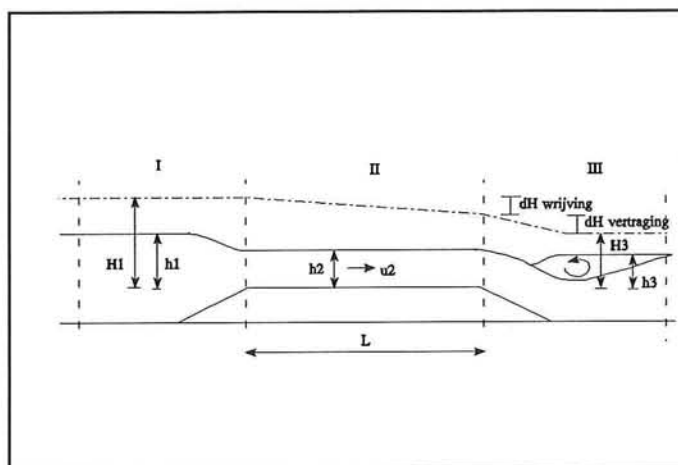
De eerste term van de noemer is de wrijvingsbijdrage, de tweede term is de vertragingbijdrage.

4.4.2 Formule volkomen overlaat

Voor een volkomen overlaat geldt, dat de waterdiepte h_2 boven de drempel gelijk is aan $\frac{2}{3}H_1$. Formule (4.5) wordt hiermee:

$$u = m \sqrt{2g \cdot \frac{1}{3} H_1} \quad (4.19)$$

Als de energiehoogte achter de drempel (H_3) gelijk wordt verondersteld aan de waterstand op de drempel ($\frac{2}{3}H_1$), dan geldt dat het energieverlies door vertraging ($H_1 - H_3$) gelijk is aan $\frac{1}{3}H_1$. Hieruit volgt:



4.6 Schematisatie overlaat

$$\Delta H_{\text{vertraging}} = \frac{1}{3} H_1 = \frac{u_2^2}{m^2 2g} \quad (4.20)$$

Het al dan niet volkomen zijn van de overlaat heeft geen invloed op de formule voor het energieverlies op de kruin.

$$\Delta H_{\text{wrijving}} = \frac{u_2^2 L}{C^2 h} \quad (4.21)$$

Voor het totale energieverlies geldt nu:

$$\Delta H_{\text{totaal}} = \Delta H_{\text{wrijving}} + \Delta H_{\text{vertraging}} \quad (4.22)$$

$$\Delta H_{\text{totaal}} = \frac{u_2^2 L}{C^2 h} + \frac{u_2^2}{m^2 2g} \quad (4.23)$$

Invullen van de formule van Strickler geeft:

$$\Delta H_{\text{totaal}} = \frac{u_2^2 L k^{1/3}}{625 h^{4/3}} + \frac{u_2^2}{m^2 2g} \quad (4.24)$$

$$2g \Delta H_{\text{totaal}} = u_2^2 \left(\frac{L k^{1/3} 2g}{625 h^{4/3}} + \frac{1}{m^2} \right) \quad (4.25)$$

Formule (4.23) kan worden omgeschreven tot een vervangende afvoerformule voor een volkomen overlaat:

$$u = a \sqrt{2g \Delta H_{\text{totaal}}} \quad (4.26)$$

waarin:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{L k^{1/3} 2g}{625 h^{4/3}} + \frac{1}{m^2}}} \quad (4.27)$$

De eerste term van de noemer is de wrijvingsbijdrage, de tweede term is de vertragsingsbijdrage.

4.4.3 Berekening afvoercoëfficiënt Saemankeum-project

Voor de afvoercoëfficiënt zijn de volgende formules gevonden:

$$\text{onvolkomen} : \alpha = \sqrt{\frac{1}{\frac{L k^{1/3} 2g}{625 h^{4/3}} + \frac{1}{\mu^2}}} \quad (4.28)$$

$$\text{volkomen} : a = \sqrt{\frac{1}{\frac{L k^{1/3} 2g}{625 h^{4/3}} + \frac{1}{m^2}}} \quad (4.29)$$

Aan de hand van deze formules kan een waarde voor de afvoercoëfficiënt voor de situatie in Saemankeum worden berekend.

Hiertoe dient een waarde voor μ en m te worden geschat. Uit de afleiding van de formules volgt, dat voor μ en m een waarde moet worden gebruikt die geldt voor een extreem korte overlaat. Bij een dergelijke overlaat is het energieverlies op de drempel door wrijving verwaarloosbaar. In Saemankeum is sprake van een relatief lage drempel waardoor de waterstand op de drempel

weinig verschilt van de waterstand voor en achter de drempel. In dit geval zijn contractie en vertraging klein en is het energieverlies hierdoor eveneens verwaarloosbaar. In het theoretische geval dat de energieverliezen verwaarloosbaar zijn, neemt de afvoercoëfficiënt voor zowel een onvolkomen als een volkomen overlaat de waarde 1 aan. Deze waarde is voor de berekening van de afvoercoëfficiënt van Saemankeum aangehouden.

Als verder de volgende waarden worden gebruikt:

$$\begin{aligned} L &= 52 \text{ m} \\ k &= 2 \cdot D_{n50} = 2,40 \text{ m} \\ h &= 5,5 \text{ m} \end{aligned}$$

dan volgt hier uit:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\frac{52 \cdot 2,40^{1/3} \cdot 2g}{625 \cdot 5,5^{4/3}} + \frac{1}{1^2}}} = 0,9 \quad (4.30)$$

en voor een volkomen overlaat:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{52 \cdot 2,40^{1/3} \cdot 2g}{625 \cdot 5,5^{4/3}} + \frac{1}{1^2}}} = 0,9 \quad (4.31)$$

De waarde voor de waterdiepte op de drempel (h) varieert met de bouw- en getijdedefase. Omdat h niet bekend is wordt hier 5,5 m aangehouden. Dit is de diepte boven de drempel bij gemiddeld zeeniveau.

In Saemankeum is zowel voor een onvolkomen als voor een volkomen overlaat een afvoercoëfficiënt van 0,9 gebruikt. Dit strookt met de berekende waarden. In de formules (4.30) en (4.31) bedraagt de wrijvingsterm 23 % van de vertragingsterm. Hieruit volgt dat de vertraging op de drempel weliswaar een niet-verwaarloosbare invloed heeft op de afvoercoëfficiënt, maar dat deze invloed beperkt blijft.

4.5 Conclusie

De voor een lange ruwe overlaat gebruikte waarden voor de afvoercoëfficiënt zijn gebaseerd op situaties waarin wrijvingsverlies op de drempel een geringe rol speelt. In het algemeen wordt zowel voor een onvolkomen als een volkomen lange ruwe overlaat een waarde van 0,9 gebruikt. Aan de hand van de resultaten uit dit hoofdstuk kan geconcludeerd worden dat deze waarden ook voldoen voor situaties waarin het wrijvingsverlies op de drempel een grotere rol speelt.

5. STEENSTABILITEIT OP EN ACHTER DE DREMPELCONSTRUCTIE

5.1 Inleiding

Doordat een deel van het totale verval over het sluitgat wordt afgebouwd, wordt het verval over de drempel en daarmee de stroomsnelheden in het sluitgat kleiner. Echter niet alleen de stroomsnelheid is belangrijk voor de stabiliteit van de stenen, ook de turbulentie-intensiteit speelt een rol.

In paragraaf 1.3.2 is beschreven hoe de stenen middels een stabiliteitsrelatie worden gedimensioneerd en hoe hierin de turbulentie middels een vergrotingsfactor K op de snelheid wordt meegenomen.

In paragraaf 5.2 worden aan de hand van de proefresultaten de K -waarden voor de stenen van de drempel en de bodemverdediging bepaald. In deze paragraaf wordt ook de invloed van de relatieve waterdiepte en drempelhoogte op de K -waarde bepaald. Tevens wordt in deze paragraaf onderzocht of de bodemverdediging vóór de drempel invloed heeft op de steenstabiliteit op en achter de drempel.

In het fysisch model zijn ook metingen verricht naar de lokale stroomsnelheid en de turbulentie. Aan de hand van deze metingen wordt onderzocht of de belasting op de stenen van de bodemverdediging achter de drempel afneemt. Dit wordt besproken in paragraaf 5.3.

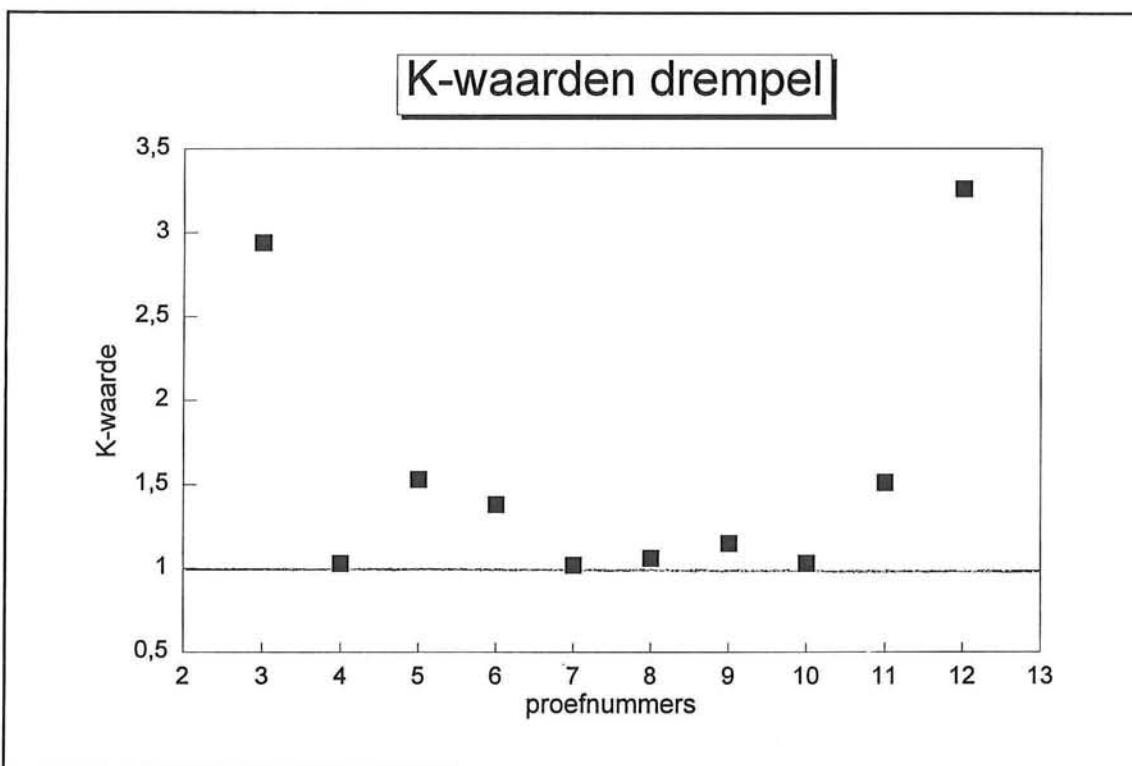
5.2 K -waarden van drempel en bodemverdediging

5.2.1 K -waarden van de drempel

Aan de hand van de proefresultaten zijn voor iedere proef de kritieke snelheid en de K -waarde bepaald (zie bijlage IV). Voor de stenen op de drempel zijn de in tabel 5.1 weergegeven K -waarden gevonden.

Tabel 5.1

SERIE	proef	$u_{kr,drempel}$ [m/s]	C [m ^{1/2} /s]	K
I	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	0,20	26	2,94
II	4	0,64	29	1,03
	5	0,37	25	1,53
	6	0,41	25	1,38
III	7	0,69	31	1,02
	8	0,66	31	1,06
	9	0,61	31	1,15
IV	10	0,64	29	1,03
	11	0,39	26	1,51
	12	0,16	23	3,26



5.1 K-waarden drempel

Bij proef 1 en 2 trad geen noemenswaardig transport op.

In paragraaf 1.3.2 is vermeld, dat stenen op een drempel stabiel zijn dan stenen in een overeenkomstige uniforme stroming. Voor deze stenen geldt dat de K-waarde kleiner is dan 1. De uit het modelonderzoek gevonden waarden voor K zijn allen groter dan 1. Hieruit volgt dat de stenen op de drempel in het model minder stabiel zijn dan men op grond van de theorie zou verwachten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de onderdrukking van de turbulentie door versnelling van de stroming minder is dan bij relatief diep water het geval is. Hiernaar is geen verder onderzoek gedaan.

De resultaten van het modelonderzoek zijn weergegeven in figuur 5.1. Uit deze grafiek blijkt dat de gevonden K-waarden op twee uitzonderingen na dicht bij 1 liggen. Deze twee uitzonderingen zijn te wijten aan het foutief uitvoeren van de proef en worden in de verdere beschouwing niet meegenomen. Bij de dimensionering van de stenen op een drempel wordt in het algemeen een waarde van 1 aangehouden. Uit figuur 5.1 kan worden geconcludeerd dat het gebruik van de stabiliteitsrelatie van Shields voor de stenen op de drempel geen bezwaar oplevert mits voor K de juiste waarde wordt gebruikt.

5.2.2 K-waarden van de bodemverdediging

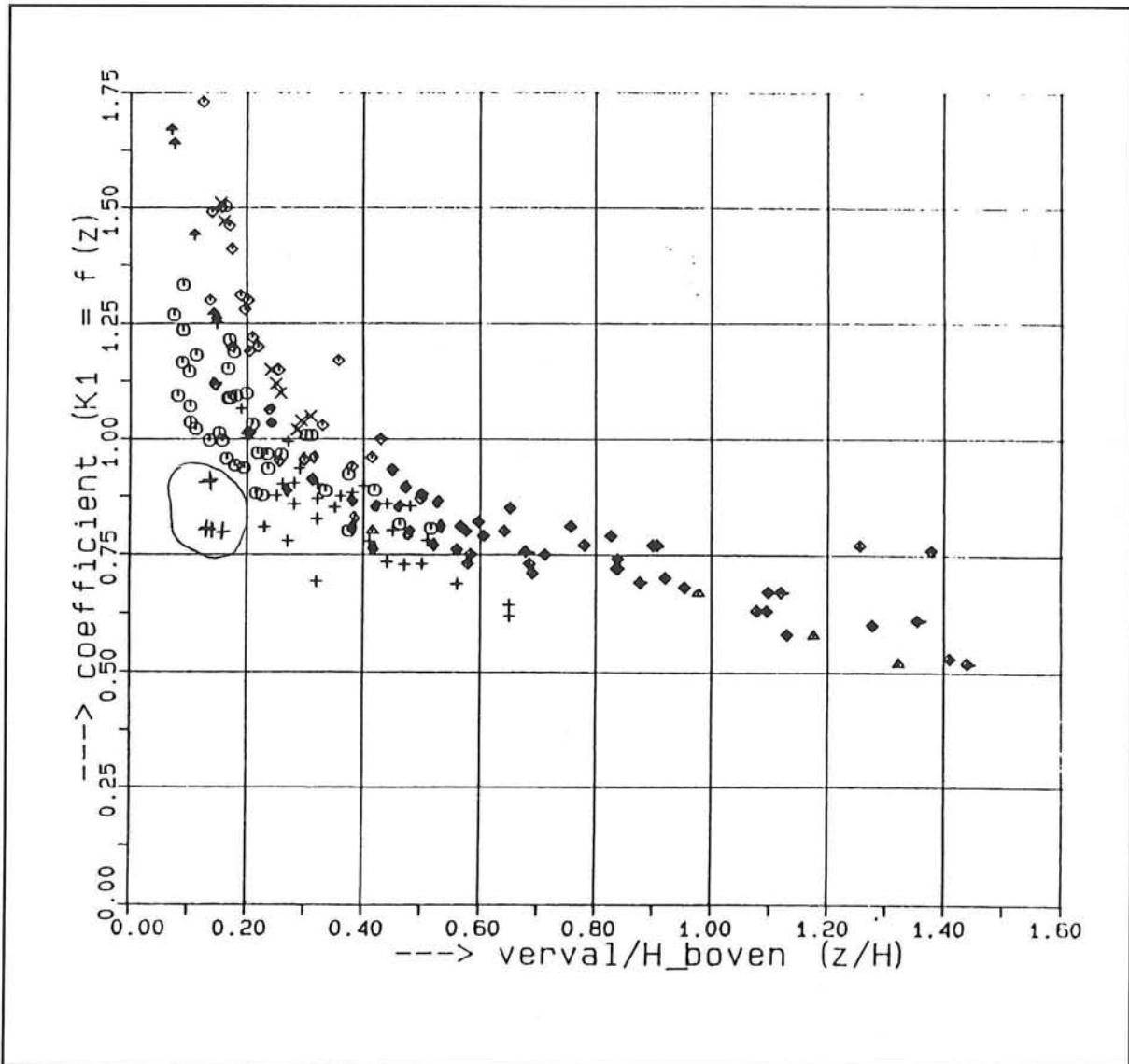
In het tweede deel van de proeven is alleen bij proef 4 en proef 10 het opgetreden transport groot genoeg voor de bepaling van de kritieke snelheid. In bijlage VI is beschreven hoe de K-waarden van deze proeven zijn bepaald. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.2.

Tabel 5.2

SERIE	proef	$u_{kr,bodem}$ [m/s]	C [m ^{1/2} /s]	K
II	4 (vak 10)	0,91	32	0,80
IV	10 (vak 3)	0,92	33	0,82
IV	10 (vak 10)	0,77	33	0,91
IV	10 (vak 11)	0,89	31	0,87

Volgens de theorie beschreven in paragraaf 1.3.2 is de K-waarde voor de stenen achter de drempel groter dan 1. Uit de resultaten van het modelonderzoek volgt voor de stenen achter de drempel een K-waarde kleiner dan 1. De stenen van de bodemverdediging achter de drempel zijn dus stabiel dan men op grond van de theorie zou verwachten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat met name de lage drempel de stroming niet dermate verstoort dat dit een nadelig effect heeft op de stabiliteit van de stenen. Hiernaar is geen verder onderzoek verricht.

In figuur 5.2 zijn de resultaten van eerdere onderzoeken door het Waterloopkundig Laboratorium weergegeven (Lit. [11]).



5.2 K-waarden bodemverdediging versus verval over drempel

Deze grafiek wordt door de Bouwdienst gebruikt bij het dimensioneren van bodemverdedigingen. De resultaten van dit afstudeeronderzoek zijn in deze figuur omcirkeld weergegeven. Opvallend is dat alle gevonden resultaten kleiner zijn dan de reeds bekende resultaten. Uit de grafiek valt op te maken dat de in dit afstudeeronderzoek gevonden waarden in geringe mate afwijken van de waarden die door het Waterloopkundig Laboratorium zijn gevonden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het gebruik van de formule van Shields voor de stenen van de bodemverdediging geen bezwaar oplevert mits voor de K-waarde een goede keuze wordt gemaakt.

5.2.3 Invloed drempelhoogte op steenstabiliteit

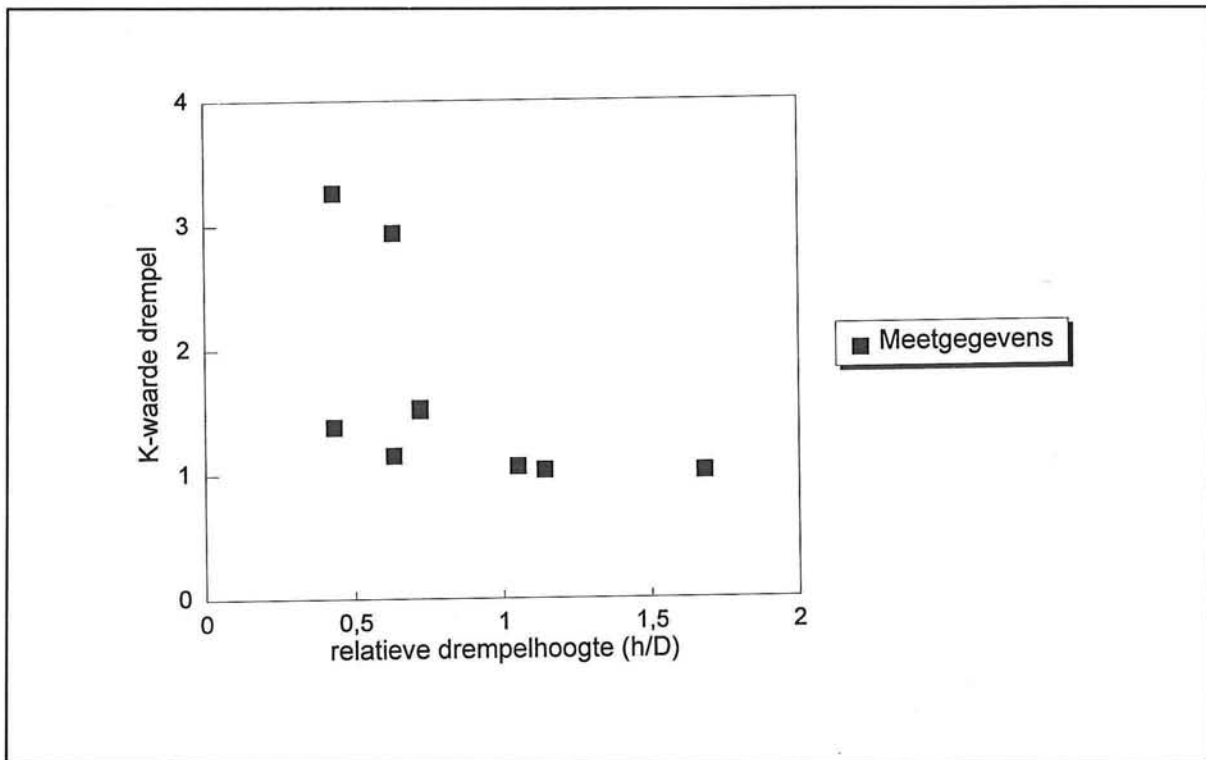
Bij een hoge drempel is de waterdiepte achter de drempel groot ten opzichte van de waterdiepte op de drempel. De vertraging van de stroming is hierdoor aanzienlijk. Bij een lage drempel is dit niet het geval. Dit impliceert een grotere aanval op de bodem bij een hoge drempel.

Bij een hoge drempel is duidelijk sprake van een straal die over de drempel stort. Op de plaats waar de straal de bodemverdediging raakt, is de aanval het grootst. Bij een lage drempel blijft de stroming achter de drempel meer aanliggen. In dat geval is de aanval op de bodemverdediging veel kleiner.

Om deze twee redenen moet uit de resultaten voor de stenen achter de drempel volgen, dat bij een hoge drempel een lagere kritieke snelheid wordt gevonden dan bij vergelijkbare proeven bij een lage drempel. Bij de proeven voor de bodemverdediging achter de drempel is alleen transport gevonden voor proeven bij een hoge drempel. Een vergelijking is dus niet mogelijk.

Uit deze proeven blijkt wel dat bij een hoge drempel de aanval op de bodemverdediging groter is, omdat de twee proeven waarbij transport is gevonden, zijn gedaan voor een hoge drempel.

De relatieve drempelhoogte heeft geen invloed op de stabiliteit van de stenen op de drempel. Dit blijkt ook uit de proefresultaten. In figuur 5.3 is de K-waarde van de stenen op de drempel uitgezet tegen de relatieve drempelhoogte h/D .



5.3 K-waarden drempel versus relatieve drempelhoogte

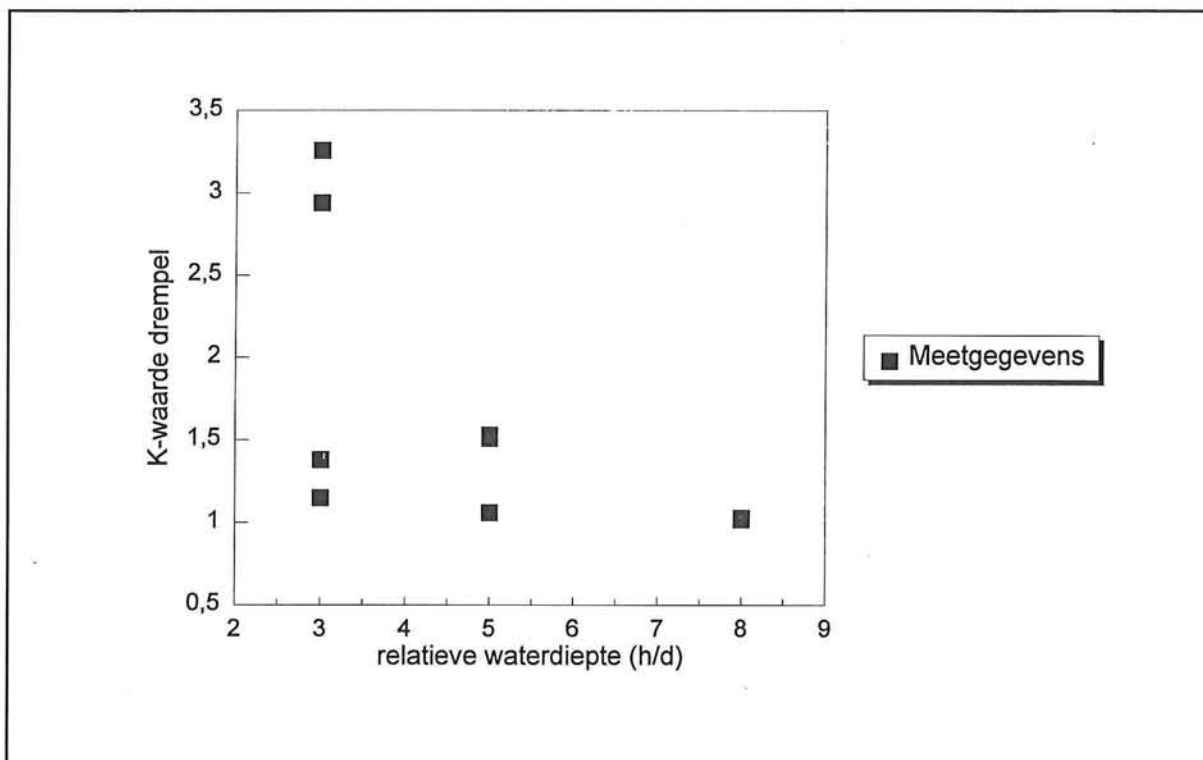
Uit deze grafiek blijkt geen duidelijke toe- of afname van de K-waarde bij toename van de relatieve drempelhoogte.

5.2.4 Invloed waterdiepte op steenstabiliteit

Uit de literatuur volgt dat bij kleine relatieve waterdiepten de steenstabiliteit toeneemt. Ashida (lit. [7]) heeft hiernaar onderzoek gedaan, waaruit is gebleken dat bij kleine relatieve waterdiepten de Shieldsparameter ψ groter wordt.

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de relatie tussen de kracht op de stenen en de schuifspanning op het bed in ondiep water anders is dan in diep water. Een andere oorzaak is wellicht de kleinere afmeting van de turbulente wervels in de stroming. In relatief ondiep water, waarbij de waterdiepte van dezelfde orde grootte is als de steendiameter, zijn de turbulente wervels van dezelfde orde grootte als de steendiameter. In dieper water worden de wervels groter wat leidt tot een zwaardere aanval op de bodem.

De voor de drempel gevonden K-waarden zijn uitgezet tegen de relatieve waterdiepte h/d (figuur 5.4).



5.4 K-waarden drempel versus relatieve waterdiepte

Uit deze figuur volgt geen duidelijk toename van de K-waarde bij afnemende waterdiepte.

Uit de resultaten van Ashida blijkt dat de ψ -waarde voor een relatieve waterdiepte van 5 vrijwel gelijk is aan de ψ -waarde voor $h/d = 3$. Bij relatieve waterdiepten kleiner dan 3 wordt de invloed van de waterdiepte op de ψ -waarde pas merkbaar.

In deel 2 van het fysisch onderzoek treedt slechts bij 2 proeven voldoende transport op om een K-waarde voor de bodemverdediging te kunnen berekenen. Op basis van deze twee K-waarden kan geen conclusie worden getrokken omtrent de invloed van de relatieve waterdiepte hierop. Om hierover uitsluitsel te geven moet nader onderzoek worden verricht.

5.2.5 Invloed bodemverdediging voor de drempel

De bodemverdediging vóór de drempel heeft mogelijk een invloed op de K-waarden van de drempel en de bodemverdediging achter de drempel. De grote ruwheid van de bodemverdediging vóór de drempel veroorzaakt mogelijk veel turbulentie in de stroming. Als deze turbulentie

doordringt tot de stroming boven en achter de drempel, heeft dit een nadelige invloed op de stabiliteit van de stenen aldaar.

Door de kritieke snelheden van overeenkomstige proeven met en zonder bodemverdediging voor de drempel met elkaar te vergelijken, wordt onderzocht of dit effect ook optreedt. Voor de drempel zijn de gevonden kritieke snelheden voor de overeenkomende proeven naast elkaar in tabel 5.3 vermeld.

Tabel 5.3

proef 3	0,20 m/s	proef 9	0,61 m/s
proef 4	0,64 m/s	proef 10	0,64 m/s
proef 5	0,37 m/s	proef 11	0,39 m/s
proef 6	0,41 m/s	proef 12	0,16 m/s

Als de bodemverdediging voor de drempel een nadelige invloed heeft op de stabiliteit van de stenen achter de drempel, dan moet bij de proeven met een bodemverdediging vóór de drempel een lagere kritieke snelheid worden gevonden dan bij de proeven zonder bodemverdediging. Uit tabel 5.3 blijkt dat dit één maal opgaat en één maal wordt tegengesproken. Bij twee vergelijkingen zijn de gevonden kritieke snelheden (vrijwel) gelijk.

Voor de stenen achter de drempel wordt bij proef 4 (zonder bodemverdediging) een kritieke snelheid van 0,91 m/s gevonden voor de stenen in vak 10. Bij proef 10 (met bodemverdediging) bedraagt deze snelheid 0,77 m/s.

Uit deze vergelijking van de resultaten blijkt niet overtuigend dat de bodemverdediging vóór de drempel een nadelige invloed heeft op de stabiliteit van de stenen achter de drempel.

In het fysisch model zijn metingen gedaan naar de turbulentie in de stroming. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in bijlage IX.

Om te bepalen of de bodemverdediging vóór de drempel de turbulentie op en achter de drempel verhoogd, worden de proeven paarsgewijs met elkaar vergeleken.

In onderstaande tabellen is:

- vóór: direct bovenstrooms van de drempel, in meetpunt 1 (zie figuur 2.4)
- op: midden op de drempel, in meetpunt 2 (zie figuur 2.4)
- vak n: in het midden van vak n (zie figuur 2.2)
- h: de waterdiepte ter plaatse van het meetpunt
- z: de hoogte van de EMS ten opzichte van de bodem
- r: de relatieve turbulentie gedefinieerd als de verhouding tussen de standaarddeviatie en de over de tijd gemiddelde waarde van de lokale stroomsnelheid

De verschillen tussen de gevonden waarden worden als procentuele afwijking (afw.) weergegeven. Deze wordt als positief gesteld als de turbulentie bij de proef met de bodemverdediging vóór de drempel groter is dan bij de proef zonder bodemverdediging. De veronderstelling van een hogere turbulentie-intensiteit wordt dan onderschreven.

Tabel 5.4

	Proef 1		Proef 7		afw. [%]
	z/h	r	z/h	r	
voor	0,42	0,093	0,31	0,113	-
op	0,38	0,059	0,18	0,071	-
vak 1	0,33	0,103	0,33	0,105	+1,9
vak 3	0,33	0,131	0,33	0,129	-1,5
vak 5	0,33	0,100	0,33	0,113	+11,5
vak 7	0,33	0,091	0,33	0,106	+14,2
vak 9	0,33	0,087	0,33	0,088	+1,1
vak 10	0,33	0,108	0,33	0,087	-19,4

De metingen vóór en op de drempel zijn niet voor gelijke waarden van z/h gedaan en mogen dus niet met elkaar vergeleken worden. Voor de vakken 1, 3 en 9 worden vrijwel gelijke waarden gevonden; voor de vakken 5 en 7 worden bij proef 7 hogere waarden voor de relatieve turbulentie gevonden en vak 10 daarentegen wordt een kleinere waarde voor de relatieve turbulentie gevonden.

Tabel 5.5

	Proef 2		Proef 8		afw. [%]
	z/h	r	z/h	r	
voor	0,46	0,072	0,32	0,092	-
op	0,35	0,045	0,35	0,057	-
vak 1	0,28	0,156	0,28	0,155	-0,6
vak 3	0,28	0,110	0,28	0,115	+4,3
vak 5	0,28	0,111	0,28	0,111	0
vak 7	0,28	0,095	0,28	0,106	+10,4
vak 9	0,28	0,104	0,28	0,098	-5,8
vak 10	0,28	0,084	0,28	0,098	+14,3

Bij de vergelijking van proef 2 en proef 8 wordt voor de vakken 1 en 5 vrijwel gelijke waarden gevonden. Voor de vakken 3, 7 en 10 worden bij proef 8 een iets hogere turbulentiegevonden.

Voor vak 9 daarentegen wordt bij proef 8 een iets lagere turbulentie gevonden.

Tabel 5.6

	Proef 3		Proef 9		afw. [%]
	z/h	r	z/h	r	
voor	0,45	0,085	0,95	0,095	-
op	0,63	0,034	0,37	0,037	-
vak 1	0,26	0,321	0,26	0,310	-3,4
vak 3	0,26	0,248	0,26	0,242	-2,3
vak 5	0,26	0,145	0,26	0,145	0
vak 7	0,26	0,115	0,26	0,123	+0,8
vak 9	0,27	0,104	0,27	0,109	+4,6
vak 10	0,28	0,096	0,28	0,089	-7,3

In tabel 5.6 blijven de afwijkingen beperkt tot minder dan 10 %. In 3 van de 6 vakken wordt voor proef 9 een lagere turbulentie gevonden; in 2 van de 6 vakken wordt een hogere turbulentie gevonden en in 1 vak wordt voor beide proeven hetzelfde gemeten.

Tabel 5.7

	Proef 4		Proef 10		afw. [%]
	z/h	r	z/h	r	
voor	0,20	0,111	0,20	0,107	-3,6
op	0,20	0,126	0,20	0,086	-31,7
vak 1	0,20	0,214	0,20	0,304	+29,6
vak 3	0,20	0,130	0,20	0,173	+24,9
vak 5	0,20	0,140	0,20	0,138	-1,4
vak 7	0,20	0,134	0,20	0,129	-3,7
vak 9	0,20	0,103	0,20	0,127	+18,9
vak 10	0,20	0,106	0,20	0,111	+4,5

Hier is wel een vergelijking mogelijk tussen de punten vóór en op de drempel. Vóór de drempel blijkt de turbulentie voor beide proeven vrijwel gelijk te zijn. Op de drempel neemt de turbulentie fors af. Achter de drempel neemt in 4 van de 6 vakken de turbulentie toe (in vak 1 en vak 3 zelfs fors); in de overige twee vakken treedt een geringe afname op.

De veronderstelling dat de bodemverdeding vóór de drempel de turbulentie-intensiteit achter de

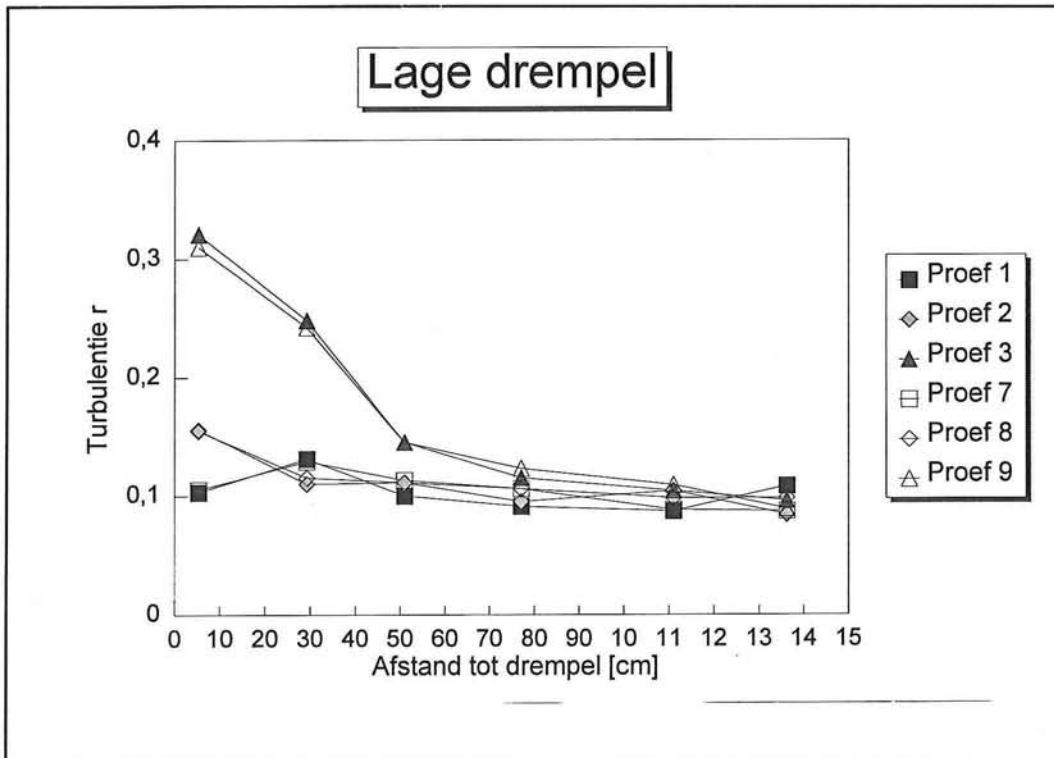
drempel verhoogt, wordt net zo vaak tegengesproken als onderschreven. Aan de hand van de resultaten van de turbulentie-metingen is niet te concluderen dat de bodemverdediging vóór de drempel een nadelige invloed heeft op de steenstabiliteit achter de drempel.

5.3 Afname stroombelasting

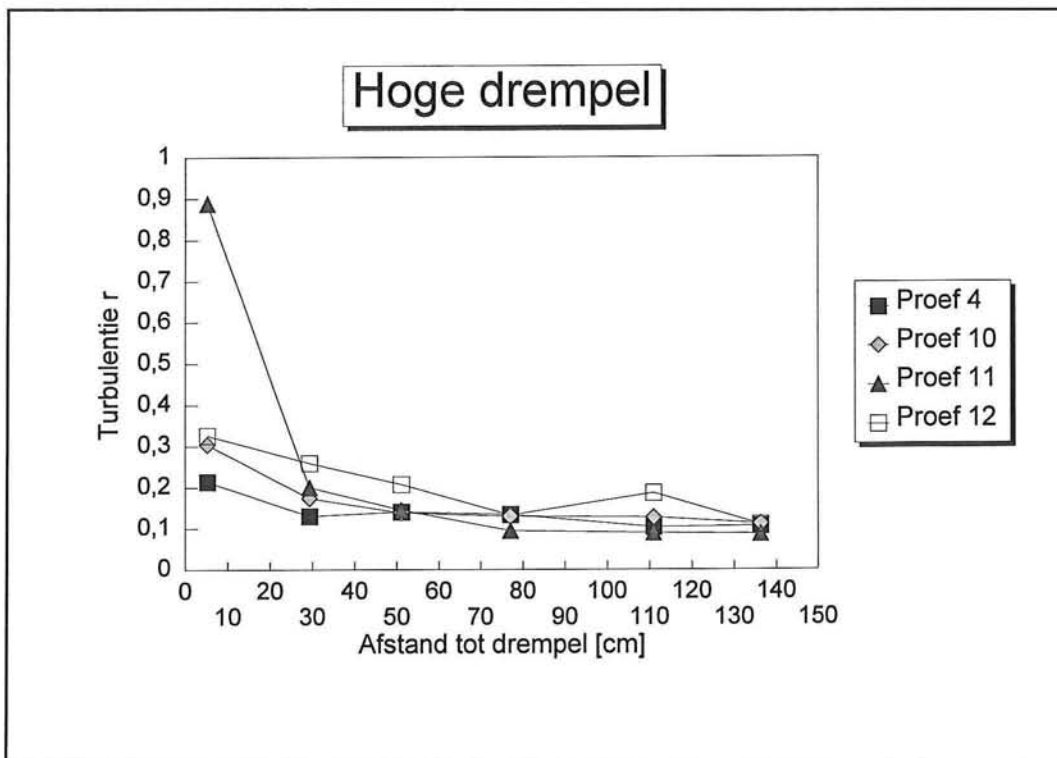
Bij stroming over een bodembescherming achter een drempel neemt in het algemeen de belasting op de stenen in benedenstroomse richting af. In paragraaf 1.3.3 wordt beschreven dat dit bij relatief ondiep water niet zonder meer het geval hoeft te zijn:

- door de geringe drempelhoogte kan de stroming achter de drempel zich niet spreiden in verticale richting en zal daardoor nauwelijks vertragen;
- over de bodemverdediging staat een wrijvingsverhang waardoor de stroming in benedenstroomse richting versnelt;
- de ruwe bodemverdediging introduceert extra turbulentie in het water. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat de turbulentie benedenstrooms van het aanligpunt niet afneemt maar gelijk blijft of toeneemt.

Gedurende deel 2 van het modelonderzoek zijn metingen verricht naar de lokale stroomsnelheid op de drempel en boven de bodemverdediging achter de drempel. Uit deze metingen is de relatieve turbulentie bepaald. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in bijlage IX. In figuur 5.5 en figuur 5.6 is de gemeten turbulentie uitgezet tegen de afstand tot de drempel.



5.5 Turbulentie versus afstand tot lage drempel



5.6 Turbulentie versus afstand tot hoge drempel

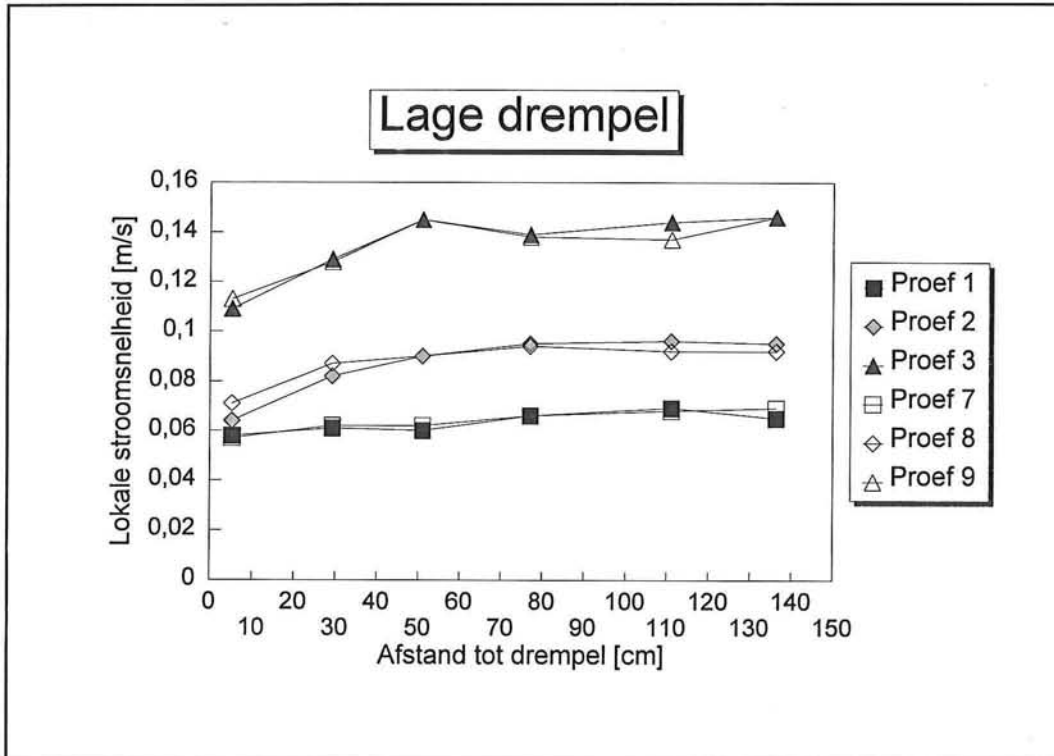
De straal over de drempel duikt onder een helling van ongeveer 1 op 6 naar de bodem. Dit houdt in dat bij een lage drempel het raakpunt op 10 cm van de drempel ligt en bij een hoge drempel op 18 cm.

Uit de figuren 5.5 en 5.6 blijkt dat de turbulentie achter de drempel in het algemeen afneemt in benedenstroomse richting. Bij enkele proeven (1, 2, 4, 7 en 12) wordt een uitschieter gevonden waarbij de dalende tendens wordt onderbroken.

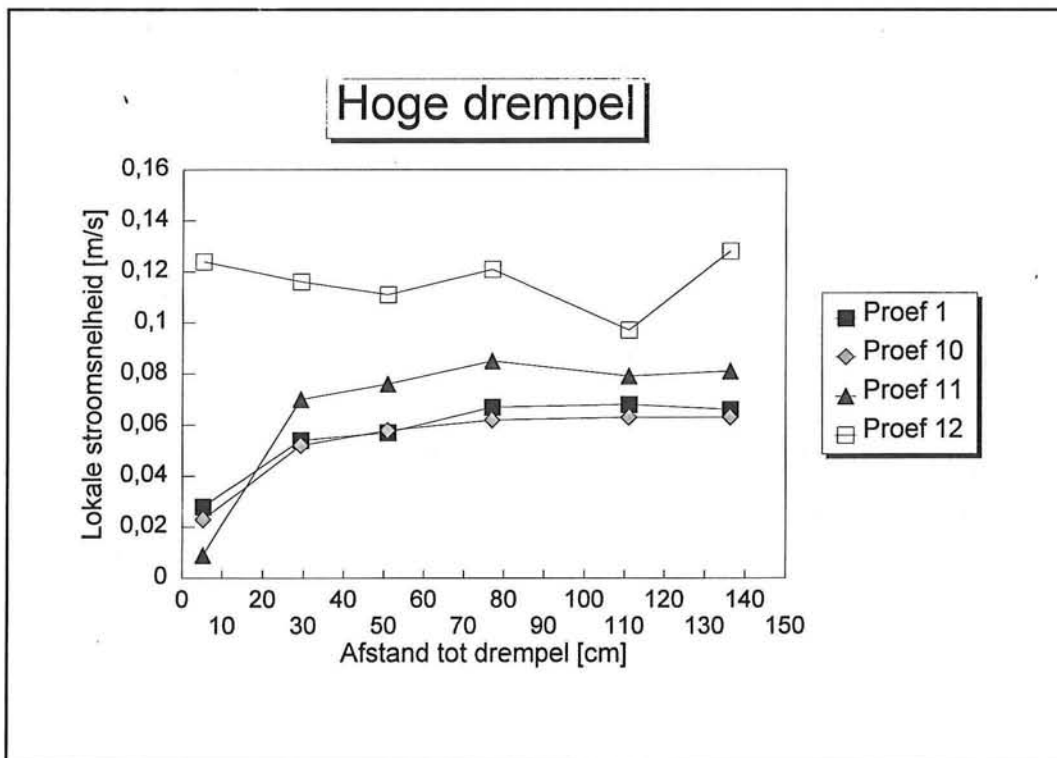
Bij de proeven voor een relatieve waterdiepte van 5 en 3 treedt een grote afname van de turbulentie op direct benedenstrooms van de drempel. Een verklaring hiervoor is niet gevonden maar moet waarschijnlijk gezocht worden in afwijkende fenomenen die optreden door het ondiepe water. De grote afname strookt met de bevinding dat de stenen achter de drempel stabiel zijn dan bij dezelfde situatie in dieper water.

Uit figuur 5.5 blijkt dat bij de lage drempel benedenstrooms van het aanligpunt de turbulentie met 23 % afneemt van 0,13 tot 0,10. Bij een hoge drempel neemt de turbulentie af met 67 % van 0,3 tot 0,1.

In de figuren 5.7 en 5.8 is de gemeten lokale snelheid uitgezet tegen de afstand tot de drempel.



5.7 Lokale snelheid versus afstand tot lage drempel



5.8 Lokale snelheid versus afstand tot hoge drempel

Uit figuur 5.7 volgt dat de stroomsnelheid achter de lage drempel toeneemt in benedenstroomse richting. De toename van de snelheid is groter naarmate de relatieve waterdiepte kleiner is. Uit figuur 5.8 volgt dat ook voor een hoge drempel de stroomsnelheid in benedenstroomse richting toeneemt en dat deze toename groter is naarmate de relatieve waterdiepte kleiner is. Bij een hoge drempel is de toename van de snelheid vlak achter de drempel groter dan boven de bodemverdediging. De resultaten van proef 12 vormen hierop een uitzondering.

Uit de meetresultaten blijkt dat de turbulentie in de stroming boven de bodemverdediging achter de drempel in benedenstroomse richting afneemt. Deze afname is voor een lage drempel kleiner dan voor een hoge drempel.

Daarnaast volgt uit de metingen, dat de stroomsnelheid in benedenstroomse richting toeneemt. Deze toename is zowel voor een hoge als een lage drempel groter naarmate de relatieve waterdiepte toeneemt.

Voor de stabiliteit van de stenen is de som van de afname van de turbulentie en de toename van de snelheid van belang. Uit de meetresultaten kan niet worden bepaald of deze som een toename danwel een afname van de belasting op de stenen in benedenstroomse richting inhoud.

5.4 Conclusie

Uit de resultaten van het modelonderzoek blijkt, dat de stenen op de drempel minder stabiel zijn dan in uniforme stroming. Dit is in tegenspraak met de theorie. De stenen van de bodemverdediging daarentegen zijn stabielier dan in uniforme stroming hetgeen ook in tegenspraak is met de theorie. Een verklaring hiervoor is niet gevonden maar moet waarschijnlijk worden gezocht in een andere stroombeeld op en achter de drempel bij ondiep water. Daarnaast is het mogelijk dat de onderdrukking van de turbulentie op de drempel door versnelling van de stroming minder is. Ook dit kan veroorzaakt worden door het relatief ondiepe water. Het verdient aanbeveling hiernaar verder onderzoek te doen.

Uit de resultaten van het modelonderzoek blijkt dat de stabiliteitsrelatie van Shields voor de onderzochte situaties geldig is, mits de K-waarde juist wordt gekozen.

Uit de resultaten van het fysisch modelonderzoek volgt niet eenduidig dat de bodemverdediging vóór de drempel de turbulentie in de stroming boven en achter de drempel verhoogd. De bodemverdediging voor de drempel heeft derhalve geen verhoging van de belasting door turbulentie op de stenen op en achter de drempel tot gevolg.

De turbulentie in de stroming achter de drempel neemt af met toenemende afstand tot de drempel. De stroomsnelheid daarentegen neemt toe met toenemende afstand tot de drempel. Voor de stabiliteit van de stenen is de som van de afname van de turbulentie en de toename van de snelheid van belang. Uit de meetresultaten kan niet worden bepaald of deze som een toename danwel een afname van de belasting op de stenen in benedenstroomse richting inhoud.

6. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

1. De invloed van wrijving boven de bodemverdediging in een sluitgat uit zich in een wrijvingsverval over de bodemverdediging. Een deel van het totale verval over het sluitgat wordt derhalve boven de bodemverdediging afgebouwd. Het verval over de drempel in het sluitgat wordt hiermee kleiner. Dit leidt tot significant kleinere stroomsnelheden boven de drempel.

De invloed van wrijving boven de bodemverdediging speelt niet alleen een rol in situaties waarin de relatieve waterdiepte klein is. Ook bij grotere relatieve waterdiepten kan het wrijvingsverval over de bodemverdediging dermate groot worden, dat het invloed heeft op de stroomsnelheden in het sluitgat.
2. De benaderingen van Chezy en Bélanger zijn geschikt voor de berekening van het wrijvingsverval over de bodemverdediging. Bij het gebruik van deze benaderingen moet bij de bepaling van de bodemruwheid voor de equivalente zandruwheid k een waarde van $4d_{50}$ worden aangehouden.
3. Voor de afvoercoëfficiënt van een lange ruwe overlaat worden waarden gebruikt die zijn afgeleid voor situaties waarin het wrijvingsverlies op de drempel een geringe rol speelt. Uit hoofdstuk 5 blijkt, dat ook voor situaties waarin het wrijvingsverlies een grotere rol speelt deze waarden voldoen. Zowel uit modelonderzoek als uit analytische berekeningen volgt, dat een waarde van 0,9 voor zowel een onvolkomen als een volkomen overlaat voldoet;
4. De K -waarden zoals ze uit het modelonderzoek volgen voor de drempel en de bodemverdediging zijn in tegenspraak met de theorie. De afwijking met de theoretische waarden is echter dermate gering dat de stabiliteitsrelatie van Shields voor de onderzochte situaties zonder bezwaar kan worden toegepast mits voor K de juiste waarde wordt gebruikt.
5. Uit de resultaten van het fysisch modelonderzoek volgt niet eenduidig dat de bodemverdediging vóór de drempel een negatieve invloed heeft op de stabiliteit van de stenen op en achter de drempel.
6. De turbulentie in de stroming achter de drempel neemt af met toenemende afstand tot de drempel. De stroomsnelheid daarentegen neemt toe met toenemende afstand tot de drempel. Voor de stabiliteit van de stenen is de som van de afname van de turbulentie en de toename van de snelheid van belang. Uit de meetresultaten kan niet worden bepaald of deze som een toename danwel een afname van de belasting op de stenen in benedenstroomse richting inhoud.

6.2 Aanbevelingen

1. Uit de resultaten van het modelonderzoek werd een relatie tussen de afvoercoëfficiënt voor een onvolkomen overlaat en het specifiek debiet over de constructie gevonden. Een verklaring voor deze relatie is niet gevonden. Tevens werden dermate kleine afvoercoëfficiënten gevonden dat vraagtekens worden geplaatst bij de geldigheid van de overlaatformule bij kleine afvoeren. Dit duidt erop dat bij relatief ondiep water sprake is van onbekende verschijnselen. Onderzoek hiernaar is aan te bevelen.

Bovengenoemde onbekende verschijnselen in ondiep water zijn waarschijnlijk ook de oorzaak van het vinden van afwijkende K-waarden.

2. Uit het onderzoek is niet naar voren gekomen hoe de belasting op de stenen van de bodemverdediging verloopt met toenemende afstand tot de drempel. Omdat dit belangrijk is voor de bepaling van de lengte van de bodemverdediging en de benodigde diameter van de stenen, is nader onderzoek hiernaar zeer zinvol.

7. INVLOED NEDECO-ONTWERP

7.1 Inleiding

De resultaten van het modelonderzoek zijn van toepassing op de stroming in het sluitgat in Saemankeum. Door middel van schaalregels is de situatie in Saemankeum te vertalen naar een situatie in de goot. Dit wordt in paragraaf 7.2 behandeld.

Bij het bepalen van de invloed van de bodemwrijving op de stroomsnelheden in het sluitgat, mag gebruik worden gemaakt van de beschouwingen van Chezy en Bélanger. Een eenvoudige analytische berekening van het verval over de bodemverdediging in het sluitgat is hierdoor mogelijk maar verloopt via een aantal iteratieslagen. Eenvoudiger is het om de invloed van het wrijvingsverval mee te nemen in de afvoercoëfficiënt van het sluitgat. Daarom wordt in paragraaf 7.3 gezocht naar een afvoercoëfficiënt voor de gehele constructie van bodemverdediging en drempel. Hiermee kan dan aan de hand van het verval over het sluitgat de gecorrigeerde stroomsnelheid worden bepaald.

In paragraaf 7.4 wordt aan de hand van de gecorrigeerde stroomsnelheden vervolgens gekeken naar de benodigde steendiameter.

7.2 Vertaling Saemankeum naar model

In paragraaf 2.4 is beschreven dat het model gelijkvormig is met de situatie in Saemankeum. Dit houdt in dat de situatie in Saemankeum door middel van schaalregels naar een situatie in de goot is te vertalen. De aangehouden geometrische schaal hierbij is 1:120. Hieruit volgt:

$$n_{\text{waterstand}} = n_{\text{diepte}} = n_{\text{energiehoogte}} = n_{\text{breedte}} = 120$$

$$n_{\text{stroomsnelheid}} = \sqrt{120}$$

$$n_{\text{debiet}} = 120 \cdot 120 \cdot \sqrt{120} = 120^{2,5}$$

Het model is alleen representatief voor het middelste gedeelte van het sluitgat waar de stroomlijnen recht zijn. Driedimensionale effecten door wervelingen rond de damhoofden kunnen niet in het model worden weergegeven.

De breedte van de goot komt overeen met een breedte van 48 m voor het beschouwde deel van het sluitgat.

7.3 Stroomsnelheden

7.3.1 Bepaling afvoercoëfficiënt gehele constructie

Aan de hand van de resultaten van het modelonderzoek is voor elke proef de afvoercoëfficiënt van de hele constructie bepaald. Dit is gedaan door uit de proefresultaten de energiehoogte op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging te berekenen. Door hier de waterdiepte op de benedenstroomse rand van af te trekken wordt het verval (H-h) over de constructie berekend.

De afvoercoëfficiënt wordt nu bepaald door het invullen van de formule:

$$\text{afvoercoëfficiënt} = \frac{u_{drempel}}{\sqrt{2g(H-h)}} \quad (7.1)$$

Bij een volkomen overlaat wordt voor het verval over de constructie $\frac{1}{3}H$ genomen.

De volgende resultaten werden gevonden:

Tabel 7.1

proef 7	stap 1	$\mu = 0,3$
	stap 2	$\mu = 0,5$
	stap 3	$\mu = 0,6$
	stap 4	$m = 0,7$
	stap 5	$m = 0,8$
	stap 6	$m = 0,9$
	stap 7	$m = 0,8$
	stap 8	$m = 0,8$
	stap 9	$m = 0,8$
	stap 10	$m = 0,8$
proef 8	stap 1	$\mu = 0,1$
	stap 2	$\mu = 0,3$
	stap 3	$\mu = 0,5$
	stap 4	$m = 0,7$
proef 9	stap 1	$\mu = 0,3$
	stap 2	$m = 0,5$

Tabel 7.2

proef 10	stap 1	$\mu = 0,2$
	stap 2	$\mu = 0,5$
	stap 3	$\mu = 0,6$
	stap 4	$m = 0,7$
	stap 5	$m = 0,8$
	stap 6	$m = 0,8$
	stap 7	$m = 0,8$
	stap 8	$m = 0,8$
	stap 9	$m = 0,8$
	stap 10	$m = 0,8$
proef 11	stap 1	$\mu = 0,4$
	stap 2	$\mu = 0,4$
	stap 3	$\mu = 0,5$
	stap 4	$\mu = 0,5$
proef 12	stap 1	$\mu = 0,3$
	stap 2	$\mu = 0,4$

Uit deze resultaten volgt dat voor een onvolkomen overlaat geen eenduidige waarden voor de afvoercoëfficiënt wordt gevonden. Het blijkt dat ook hier de afvoercoëfficiënt toeneemt bij toenemend debiet (zie paragraaf 4.3). Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

Voor een volkomen overlaat wordt in veruit de meeste gevallen een afvoercoëfficiënt van 0,8 gevonden.

7.3.2 Maatgevende stroomsnelheden

Door de gevonden afvoercoëfficiënt in te voeren in de overlaatformule, kan aan de hand van het verval over het sluitgat de stroomsnelheid op de drempel worden berekend.

Alleen voor een volkomen overlaat is een eenduidige afvoercoëfficiënt gevonden van 0,8. In Saemankeum treedt bij afsluitingsfase T2 en bij T3 een volkomen overlaat op bij eb. Voor deze twee situaties is de snelheid boven de drempel berekend met behulp van de formule:

$$u_{drempel} = 0,8 \sqrt{2g \cdot \frac{1}{3} \cdot (h_{res} - 1,70)} \quad (7.2)$$

Hierin is 1,70 de hoogte van de drempel ten opzichte van de bodemverdediging aan de reservoirzijde. Door de waterdiepte aan de reservoirzijde met deze hoogte te verminderen, wordt de waterdiepte ten opzichte van de kruin van de drempel verkregen. In tabel 7.3 zijn de gecorrigeerde waarden vergeleken de waarden die door NEDECO destijds zijn gebruikt.

Tabel 7.3

fase	h_{zee}	h_{res}	NEDECO	gecorrigeerd	afwijking
			$u_{drempel}$	$u_{drempel}$	
T2	4,52 m	6,74 m	5,22 m/s	4,59 m/s	12 %
T3	5,10 m	7,79 m	5,74 m/s	5,05 m/s	12 %

Door het meenemen van het verval over de bodemverdediging wordt in Saemankeum voor de beschouwde situaties een 12 % lagere stroomsnelheid gevonden.

Door een afvoercoëfficiënt voor de gehele constructie te gebruiken kan op een eenvoudige manier de invloed van de bodemwrijving op de stroomsnelheid in het sluitgat worden meegenomen. Het verdient aanbeveling nader onderzoek te doen naar de waarde voor de afvoercoëfficiënt, met name voor een onvolkomen overlaat.

7.4 Steendiameter bodemverdediging

Met de in paragraaf 7.2.3 berekende stroomsnelheden wordt opnieuw de benodigde steendiameter bepaald. Dit wordt gedaan volgens de methode die door NEDECO gehanteerd is.

Voor de maatgevende stroomsnelheden wordt het gemiddelde aangehouden van twee opeenvolgende fasen. Bijvoorbeeld voor de maatgevende stroomsnelheid bij het gaan van T2 naar T3 wordt het gemiddelde genomen van de snelheid op T2 (4,59 m/s) en T3 (5,05 m/s).

Verder is gebruik gemaakt van de in tabel 7.4 weergegeven waarden. γ is een veiligheidsfactor.

Uit deze tabel blijkt een reductie van circa 20 % op de benodigde steendiameter. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de bodemverdediging te zwaar is.

Bij de dimensionering van de stenen van de bodemverdediging heeft NEDECO de K-waarde in

Tabel 7.4

fase	u	K	γ	C	ψ	Δ	$d_{gecorr.}$	d_{NEDECO}
T2	4,82	1,1	1,2	28,41	0,04	1,53	0,68	0,85
T3	5,05	1,1	1,2	29,01	0,04	1,53	0,72	0,93

benedenstroomse richting laten afnemen. Uit het modelonderzoek volgt dat de turbulentie boven de bodemverdediging in benedenstroomse richting afneemt (zie paragraaf 5.3). Een afname van de K-waarde in benedenstroomse richting is dus gerechtvaardigd.

In het ontwerp is tevens uitgegaan van een afnemende stroomsnelheid in benedenstroomse richting. Uit het modelonderzoek bleek echter een, weliswaar beperkte, toename van de stroomsnelheid in benedenstroomse richting. Uit de resultaten van het modelonderzoek kan niet bepaald worden hoe in Saemanekeum de stroomsnelheid toeneemt in benedenstroomse richting.

Uit deel 2 van het modelonderzoek is gebleken, dat bij geen enkele proef bij een lage drempel transport van de stenen van de bodemverdediging is waargenomen. Het maximale debiet door het sluitgat komt overeen met een debiet van 11 l/s in de goot. Tijdens het tweede deel van het onderzoek is pas transport van de stenen van de bodemverdediging gevonden bij een debiet dat veel hoger lag dan 11 l/s. Hieruit volgt dat de stenen van de bodemverdediging in Saemanekeum zwaarder zijn dan voor een twee-dimensionale stroming noodzakelijk is. Dit wordt veroorzaakt door gebruik van een te grote K-waarde. Uit de resultaten van het onderzoek blijkt, dat voor een bodemverdediging achter een drempel in ondiep water een K-waarde < 1 mag worden aangehouden.

Bij bovenstaande bepaling van de benodigde steendiameter is geen rekening gehouden met de grotere aanval door wervelingen rond de damhoofden.

LITERATUUR

- [1] Afsluitdammen, regels voor het ontwerp; door ir. J.L.M. Konter, ir. R.E. Jorissen en ir. H.E. Klatter, Rijkswaterstaat 1992.
- [2] Damming of tidal estuaries and lowland rivers, voorlopig diktaat; door ir. F.C. van Roode, Technische Universiteit Delft 1994.
- [3] Vloeistofmechanica, diktaat; door prof.dr.ir. J.A. Battjes, Technische Universiteit Delft 1991.
- [4] Introduction to bed bank shore protection, diktaat; door ir. G.J. Schiereck, Technische Universiteit Delft 1993.
- [5] Saemankeum comprehensive tidal reclamation project, nummers 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 en 19; technische rapporten gemaakt door NEDECO.
- [6] Experiments on Flow Resistance for Mountain Rivers; door ir. F.J.P. van Swol, Technische Universiteit Delft 1993.
- [7] Initiation of motion and roughness of flows in steep channels; door prof. K.Ashida en prof. M. Bayazit; International Association for Hydraulic Research.
- [8] Stroombestendigheid sluitgatrempel, stabiliteit los materiaal achter een dam met brede kruin; M711 deel IV Waterloopkundig Laboratorium Delft.
- [9] De Technische Vraagbaak deel W; Kluwer Deventer 1952.
- [10] Waterloopkundig onderzoek, diktaat; door prof.dr.ir. M. de Vries, Technische Hogeschool Delft 1977.
- [11] Rekenregels voor waterbouwkundige ontwerpen; Bouwdienst Rijkswaterstaat 1990.
- [12] Manual programmable electromagnetic liquid velocity meter; Waterloopkundig Laboratorium Delft 1993.
- [13] Steenstabiliteit bij horizontale vernauwingen; door R.H. van Breugel en T.D. ten Hove, Technische Universiteit Delft 1995.

BIJLAGEN

- I Resultaten getijdeberekeningen sluitgat 3
- II Schaaltekening bodemverdediging sluitgat 3
- III Meetresultaten modelonderzoek deel 1
- IV Bepaling K-waarden van de drempel
- V Meetresultaten modelonderzoek deel 2
- VI Bepaling K-waarden van de bodemverdediging
- VII Overzicht gemeten vervallen
- VIII Vergelijking tussen gemeten en berekende wrijvingsvervallen (Chezy-benadering)
- IX Vergelijking tussen gemeten en berekende wrijvingsvervallen (Bélanger-benadering)
- X Resultaten EMS-metingen

Bijlage I: Resultaten getijdeberekeningen sluitgat 3

T₁ breedte sluitgat: 1400 m

waterstanden in m ten opzichte van Mean Sea Level
snelheden in m/s, positief bij vloedstroming (van zee naar reservoir)
debiet in m³/s, positief bij vloedstroming (van zee naar reservoir)

tijd	h _{zee}	h _{reservoir}	u _{drempel}	Q
0,0	2,98	2,58	2,46	28.533
0,5	2,98	2,80	1,67	19.627
1,0	2,80	2,77	0,56	6.503
1,5	2,45	2,47	-0,77	-8.582
2,0	1,94	2,10	-1,66	-17.454
2,5	1,30	1,65	-2,35	-23.010
3,0	0,58	1,16	-2,97	-26.559
3,5	-0,17	0,62	-3,45	-27.742
4,0	-0,91	0,05	-3,81	-27.098
4,5	-1,60	-0,49	-4,07	-25.459
5,0	-2,18	-0,98	-4,22	-23.217
5,5	<u>-2,63</u>	<u>-1,42</u>	<u>-4,23</u>	<u>-20.647</u>
6,0	-2,91	-1,79	-4,00	-17.958
6,5	-3,00	-2,09	-3,66	-15.203
7,0	-2,90	-2,29	-2,99	-12.167
7,5	-2,62	-2,36	-1,93	-8.145
8,0	-2,17	-2,13	0,20	943
8,5	-1,58	-1,72	1,55	8.325
9,0	-0,89	-1,24	2,37	14.640
9,5	-0,15	-0,70	2,93	20.749
10,0	0,61	-0,11	3,30	26.506
10,5	1,32	0,52	3,49	31.270
11,0	<u>1,96</u>	<u>1,14</u>	<u>3,51</u>	<u>34.565</u>
11,5	2,46	1,71	3,37	35.688
12,0	2,81	2,21	3,03	33.876
12,5	2,98	2,58	2,40	28.533

T₂ breedte sluitgat: 800 m

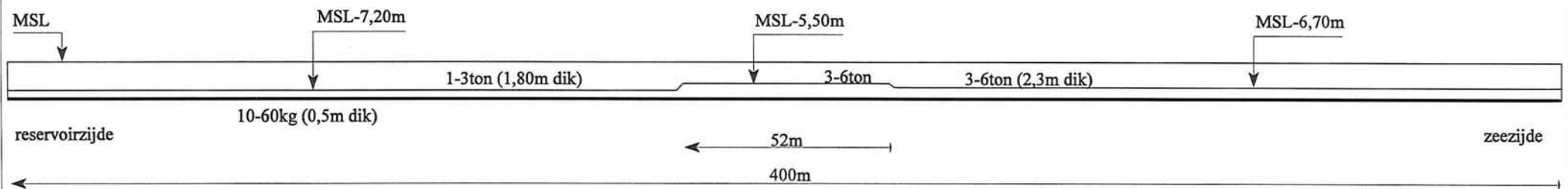
tijd	h _{zee}	h _{reservoir}	u _{drempel}	Q
0,0	2,98	2,22	3,37	21.828
0,5	2,98	2,55	2,55	16.844
1,0	2,80	2,69	1,29	8.489
1,5	2,45	2,52	-1,06	-6.789
2,0	1,94	2,23	-2,16	-13.139
2,5	1,30	1,85	-2,88	-16.330
3,0	0,58	1,41	-3,52	-18.317
3,5	-0,17	0,93	-4,05	-19.118
4,0	-0,91	0,43	-4,46	-18.815
4,5	-1,60	-0,06	-4,77	-17.884
5,0	<u>-2,18</u>	<u>-0,46</u>	<u>-5,22</u>	<u>-14.071</u>
5,5	-2,63	-0,83	-5,03	-12.598
6,0	-2,91	-1,15	-4,85	-11.318
6,5	-3,00	-1,45	-4,68	-10.148
7,0	-2,90	-1,74	-4,14	-10.565
7,5	-2,62	-1,94	-3,16	-8.151
8,0	-2,17	-1,98	-1,61	-4.408
8,5	-1,58	-1,67	1,27	3.920
9,0	-0,89	-1,37	2,70	9.421
9,5	-0,15	-0,90	3,37	13.361
10,0	0,61	-0,43	3,93	17.534
10,5	1,32	0,13	4,21	20.937
11,0	<u>1,96</u>	<u>0,70</u>	<u>4,32</u>	<u>23.515</u>
11,5	2,46	1,26	4,22	24.818
12,0	2,81	1,78	3,92	24.400
12,5	2,98	2,22	3,37	21.828

T₃ breedte sluitgat: 200 m

tijd	h _{zee}	h _{reservoir}	u _{drempel}	Q
0,0	2,98	1,55	4,60	7.136
0,5	2,98	1,95	3,91	6.212
1,0	2,80	2,26	2,84	4.557
1,5	2,45	2,42	0,71	1.129
2,0	1,94	2,34	-2,44	-3.733
2,5	1,30	2,01	-3,24	-4.638
3,0	0,58	1,68	-4,03	-5.357
3,5	-0,17	1,33	-4,69	-5.713
4,0	-0,91	0,95	-5,22	-5.776
4,5	<u>-1,60</u>	<u>0,59</u>	<u>-5,74</u>	<u>-4.673</u>
5,0	-2,18	0,21	-5,55	-4.244
5,5	-2,63	-0,12	-5,39	-3.881
6,0	-2,91	-0,43	-5,23	-3.549
6,5	-3,00	-0,71	-5,09	-3.260
7,0	-2,90	-0,96	-4,95	-3.010
7,5	-2,62	-1,18	-4,83	-2.793
8,0	-2,17	-1,36	-3,44	-2.576
8,5	-1,58	-1,43	-1,46	-1.167
9,0	-0,89	-1,27	2,38	2.103
9,5	-0,15	-1,02	3,60	3.535
10,0	0,61	-0,69	4,37	4.763
10,5	1,32	-0,33	4,93	5.898
11,0	1,96	0,13	5,18	6.765
11,5	<u>2,46</u>	<u>0,60</u>	<u>5,23</u>	<u>7.337</u>
12,0	2,81	1,08	5,04	7.497
12,5	2,98	1,54	4,61	7.142

Bijlage II: Schaaltekening bodemverdediging sluitgat 3

Langsdoorsnede bodembescherming Saemankeum-project (op schaal)



Bijlage III: Meetresultaten modelonderzoek deel 1

In deze bijlage zijn de resultaten van het eerste deel van het onderzoek weergegeven. Voor ieder stap van elke proef is weergegeven:

- Q het debiet
- d de waterstand ten opzichte van de gootbodem
- h de waterdiepte (d minus de hoogte van het steenbed)
- u de over de vertikaal gemiddelde snelheid
- H de energiehoogte ten opzichte van de gootbodem

0 t/m 5 zijn de meetpunten

In meetpunt 3, direct achter de drempel, zijn de stroomlijnen sterk gekromd. Derhalve is de drukverdeling in dit punt niet hydrostatisch en ligt het piëzometrisch niveau niet in de waterspiegel. Omdat in punt 3 geen drukverdeling bekend is, kan hier de wet van Bernoulli niet worden toegepast. In dit punt is geen waarde voor de energiehoogte berekend.

Verder is voor iedere stap weergegeven of het een onvolkomen of een volkomen overlaatbetreft.

"Schuif geheel naar beneden" betekent dat de schuif waarmee de waterstand in de goot wordt ingesteld, geheel naar beneden is gedraaid. Bij toename van het debiet neemt de waterstand in de goot toe.

Voor de hoogte van de constructiedelen ten opzichte van de gootbodem werd gevonden:

- serie I: drempel: 4,77 cm
 bed achter drempel: 3,08 cm

- serie II: drempel: 6,99 cm
 bed achter drempel: 3,08 cm

- serie III: bed vóór drempel: 1,93 cm
 drempel: 4,77 cm
 bed achter drempel: 3,08 cm

- serie IV: bed vóór drempel: 1,93 cm
 drempel: 6,99 cm
 bed achter drempel: 3,08 cm

SERIE I:	proef 1	drempel 2 lagen, 8 cm	7
	proef 2	drempel 2 lagen, 5 cm	13
	proef 3	drempel 2 lagen, 3 cm	17
SERIE II:	proef 4	drempel 4 lagen, 8 cm	21
	proef 5	drempel 4 lagen, 5 cm	25
	proef 6	drempel 4 lagen, 3 cm	29
SERIE III:	proef 7	steenbed, drempel 2 lagen, 8 cm	33
	proef 8	steenbed, drempel 2 lagen, 5 cm	37
	proef 9	steenbed, drempel 2 lagen, 3 cm	41
SERIE IV:	proef 10	steenbed, drempel 4 lagen, 8 cm	45
	proef 11	steenbed, drempel 4 lagen, 5 cm	47
	proef 12	steenbed, drempel 4 lagen, 3 cm	51

SERIE I

proef 1

stap 1

Q = 0.62 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	-	-	-	-	11,09
h [cm]	-	-	-	-	8,01
u [cm/s]	-	-	-	-	1,94
H [cm]	-	-	-	-	11,09

transport: geen

stap 2

Q = 1.11 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	-	-	-	-	11,01
h [cm]	-	-	-	-	7,93
u [cm/s]	-	-	-	-	3,50
H [cm]	-	-	-	-	11,01

transport: geen

stap 3

Q = 2.63 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	-	-	-	-	11,08
h [cm]	-	-	-	-	8,00
u [cm/s]	-	-	-	-	8,22
H [cm]	-	-	-	-	11,11

transport: geen

stap 4

Q = 6.23 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,70	11,28	11,32	11,30	11,17
h [cm]	11,70	6,51	8,24	8,22	8,09
u [cm/s]	13,31	23,92	18,90	18,95	19,25
H [cm]	11,79	11,57	-	11,48	11,36

transport: geen

stap 5

Q = 8.85 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,05	11,30	11,33	11,23	11,07
h [cm]	12,05	6,53	8,25	8,15	7,99
u [cm/s]	18,36	33,88	26,82	27,15	27,69
H [cm]	12,22	11,89	-	11,61	11,46

transport: geen

stap 6

Q = 10.02 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,38	11,46	11,50	11,48	11,20
h [cm]	12,38	6,69	8,42	8,40	8,12
u [cm/s]	20,23	37,44	29,75	29,82	30,85
H [cm]	12,59	12,17	-	11,93	11,69

transport: geen

stap 7

Q = 12.52 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,85	11,71	11,41	11,47	11,01
h [cm]	12,85	6,94	8,33	8,39	7,93
u [cm/s]	24,36	45,10	37,58	37,31	39,47
H [cm]	13,15	12,75	-	12,18	11,80

transport: geen

stap 8

Q = 14.23 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,28	11,97	11,71	11,46	11,15
h [cm]	13,28	7,20	8,63	8,38	8,07
u [cm/s]	26,79	49,41	41,22	42,45	44,08
H [cm]	13,65	13,21	-	12,38	12,14

transport: geen

stap 9

Q = 15.84 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,66	12,01	11,68	11,65	11,05
h [cm]	13,66	7,24	8,60	8,57	7,97
u [cm/s]	28,99	54,70	46,05	46,21	49,69
H [cm]	14,09	13,54	-	12,74	12,31

transport: geen

stap 10

Q = 22.38 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,58	12,26	11,83	12,14	11,02
h [cm]	14,58	7,49	8,75	9,06	7,94
u [cm/s]	38,37	74,70	63,94	61,75	70,47
H [cm]	15,33	15,10	-	14,08	13,55

transport: geen

stap 11

Q = 19.64 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,82	12,38	11,91	12,59	11,07
h [cm]	14,82	7,61	8,83	9,51	7,99
u [cm/s]	33,13	64,52	55,61	51,63	61,45
H [cm]	15,38	14,50	-	13,95	12,99

transport: geen

stap 12

Q = 21.70 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	15,32	12,68	12,25	11,65	11,05
h [cm]	15,32	7,91	9,17	8,57	7,97
u [cm/s]	35,41	68,58	59,16	63,30	68,07
H [cm]	15,96	15,08	-	13,69	13,41

transport: geen

stap 13

Q = 24.40 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	16,06	13,15	12,86	13,18	11,23
h [cm]	16,06	8,38	9,78	10,10	8,15
u [cm/s]	37,98	72,79	62,37	60,40	74,85
H [cm]	16,80	15,85	-	15,04	14,09

transport: geen

stap 14

Q = 26.65 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	16,62	13,43	13,29	13,79	11,16
h [cm]	16,62	8,66	10,21	10,71	8,08
u [cm/s]	40,09	76,93	65,25	62,21	82,46
H [cm]	17,44	16,45	-	15,76	14,63

transport: 1 van drempel

stap 15

Q = 29.57 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	17,41	14,11	14,05	14,06	11,07
h [cm]	17,41	9,34	10,97	10,98	7,99
u [cm/s]	42,46	79,15	67,39	67,33	92,52
H [cm]	18,33	17,30	-	16,37	15,43

transport: 3 van drempel

proef 2

stap 1

Q = 2.63 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	9,07	8,04	8,26	8,31	8,08
h [cm]	9,07	3,27	5,18	5,23	5,00
u [cm/s]	7,25	20,11	12,69	12,57	13,15
H [cm]	9,10	8,25	-	8,39	8,17

transport: geen

stap 2

Q = 5.71 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	9,89	8,79	8,55	8,61	8,11
h [cm]	9,89	4,02	5,47	5,53	5,03
u [cm/s]	14,43	35,51	26,70	25,81	28,38
H [cm]	10,00	9,43	-	8,95	8,52

transport: geen

stap 3

Q = 7.58 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	10,70	9,42	8,98	8,02	8,29
h [cm]	10,70	4,65	5,90	4,94	5,21
u [cm/s]	17,71	40,75	32,12	38,36	36,37
H [cm]	10,86	10,27	-	8,77	8,96

transport: geen

stap 4

Q = 9.43 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,00	9,95	9,20	9,28	8,07
h [cm]	11,00	5,18	6,12	6,20	4,99
u [cm/s]	21,43	45,51	38,52	38,02	47,24
H [cm]	11,23	11,01	-	10,02	9,21

transport: geen

stap 5

Q = 11.61 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,21	10,59	9,86	9,98	8,06
h [cm]	12,21	5,82	6,78	6,90	4,98
u [cm/s]	23,77	49,87	42,81	42,07	58,28
H [cm]	12,50	11,86	-	10,88	9,79

transport: geen

stap 6

Q = 13.90 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,93	11,11	10,28	10,57	8,19
h [cm]	12,93	6,34	7,20	7,49	5,11
u [cm/s]	26,88	54,81	48,26	46,40	68,00
H [cm]	13,30	12,64	-	11,67	10,55

transport: geen

stap 7

Q = 15.94 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,57	11,52	10,72	10,88	8,14
h [cm]	13,57	6,75	7,64	7,80	5,06
u [cm/s]	29,37	59,04	52,16	51,09	78,75
H [cm]	14,01	13,30	-	12,21	11,30

transport: geen

stap 8 (schuif geheel naar beneden)

Q = 18.47 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,35	11,98	11,22	11,84	8,36
h [cm]	14,35	7,21	8,14	8,76	5,28
u [cm/s]	32,18	64,04	56,73	52,71	87,45
H [cm]	14,88	14,07	-	13,26	12,26

transport: geen

stap 9

Q = 25.04 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	16,17	13,25	12,82	13,36	9,52
h [cm]	16,17	8,48	9,74	10,28	6,44
u [cm/s]	38,71	73,82	64,27	60,89	97,20
H [cm]	16,93	13,34	-	15,25	14,34

transport: geen

stap 10

Q = 29.10 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	17,21	14,00	13,55	14,02	10,37
h [cm]	17,21	9,23	10,47	10,94	7,29
u [cm/s]	38,71	73,82	64,27	60,89	97,20
H [cm]	18,12	16,68	-	15,91	15,45

transport: geen

proef 3

stap 1

Q = 4.63 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	9,90	8,57	7,55	7,59	6,07
h [cm]	9,90	3,80	4,47	4,51	2,99
u [cm/s]	11,69	30,46	25,89	25,67	38,71
H [cm]	9,97	9,04	-	7,93	6,83

transport: 14 van drempel door schokgolf

stap 2 (schuif geheel naar beneden)

Q = 10.43 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,35	10,37	8,61	9,76	7,37
h [cm]	12,35	5,60	5,53	6,68	4,29
u [cm/s]	21,11	46,56	47,15	39,03	60,78
H [cm]	12,58	11,47	-	10,54	9,25

transport: 20 van drempel

stap 3

Q = 14.65 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,76	11,34	9,56	10,46	8,43
h [cm]	13,76	6,57	6,48	7,38	5,35
u [cm/s]	26,62	55,75	56,52	49,63	68,46
H [cm]	14,12	12,92	-	11,72	10,82

transport: 22 van drempel

stap 4

Q = 20.03 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	15,39	12,52	10,75	11,69	9,50
h [cm]	15,39	7,75	7,67	8,61	6,42
u [cm/s]	32,54	64,61	65,29	58,16	78,00
H [cm]	15,93	14,65	-	13,41	12,60

transport: 30 van drempel

stap 5

Q = 26.49 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	17,05	13,74	12,03	14,72	10,81
h [cm]	17,05	8,97	8,95	11,64	7,73
u [cm/s]	38,84	73,83	73,99	56,89	85,67
H [cm]	17,82	16,52	-	16,37	14,55

transport: 38 van drempel

stap 6

Q = 31.80 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	18,49	14,76	13,13	13,88	11,43
h [cm]	18,49	9,99	10,05	10,80	8,35
u [cm/s]	43,00	79,58	79,10	73,61	95,21
H [cm]	19,43	17,99	-	16,64	16,05

transport: 58 van drempel

stap 7

Q = 38.74 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	20,00	16,08	14,34	16,38	12,29
h [cm]	20,00	11,31	11,26	13,30	9,21
u [cm/s]	48,43	85,63	86,01	72,82	105,16
H [cm]	21,20	19,82	-	19,08	17,93

transport: 92 van drempel

stap 8

Q = 43.27 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	20,91	17,16	14,98	16,59	13,05
h [cm]	20,91	12,39	11,90	13,51	9,97
u [cm/s]	51,73	87,31	90,90	80,07	108,50
H [cm]	22,27	21,05	-	19,86	19,05

transport: 98 van drempel

SERIE II**Proef 4****stap 1** $Q = 7.71 \text{ l/s}$ onvolkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,76	11,19	10,76	11,31	11,15
h [cm]	12,76	4,20	7,68	8,23	8,07
u [cm/s]	15,11	45,89	25,10	23,42	23,88
H [cm]	12,88	12,26	-	11,59	11,44

transport: geen

stap 2 $Q = 11.40 \text{ l/s}$ volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,03	11,71	9,82	11,76	11,12
h [cm]	14,03	4,72	6,74	8,68	8,04
u [cm/s]	20,31	60,38	42,28	32,83	35,45
H [cm]	14,24	13,57	-	12,31	11,76

transport: 1 van drempel

stap 3 $Q = 14.39 \text{ l/s}$ volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	15,04	12,20	9,18	10,79	11,45
h [cm]	15,04	5,21	6,10	7,71	8,37
u [cm/s]	23,92	69,05	58,98	46,66	42,98
H [cm]	15,33	14,63	-	11,90	12,39

transport: 9 van drempel

stap 4

Q = 18.58 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	16,35	13,07	9,56	11,02	11,12
h [cm]	16,35	6,08	6,48	7,94	8,04
u [cm/s]	28,41	76,40	71,68	58,50	57,77
H [cm]	16,76	16,05	-	12,76	12,82

transport: 30 van drempel

stap 5

Q = 24.80 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	17,48	13,58	9,65	11,79	11,28
h [cm]	17,48	6,59	6,57	8,71	8,20
u [cm/s]	35,47	94,08	94,37	71,18	75,61
H [cm]	18,12	18,09	-	14,37	14,19

transport: 180 van drempel

stap 6

Q = 27.80 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	18,81	14,57	10,43	13,78	11,12
h [cm]	18,81	7,58	7,35	10,70	8,04
u [cm/s]	36,95	91,69	94,56	64,95	86,44
H [cm]	19,51	18,85	-	15,93	14,92

transport: meer dan 180 van drempel

stap 7

Q = 34.01 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	20,20	15,74	11,45	14,82	11,83
h [cm]	20,20	8,75	8,37	11,74	8,75
u [cm/s]	42,09	97,17	101,58	72,74	97,17
H [cm]	21,10	20,55	-	17,52	16,64

transport: meer dan 180 van drempel

stap 8

Q = 38.70 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	21,17	16,59	12,11	15,01	12,40
h [cm]	21,17	9,60	9,03	11,93	9,32
u [cm/s]	45,70	100,78	107,14	81,10	103,81
H [cm]	22,23	21,77	-	18,36	17,89

transport: meer dan 180 van drempel

Proef 5

stap 1

Q = 3.57 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	10,58	9,31	7,89	8,36	8,16
h [cm]	10,58	2,32	4,81	5,28	5,08
u [cm/s]	8,44	38,47	18,56	16,90	17,57
H [cm]	10,62	10,06	-	8,51	8,32

transport: geen

stap 2

Q = 7.02 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,31	10,37	7,37	8,89	8,25
h [cm]	12,31	3,38	4,29	5,81	5,17
u [cm/s]	14,26	51,92	40,91	30,21	33,95
H [cm]	12,41	11,74	-	9,36	8,84

transport: 49 van drempel

stap 3

Q = 10.72 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,66	11,21	7,53	9,87	8,14
h [cm]	13,66	4,22	4,45	6,79	5,06
u [cm/s]	19,62	63,51	60,22	39,47	52,96
H [cm]	13,86	13,27	-	10,66	9,57

transport: 78 van drempel

stap 4 (schuif geheel naar beneden)

Q = 14.71 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	15,16	12,17	8,30	10,66	8,43
h [cm]	15,16	5,18	5,22	7,58	5,35
u [cm/s]	24,26	70,99	70,45	48,52	68,74
H [cm]	15,46	14,74	-	11,86	10,84

transport: 92 van drempel

stap 5

Q = 20.10 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	16,70	13,12	9,25	12,23	9,39
h [cm]	16,70	6,13	6,17	9,15	6,31
u [cm/s]	30,09	81,97	81,44	54,92	76,64
H [cm]	17,16	16,54	-	13,77	12,62

transport: 104 van drempel

stap 6

Q = 27.76 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	18,72	14,58	10,52	13,91	10,86
h [cm]	18,72	7,59	7,44	10,83	7,78
u [cm/s]	37,07	91,44	93,28	64,08	89,20
H [cm]	19,42	18,84	-	16,00	14,91

transport: meer dan 104 van drempel

stap 7

Q = 36.23 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	20,73	16,08	11,77	14,70	12,08
h [cm]	20,73	9,09	8,69	11,62	9,00
u [cm/s]	43,69	99,64	104,23	77,95	100,64
H [cm]	21,70	21,14	-	17,80	17,24

transport: meer dan 104 van drempel

Proef 6

stap 1

Q = 3.36 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	10,32	9,06	6,13	7,02	6,05
h [cm]	10,32	2,07	3,05	3,94	2,97
u [cm/s]	8,14	40,58	27,54	21,32	28,28
H [cm]	10,35	9,90	-	7,25	6,46

transport: 5 van drempel

stap 2

Q = 4.85 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,16	9,69	6,42	7,62	6,50
h [cm]	11,16	2,70	3,34	4,54	3,42
u [cm/s]	10,86	44,91	36,30	26,71	35,45
H [cm]	11,22	10,72	-	7,98	7,14

transport: 23 van drempel

stap 3

Q = 7.32 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,25	10,46	6,82	8,59	7,05
h [cm]	12,25	3,47	3,74	5,51	3,97
u [cm/s]	14,94	52,74	48,93	33,21	46,10
H [cm]	12,36	11,88	-	9,15	8,13

transport: 66 van drempel

stap 4

Q = 10.83 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,65	11,24	7,39	9,52	7,66
h [cm]	13,65	4,25	4,31	6,44	4,58
u [cm/s]	19,84	63,71	62,82	42,04	59,12
H [cm]	13,85	13,31	-	10,42	9,44

transport: 84 van drempel

stap 5

Q = 13.62 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,60	11,75	8,02	10,70	8,15
h [cm]	14,60	4,76	4,94	7,62	5,07
u [cm/s]	23,32	71,53	68,93	44,69	67,16
H [cm]	14,88	14,36	-	11,72	10,45

transport: 98 van drempel

stap 6 (schuif geheel naar beneden)

Q = 16.42 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	15,60	12,29	8,62	10,98	8,76
h [cm]	15,60	5,30	5,54	7,90	5,68
u [cm/s]	26,31	77,45	74,10	51,96	72,27
H [cm]	15,95	15,35	-	12,36	11,42

transport: 128 van drempel

stap 7

Q = 22.16 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	17,27	13,44	9,62	11,83	10,19
h [cm]	17,27	6,45	6,54	8,75	7,11
u [cm/s]	32,08	85,89	84,71	63,31	77,92
H [cm]	17,79	17,20	-	13,87	13,28

transport: meer dan 128 van drempel

stap 8

Q = 27.18 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	18,57	14,22	10,52	13,28	10,75
h [cm]	18,57	7,23	7,44	10,20	7,67
u [cm/s]	36,59	93,98	91,33	66,62	88,59
H [cm]	19,25	18,72	-	15,54	14,75

transport: meer dan 128 van drempel

stap 9

Q = 31.93 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	19,66	15,15	11,32	15,07	11,56
h [cm]	19,66	8,16	8,24	11,99	8,48
u [cm/s]	40,60	97,82	96,88	66,58	94,13
H [cm]	20,50	20,03	-	17,33	16,08

transport: meer dan 128 van drempel

stap 10

Q = 37.11 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	20,87	15,87	12,24	15,33	12,15
h [cm]	20,87	8,88	9,16	12,25	9,07
u [cm/s]	44,45	104,48	101,28	75,73	102,29
H [cm]	21,88	21,43	-	18,25	17,48

transport: meer dan 128 van drempel

stap 11

Q = 42.00 l/s volkomen overlaat

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	21,33	16,62	13,15	15,92	13,04
h [cm]	21,33	9,63	10,07	12,84	9,96
u [cm/s]	49,23	109,03	104,27	81,78	105,42
H [cm]	22,57	22,68	-	19,33	18,57

transport: meer dan 128 van drempel

SERIE III

Proef 7

stap 1

Q = 9.69 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	-	12,21	11,17	11,11	11,31	11,11
h [cm]	-	7,44	8,09	8,03	8,23	8,03
u [cm/s]	-	32,56	29,94	30,17	29,43	30,17
H [cm]	-	12,75	11,63	-	11,75	11,57

transport: geen

stap 2

Q = 12.24 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	-	12,77	11,13	11,24	11,52	11,02
h [cm]	-	10,84	6,36	8,16	8,44	7,94
u [cm/s]	-	28,23	48,11	37,50	36,26	38,54
H [cm]	-	13,18	12,31	-	12,19	11,78

transport: geen

stap 3

Q = 15.44 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	-	13,60	11,42	11,32	11,89	11,34
h [cm]	-	11,67	6,65	8,24	8,81	8,26
u [cm/s]	-	33,08	58,05	46,84	43,81	46,73
H [cm]	-	14,16	13,14	-	12,87	12,45

transport: geen

stap 4

Q = 17.73 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	14,84	14,24	11,79	11,32	12,22	10,96
h [cm]	12,91	12,31	7,02	8,24	9,14	7,88
u [cm/s]	34,33	36,01	63,14	53,79	48,50	56,25
H [cm]	15,44	14,90	13,82	-	13,42	12,57

transport: 3 van drempel

stap 5

Q = 21.47 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	15,99	15,22	12,57	11,78	12,60	11,25
h [cm]	14,06	13,29	7,80	8,70	9,52	7,17
u [cm/s]	38,18	40,39	68,81	66,08	60,39	70,37
H [cm]	16,70	16,05	14,98	-	14,46	13,77

transport: 5 van drempel

stap 6

Q = 26.33 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	17,25	16,35	13,48	12,10	13,24	11,03
h [cm]	15,32	14,42	8,71	9,02	10,16	7,95
u [cm/s]	42,97	45,65	75,57	72,98	64,79	82,82
H [cm]	18,19	17,41	16,39	-	15,38	14,53

transport: 15 van drempel

stap 7

Q = 31.98 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	18,75	17,63	14,78	13,28	14,30	11,53
h [cm]	16,82	15,70	10,01	10,20	11,22	8,45
u [cm/s]	47,53	50,92	79,87	78,38	71,26	94,62
H [cm]	19,90	18,95	18,03	-	16,89	16,09

transport: 52 van drempel

stap 8

Q = 39.41 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,39	19,25	16,20	14,42	16,19	12,31
h [cm]	18,46	17,32	11,43	11,34	13,11	9,23
u [cm/s]	53,37	56,89	86,20	86,88	75,15	106,74
H [cm]	21,84	20,90	19,99	-	19,07	18,12

transport: 62 van drempel

Proef 8

stap 1

Q = 2.74 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	9,02	8,85	8,21	8,15	8,10	7,90
h [cm]	7,09	6,92	3,44	5,07	5,02	4,82
u [cm/s]	9,66	9,90	19,91	13,51	13,65	14,21
H [cm]	9,07	8,90	8,41	-	8,19	8,00

transport: geen

stap 2

Q = 5.74 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,51	10,20	8,70	8,60	8,61	8,20
h [cm]	8,58	8,27	3,93	5,52	5,53	5,12
u [cm/s]	16,72	17,35	36,51	26,00	25,95	28,03
H [cm]	10,65	10,35	9,38	-	8,95	8,60

transport: geen

stap 3

Q = 9.97 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,32	11,87	9,91	8,87	9,52	8,05
h [cm]	10,39	9,94	5,14	5,79	6,44	4,97
u [cm/s]	23,99	25,08	48,49	43,05	38,70	50,15
H [cm]	12,61	12,19	11,11	-	10,28	9,33

transport: 1 van drempel

stap 4 (schuif geheel naar beneden)

Q = 14.45 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,82	13,23	10,86	9,77	10,35	8,30
h [cm]	11,89	11,39	6,09	6,69	7,27	5,22
u [cm/s]	30,38	31,72	59,32	54,00	49,69	69,20
H [cm]	14,29	13,83	12,65	-	11,61	10,74

transport: 5 van drempel

stap 5

Q = 21.02 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	15,85	15,03	12,32	11,18	12,18	9,66
h [cm]	13,92	13,10	7,55	8,10	9,10	6,58
u [cm/s]	37,75	40,11	69,60	64,88	57,75	79,86
H [cm]	16,58	15,85	14,79	-	13,88	12,91

transport: 7 van drempel

stap 6

Q = 28.34 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	17,85	16,94	13,95	12,63	13,45	11,10
h [cm]	15,92	15,01	9,18	9,55	10,37	8,02
u [cm/s]	44,50	47,20	77,18	74,19	68,32	88,34
H [cm]	18,86	18,08	16,99	-	15,83	15,08

transport: 15 van drempel

stap 7

$Q = 37.71$ l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,15	19,12	15,82	14,12	16,07	12,20
h [cm]	18,22	17,19	11,05	11,04	12,99	9,12
u [cm/s]	51,74	54,84	85,32	85,39	72,58	103,37
H [cm]	21,51	20,65	19,53	-	18,75	17,65

transport: 31 van drempel

proef 9

stap 1

Q = 2.85 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	8,96	8,80	9,84	7,39	7,53	7,23
h [cm]	7,03	6,87	5,07	4,31	4,45	4,15
u [cm/s]	10,14	10,37	14,05	16,53	16,01	17,17
H [cm]	9,01	8,85	9,94	-	7,66	7,38

transport: geen

stap 2 (schuif geheel naar beneden)

Q = 6.72 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,97	10,61	9,16	7,88	8,24	6,69
h [cm]	9,04	8,68	4,39	4,80	5,17	3,61
u [cm/s]	18,58	19,35	38,27	35,00	32,56	46,54
H [cm]	11,15	10,80	9,91	-	8,78	7,79

transport: geen

stap 3

Q = 10.69 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,52	12,12	10,26	8,57	9,65	7,31
h [cm]	10,59	10,19	5,49	5,49	6,57	4,23
u [cm/s]	25,24	26,23	48,68	48,68	40,68	63,18
H [cm]	12,84	12,47	11,47	-	10,49	9,34

transport: geen

stap 4

Q = 14.75 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,88	13,33	11,16	9,53	10,33	8,42
h [cm]	11,95	11,40	6,39	6,45	7,25	5,34
u [cm/s]	30,86	32,35	57,71	57,17	50,86	69,05
H [cm]	14,37	13,86	12,86	-	11,65	10,85

transport: 3 van drempel

stap 5

Q = 19.99 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	15,48	14,85	12,27	10,76	11,71	9,49
h [cm]	13,55	12,92	7,50	7,68	8,63	6,41
u [cm/s]	36,88	38,68	66,63	65,07	57,91	77,96
H [cm]	16,17	15,61	14,51	-	13,42	12,59

transport: 11 van drempel

stap 6

Q = 26.29 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	17,26	16,36	13,63	11,97	13,35	10,67
h [cm]	15,33	14,43	8,86	8,89	10,27	7,59
u [cm/s]	42,87	45,55	74,18	73,93	64,00	86,59
H [cm]	18,20	17,42	16,43	-	15,44	14,49

transport: 17 van drempel

stap 7

Q = 33.30 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	19,02	17,90	15,15	13,13	14,97	11,90
h [cm]	17,09	15,97	10,38	10,05	11,89	8,82
u [cm/s]	48,71	52,13	80,20	82,84	70,02	94,39
H [cm]	20,23	19,29	18,43	-	17,47	16,44

transport: 25 van drempel

stap 8

Q = 39.41 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,42	19,20	16,30	13,79	16,42	12,28
h [cm]	18,49	17,27	11,53	10,71	13,34	9,20
u [cm/s]	53,29	57,05	85,45	91,99	73,86	107,09
H [cm]	21,87	20,86	20,02	-	19,20	18,13

transport: 42 van drempel

SERIE IV**Proef 10****stap 1**

Q = 8.37 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,06	12,83	11,09	10,19	11,10	10,78
h [cm]	11,13	10,90	4,10	7,11	8,02	7,70
u [cm/s]	18,80	19,20	51,04	29,43	26,09	27,18
H [cm]	13,24	13,02	12,42	-	11,47	11,16

transport: geen

stap 2

Q = 14.00 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	14,97	14,61	12,11	9,52	11,80	11,03
h [cm]	13,04	12,68	5,12	6,44	8,72	7,95
u [cm/s]	26,84	27,60	68,36	54,35	40,14	44,19
H [cm]	15,34	15,00	14,49	-	12,62	12,03

transport: 12 van drempel

stap 3

Q = 19.62 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	16,67	16,22	13,13	9,94	11,47	10,98
h [cm]	14,74	14,29	6,14	6,86	8,39	7,90
u [cm/s]	33,28	34,32	79,89	71,50	58,46	62,09
H [cm]	17,23	16,82	16,38	-	13,21	12,94

transport: 69 van drempel

stap 4

Q = 26.33 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	18,41	17,92	14,30	10,66	13,42	11,02
h [cm]	16,48	15,99	7,31	7,58	10,34	7,94
u [cm/s]	39,94	41,17	90,05	86,84	63,66	82,90
H [cm]	19,22	18,78	18,43	-	15,49	14,52

transport: 191 van drempel

stap 5 (schuif geheel naar beneden)

Q = 34.87 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,56	19,91	15,96	12,03	14,49	11,77
h [cm]	18,63	17,98	8,97	8,95	11,41	8,69
u [cm/s]	46,79	48,48	97,19	97,40	76,40	100,32
H [cm]	21,68	21,11	20,77	-	17,47	16,90

transport: meer dan 191 van drempel

Proef 11

stap 1

Q = 2.67 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,12	10,06	9,12	7,89	8,14	8,10
h [cm]	8,19	8,13	2,13	4,81	5,06	5,02
u [cm/s]	8,15	8,21	31,34	13,88	13,19	13,30
H [cm]	10,15	10,09	9,62	-	8,23	8,19

transport: geen

stap 2

Q = 4.10 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	11,02	10,90	9,69	8,30	8,30	8,16
h [cm]	9,09	8,97	2,70	5,22	5,22	5,08
u [cm/s]	11,28	11,43	37,96	19,64	19,64	20,18
H [cm]	11,08	10,97	10,42	-	8,50	8,36

transport: 3 van drempel

stap 3

Q = 6.85 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,30	12,11	10,45	6,84	8,37	8,02
h [cm]	10,37	10,18	3,46	3,76	5,29	4,94
u [cm/s]	16,51	16,82	49,49	45,55	32,37	34,67
H [cm]	12,44	12,25	11,70	-	8,90	8,63

transport: 19 van drempel

stap 4

Q = 10.08 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,66	13,37	11,38	6,88	9,14	8,18
h [cm]	11,73	11,44	4,39	3,80	6,06	5,10
u [cm/s]	21,48	22,03	57,40	66,32	41,58	49,41
H [cm]	13,90	13,62	13,06	-	10,02	9,42

transport: 34 van drempel

stap 5 (schuif geheel naar beneden)

Q = 16.18 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	15,75	15,34	12,60	8,13	11,14	8,70
h [cm]	13,82	13,41	5,61	5,05	8,06	5,62
u [cm/s]	29,27	30,16	72,10	80,10	50,19	71,98
H [cm]	16,19	15,80	15,25	-	12,42	11,34

transport: 64 van drempel

stap 6

Q = 20.91 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	17,17	16,66	13,53	9,14	11,96	9,73
h [cm]	15,24	14,73	6,54	6,06	8,88	6,65
u [cm/s]	34,30	35,49	79,93	86,26	58,87	78,61
H [cm]	17,77	17,30	16,79	-	13,73	12,88

transport: 152 van drempel

stap 7

Q = 26.04 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	18,66	17,93	14,45	10,06	12,71	10,50
h [cm]	16,73	16,00	7,46	6,98	9,63	7,42
u [cm/s]	38,91	40,69	87,27	93,27	67,60	87,74
H [cm]	19,43	18,77	18,33	-	15,04	14,42

transport: meer dan 152 van drempel

stap 8

Q = 33.39 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,36	19,48	15,74	11,48	15,06	11,52
h [cm]	18,43	17,55	8,74	8,40	11,98	8,44
u [cm/s]	45,29	47,56	95,51	99,38	69,68	98,90
H [cm]	21,41	20,63	20,39	-	17,53	16,51

transport: meer dan 152 van drempel

stap 9

Q = 37.67 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	21,23	19,81	16,63	12,28	14,81	12,30
h [cm]	19,30	17,88	9,64	9,20	11,73	9,22
u [cm/s]	48,80	52,67	97,69	102,36	80,29	102,14
H [cm]	22,44	21,22	21,49	-	18,10	17,62

transport: meer dan 152 van drempel

Proef 12

stap 1

Q = 0.70 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	8,75	8,72	8,10	6,16	6,18	6,05
h [cm]	6,82	6,79	1,11	3,08	3,10	2,97
u [cm/s]	2,57	2,58	15,77	5,68	5,65	5,89
H [cm]	8,75	8,72	8,23	-	6,20	6,07

transport: 3 stenen van drempel

stap 2

Q = 1.12 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	9,27	9,24	8,55	6,42	6,52	6,31
h [cm]	7,34	7,31	1,56	3,34	3,44	3,23
u [cm/s]	3,81	3,83	17,95	8,38	8,14	8,67
H [cm]	9,28	9,25	8,71	-	6,55	6,35

transport: 12 van drempel

stap 3

Q = 2.90 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,34	10,27	9,29	7,08	6,77	6,16
h [cm]	8,41	8,34	2,30	4,00	3,69	3,08
u [cm/s]	8,62	8,69	31,52	18,13	19,65	23,54
H [cm]	10,38	10,31	9,80	-	6,97	6,44

transport: 35 van drempel

stap 4

Q = 5.83 l/s onvolkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,01	11,79	12,30	6,63	8,41	6,53
h [cm]	10,08	9,86	5,31	3,55	5,33	3,45
u [cm/s]	14,46	14,478	27,45	41,06	27,35	42,25
H [cm]	12,12	11,90	12,68	-	8,79	7,44

transport: 55 van drempel

stap 5

Q = 9.07 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,22	13,00	11,12	6,80	9,41	7,28
h [cm]	11,29	11,07	4,13	3,72	6,33	4,20
u [cm/s]	20,08	20,48	54,90	60,95	35,82	53,99
H [cm]	13,43	13,21	12,66	-	10,06	8,77

transport: 89 van drempel

stap 6

Q = 18.40 l/s volkomen overlaat

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	14,80	14,49	12,04	7,51	10,88	7,97
h [cm]	12,87	12,56	5,05	4,43	7,80	4,89
u [cm/s]	35,74	36,62	91,09	103,84	58,97	94,07
H [cm]	15,45	15,17	16,27	-	12,65	12,48

transport: 101 van drempel

Bijlage IV: Bepaling K-waarden van de drempel

Voor iedere proef van deel 1 van de resultaten is het aantal van de drempel getransporteerde steentjes uitgezet tegen de stroomsnelheid op de drempel. Uit deze grafiek volgt de stroomsnelheid bij een transport van 5 steentjes; dit is de kritieke stroomsnelheid voor de stenen op de drempel.

Aan de hand van de stabiliteitsrelatie van Shields:

$$\Delta d = \frac{K^2 \cdot u^2}{C^2 \psi}$$

wordt de K-waarde bepaald. Hierbij worden de volgende waarden gehanteerd:

$$\begin{aligned} \Delta &= 1,71 \\ d &= 0,01 \text{ m} \\ \psi &= 0,03 \end{aligned}$$

Om een waarde voor C te kunnen bepalen moet de waterdiepte boven de stenen bij de kritieke snelheid bekend zijn. Deze wordt bepaald door lineair te interpoleren tussen de bekende stroomsnelheden en waterdiepten.

Voor de proeven werden de volgende waarden gevonden.

SERIE	proef	$u_{kr,drempel}$ [m/s]	C [m ^{1/2} /s]	K
I	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	0,20	26	2,94
II	4	0,64	29	1,03
	5	0,37	25	1,53
	6	0,41	25	1,38
III	7	0,69	31	1,02
	8	0,66	31	1,06
	9	0,61	31	1,15
IV	10	0,64	29	1,03
	11	0,39	26	1,51
	12	0,16	23	3,26

Bijlage V: Meetresultaten modelonderzoek deel 2

In deze bijlage zijn de resultaten van het tweede deel van het onderzoek weergegeven. Voor ieder stap van elke proef is weergegeven:

Q het debiet
d de waterstand ten opzichte van de gootbodem
h de waterdiepte (d minus de hoogte van het steenbed)
u de over de vertikaal gemiddelde snelheid
H de energiehoogte ten opzichte van de gootbodem
 μ of m de afvoercoëfficiënt van de overlaatformule

0 t/m 5 zijn de meetpunten

In meetpunt 3, direct achter de drempel, zijn de stroomlijnen sterk gekromd. Derhalve is de drukverdeling in dit punt niet hydrostatisch en ligt het piëzometrisch niveau niet in de waterspiegel. Omdat in meetpunt 3 geen drukverdeling bekend is, kan hier de wet van Bernoulli niet worden toegepast. In dit punt is geen waarde voor de energiehoogte berekend.

Behalve in de meetpunten is boven ieder vak van de bodemverdediging de waterstand gemeten. Dit om bij transport de kritieke snelheid boven het betreffende vak te kunnen bepalen.

Verder is voor iedere stap weergegeven of het een onvolkomen of een volkomen overlaat betreft.

"Schuif geheel naar beneden" betekent dat de schuif waarmee de waterstand in de goot wordt geregeld, geheel naar beneden is gedraaid.

Voor de hoogte van de constructiedelen opzichte van de gootbodem werd gevonden:

serie I:	drempel: 4,82 cm bed achter drempel: 3,08 cm
serie II:	drempel: 6,07 cm bed achter drempel: 3,08 cm
serie III:	bed voor drempel: 1,71 cm drempel: 4,82 cm bed achter drempel: 3,08 cm
serie IV:	bed voor drempel: 2,14 cm drempel: 6,07 cm bed achter drempel: 3,08 cm

SERIE I:	proef 1	lage drempel, h/d = 8	7
	proef 2	lage drempel, h/d = 5	11
	proef 3	lage drempel, h/d = 3	13
SERIE II:	proef 4	hoge drempel, h/d = 8	15
	proef 5	hoge drempel, h/d = 5	21
	proef 6	hoge drempel, h/d = 3	23
SERIE III:	proef 7	steenbed voor lage drempel, h/d = 8	25
	proef 8	steenbed voor lage drempel, h/d = 5	31
	proef 9	steenbed voor lage drempel, h/d = 3	33
SERIE IV:	proef 10	steenbed voor hoge drempel, h/d = 8	35
	proef 11	steenbed voor hoge drempel, h/d = 5	41
	proef 12	steenbed voor hoge drempel, h/d = 3	43

SERIE Iproef 1**stap 1**

Q = 3,63 l/s onvolkomen overlaat $\mu = 0,8$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,28	11,09	11,11	11,07	11,01
h [cm]	11,28	6,27	8,03	7,99	7,93
u [cm/s]	8,05	14,47	11,30	11,36	11,44
H [cm]	11,31	11,20	-	11,14	11,08

transport: geen

stap 2

Q = 8,80 l/s onvolkomen overlaat $\mu = 0,8$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,98	11,02	11,11	11,01	10,88
h [cm]	11,98	6,20	8,03	7,93	7,80
u [cm/s]	18,36	35,48	27,40	27,74	28,21
H [cm]	12,15	11,66	-	11,40	11,29

transport: geen

stap 3

Q = 13,14 l/s onvolkomen overlaat $\mu = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,04	10,80	10,96	11,19	10,67
h [cm]	13,04	5,98	7,88	8,11	7,59
u [cm/s]	25,19	54,93	41,69	40,51	43,28
H [cm]	13,36	12,34	-	12,03	11,62

transport: geen

stap 4 schuif geheel naar beneden

$Q = 19,72$ l/s volkomen overlaat $m = 1,0$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,87	11,51	11,30	11,74	9,34
h [cm]	14,87	6,69	8,22	8,66	6,26
u [cm/s]	33,15	73,69	59,98	56,93	78,75
H [cm]	15,43	14,27	-	13,39	12,50

transport: geen

stap 5

$Q = 24,84$ l/s volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	16,31	12,80	12,57	13,18	10,42
h [cm]	16,31	7,98	9,49	10,10	7,34
u [cm/s]	38,07	77,82	65,44	61,49	84,60
H [cm]	17,05	15,89	-	15,11	14,07

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	1
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	2		
vak 5	-	vak 10	2		

stap 6

$Q = 31,85$ l/s volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	18,14	14,36	13,98	14,07	11,51
h [cm]	18,14	9,54	10,90	10,99	8,43
u [cm/s]	43,89	83,46	73,05	72,45	94,45
H [cm]	19,12	17,91	-	16,75	16,06

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	4
vak 2	-	vak 7	1	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	1	vak 9	2		
vak 5	-	vak 10	3		

stap 7

Q = 40,18 l/s volkomen overlaat m = 0,6

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	19,99	16,11	15,11	16,48	12,67
h [cm]	19,99	11,29	12,03	13,40	9,59
u [cm/s]	50,25	88,97	83,50	74,96	104,74
H [cm]	21,28	20,14	-	19,34	18,26

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	4
vak 2	-	vak 7	1	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	1	vak 9	2		
vak 5	-	vak 10	3		

stap 8

Q = 47,42 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	21,60	17,50	16,19	16,81	13,59
h [cm]	21,60	12,68	13,11	13,73	10,51
u [cm/s]	54,88	93,49	90,43	86,34	112,80
H [cm]	23,14	21,96	-	20,61	20,07

transport:

vak 1	-	vak 6	3	vak 11	6
vak 2	-	vak 7	1	vak 12	-
vak 3	3	vak 8	3	vak 13	8
vak 4	1	vak 9	7		
vak 5	1	vak 10	4		

stap 9

Q = 56,55 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	23,15	19,29	17,39	17,79	14,64
h [cm]	23,15	14,47	14,31	14,71	11,56
u [cm/s]	61,07	97,70	98,79	96,11	122,30
H [cm]	25,05	24,16	-	22,50	22,26

transport:

vak 1	-	vak 6	4	vak 11	9
vak 2	6	vak 7	4	vak 12	2
vak 3	3	vak 8	2	vak 13	14
vak 4	1	vak 9	10		
vak 5	3	vak 10	15		

proef 2

stap 1

$Q = 2,79 \text{ l/s}$

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,6$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	8,74	8,16	8,07	8,03	7,90
h [cm]	8,74	3,34	4,99	4,95	4,82
u [cm/s]	7,98	20,88	13,98	14,09	14,47
H [cm]	8,77	8,38	-	8,13	8,01

transport: geen

stap 2

$Q = 6,21 \text{ l/s}$

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,7$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	10,26	8,61	8,30	8,11	7,04
h [cm]	10,26	3,79	5,22	5,03	3,96
u [cm/s]	15,13	40,96	29,74	30,86	39,20
H [cm]	10,38	9,47	-	8,60	7,82

transport: geen

stap 3 schuif geheel naar beneden

$Q = 9,43 \text{ l/s}$

volkomen overlaat

$m = 0,8$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,62	9,42	8,87	9,28	7,37
h [cm]	11,62	4,60	5,79	6,20	4,29
u [cm/s]	20,29	51,25	40,72	38,02	54,95
H [cm]	11,83	10,76	-	10,02	8,91

transport: geen

proef 3

stap 1

Q = 1,86 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,7$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	7,93	6,97	6,26	6,08	5,03
h [cm]	7,93	2,15	3,18	3,00	1,95
u [cm/s]	5,86	21,63	14,62	15,50	23,85
H [cm]	7,95	7,21	-	6,20	5,32

transport: geen

stap 2 schuif geheel naar beneden

Q = 2,28 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,8$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	8,17	7,16	6,46	6,25	5,38
h [cm]	8,17	2,34	3,38	3,17	2,30
u [cm/s]	6,98	24,36	16,86	17,98	24,78
H [cm]	8,19	7,46	-	6,41	5,69

transport: geen

SERIE II**Proef 4****stap 1**

Q = 1,45 l/s

onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,5$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,12	11,02	11,02	11,03	11,00
h [cm]	11,12	4,95	7,94	7,95	7,92
u [cm/s]	3,26	7,32	4,57	4,56	4,58
H [cm]	11,13	11,05	-	11,04	11,01

transport: geen

stap 2

Q = 4,87 l/s

onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,8$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,55	10,98	10,98	11,09	11,02
h [cm]	11,55	4,91	7,90	8,01	7,94
u [cm/s]	10,54	24,80	15,41	15,20	15,33
H [cm]	11,61	11,29	-	11,21	11,14

transport: geen

stap 3

Q = 8,58 l/s

onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,8$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	12,42	11,14	10,57	11,08	10,91
h [cm]	12,42	5,07	7,49	8,00	7,83
u [cm/s]	17,27	42,31	28,64	26,81	27,39
H [cm]	12,57	12,05	-	11,45	11,29

transport: geen

stap 4

Q = 12,30 l/s onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	13,70	11,30	9,45	11,01	11,13
h [cm]	13,70	5,23	6,37	7,93	8,05
u [cm/s]	22,45	58,80	48,27	38,78	38,20
H [cm]	13,96	13,06	-	11,78	11,87

transport: geen

stap 5

Q = 16,45 l/s onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	14,97	12,03	8,71	11,05	9,97
h [cm]	14,97	5,96	5,63	7,97	6,89
u [cm/s]	27,47	69,00	73,05	51,60	59,69
H [cm]	15,35	14,46	-	12,41	11,79

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	1
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	-
vak 4	-	vak 9	-		
vak 5	-	vak 10	1		

stap 6

Q = 19,66 l/s volkomen overlaat

 $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	15,89	12,75	9,34	11,50	10,97
h [cm]	15,89	6,68	6,26	8,42	7,89
u [cm/s]	30,93	73,58	78,51	58,37	62,29
H [cm]	16,38	15,51	-	13,24	12,95

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	1
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	-
vak 4	-	vak 9	-		
vak 5	-	vak 10	1		

stap 7 schuif geheel naar beneden

$Q = 25,00$ l/s volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	17,43	13,83	10,33	11,52	10,29
h [cm]	17,43	7,76	7,25	8,44	7,21
u [cm/s]	35,86	80,54	86,21	74,05	86,69
H [cm]	18,09	17,14	-	14,31	14,12

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	1
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	-
vak 4	-	vak 9	1		
vak 5	-	vak 10	1		

stap 8

$Q = 30,33$ l/s volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	18,78	14,96	11,34	14,72	11,21
h [cm]	18,78	8,89	8,26	11,64	8,13
u [cm/s]	40,38	85,29	91,80	65,14	93,27
H [cm]	19,61	18,67	-	16,88	15,64

transport:

vak 1	2	vak 6	2	vak 11	6
vak 2	2	vak 7	-	vak 12	1
vak 3	-	vak 8	1	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	1		
vak 5	-	vak 10	5		

stap 9

Q = 33,70 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	19,54	15,71	12,03	15,00	11,37
h [cm]	19,54	9,64	8,95	11,92	8,29
u [cm/s]	43,12	87,40	94,13	70,68	101,63
H [cm]	20,49	19,60	-	17,55	16,63

transport:

vak 1	2	vak 6	4	vak 11	7
vak 2	3	vak 7	1	vak 12	1
vak 3	-	vak 8	1	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	3		
vak 5	-	vak 10	5		

stap 10

Q = 40,45 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	21,11	16,95	13,16	14,55	12,84
h [cm]	21,11	10,88	10,08	11,47	9,76
u [cm/s]	47,90	92,95	100,32	88,16	103,61
H [cm]	22,28	21,35	-	18,51	18,31

transport:

vak 1	3	vak 6	5	vak 11	7
vak 2	6	vak 7	3	vak 12	2
vak 3	1	vak 8	1	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	5		
vak 5	-	vak 10	17		

stap 11

$Q = 43,37 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	21,65	17,52	13,63	15,22	12,87
h [cm]	21,65	11,45	10,55	12,14	9,79
u [cm/s]	50,08	94,69	102,77	89,31	110,75
H [cm]	22,93	22,09	-	19,29	19,12

transport:

vak 1	6	vak 6	5	vak 11	9
vak 2	16	vak 7	4	vak 12	4
vak 3	3	vak 8	2	vak 13	2
vak 4	1	vak 9	6		
vak 5	5	vak 10	27		

stap 12

$Q = 50,10 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	23,00	18,84	14,80	17,24	13,73
h [cm]	23,00	12,77	11,72	14,16	10,65
u [cm/s]	54,46	98,08	106,87	88,45	117,61
H [cm]	24,51	23,74	-	21,23	20,78

transport:

vak 1	6	vak 6	5	vak 11	9
vak 2	16	vak 7	4	vak 12	4
vak 3	3	vak 8	2	vak 13	2
vak 4	1	vak 9	6		
vak 5	5	vak 10	27		

Proef 5

stap 1

Q = 0,70 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,4$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	8,36	8,07	8,02	8,04	8,02
h [cm]	8,36	2,00	4,94	4,96	4,94
u [cm/s]	2,09	8,75	3,54	3,53	3,54
H [cm]	8,36	8,11	-	8,05	8,03

transport: geen

stap 2

Q = 3,20 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,5$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	9,80	8,75	7,92	8,06	7,92
h [cm]	9,80	2,68	4,84	4,98	4,84
u [cm/s]	8,16	29,85	16,53	16,06	16,53
H [cm]	9,83	9,20	-	8,19	8,06

transport: geen

stap 3

Q = 5,57 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,5$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	11,02	10,11	6,98	8,07	7,57
h [cm]	11,02	4,04	3,90	4,99	4,49
u [cm/s]	12,64	34,47	36,71	27,91	31,01
H [cm]	11,10	10,72	-	8,47	8,06

transport: geen

stap 4 schuif geheel naar beneden

$Q = 8,31 \text{ l/s}$

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,7$

	1	2	3	4	5
d [cm]	12,16	10,45	6,85	8,89	7,13
h [cm]	12,16	4,38	3,77	5,81	4,05
u [cm/s]	17,08	47,43	55,11	35,76	51,30
H [cm]	12,31	11,60	-	9,54	8,47

transport: geen

Proef 6

stap 1

Q = 1,71 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,3$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	8,82	8,03	6,20	6,12	5,63
h [cm]	8,82	1,96	3,12	3,04	2,55
u [cm/s]	4,85	21,81	13,70	14,06	16,76
H [cm]	8,83	8,27	-	6,22	5,77

transport: geen

stap 2

Q = 1,98 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,3$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	9,00	8,11	6,28	6,10	5,23
h [cm]	9,00	2,04	3,20	3,02	2,15
u [cm/s]	5,50	24,26	15,47	16,39	23,02
H [cm]	9,02	8,41	-	6,24	5,50

transport: geen

stap 3 schuif geheel naar beneden

Q = 2,58 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,4$

meetpunt	1	2	3	4	5
d [cm]	9,41	8,43	7,31	6,38	5,51
h [cm]	9,41	2,36	4,23	3,30	2,43
u [cm/s]	6,85	27,33	15,25	19,55	26,54
H [cm]	9,43	8,81	-	6,57	5,87

transport: geen

SERIE III

Proef 7

stap 1

Q = 3,81 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,7$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	11,39	11,32	11,13	11,16	11,14	11,08
h [cm]	9,68	9,61	6,31	8,08	8,06	8,00
u [cm/s]	9,84	9,91	15,10	11,79	11,82	11,91
H [cm]	11,44	11,37	11,25	-	11,21	11,15

transport: geen

stap 2

Q = 9,35 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,25	11,97	11,23	11,28	11,04	10,89
h [cm]	10,54	10,26	6,41	8,20	7,96	7,81
u [cm/s]	22,18	22,78	36,47	28,51	29,37	29,93
H [cm]	12,50	12,23	11,91	-	11,48	11,35

transport: geen

stap 3

Q = 12,70 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,03	12,57	10,71	10,93	11,20	10,52
h [cm]	11,32	10,86	5,89	7,85	8,12	7,44
u [cm/s]	28,05	29,24	53,90	40,45	39,10	42,67
H [cm]	13,43	13,01	12,19	-	11,98	11,45

transport: geen

stap 4

Q = 16,83 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	14,31	13,73	10,99	10,56	11,32	9,14
h [cm]	12,60	12,02	6,17	7,48	8,24	6,06
u [cm/s]	33,39	35,00	68,19	56,25	51,06	69,43
H [cm]	14,88	14,35	13,36	-	12,65	11,60

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	-
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	-
vak 4	-	vak 9	-		
vak 5	1	vak 10	-		

stap 5 schuif geheel naar beneden

Q = 21,36 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	15,64	14,93	12,02	11,61	12,15	9,94
h [cm]	13,93	13,22	7,20	8,53	9,07	6,86
u [cm/s]	38,33	40,39	74,17	62,60	58,88	77,84
H [cm]	16,39	15,76	14,82	-	13,92	13,03

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	-
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	-
vak 4	-	vak 9	-		
vak 5	1	vak 10	-		

stap 6

Q = 27,10 l/s volkomen overlaat m = 1,0

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	17,18	16,33	12,34	12,88	13,17	10,88
h [cm]	15,47	14,62	7,52	9,80	10,09	7,80
u [cm/s]	43,79	46,34	90,09	69,13	67,15	86,86
H [cm]	18,16	17,42	16,48	-	15,47	14,73

transport:

vak 1	-	vak 6	-	vak 11	-
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	-		
vak 5	1	vak 10	1		

stap 7

Q = 33,97 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	18,81	17,92	14,80	13,89	14,56	11,79
h [cm]	17,10	16,01	9,98	10,81	11,48	8,71
u [cm/s]	49,66	53,04	85,10	78,56	73,98	97,50
H [cm]	20,07	19,35	18,49	-	17,35	16,64

transport:

vak 1	1	vak 6	1	vak 11	-
vak 2	2	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	2
vak 4	-	vak 9	1		
vak 5	2	vak 10	1		

stap 8

$Q = 40,21 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,40	19,21	16,21	14,91	16,34	12,60
h [cm]	18,69	17,50	11,39	11,83	13,26	9,52
u [cm/s]	53,79	57,44	88,26	84,97	75,81	105,59
H [cm]	21,87	20,89	20,18	-	19,27	18,28

transport:

vak 1	2	vak 6	2	vak 11	3
vak 2	2	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	2
vak 4	-	vak 9	2		
vak 5	2	vak 10	1		

stap 9

$Q = 47,42 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	21,91	20,70	17,52	15,84	16,34	13,78
h [cm]	20,20	18,99	12,70	12,76	13,26	10,70
u [cm/s]	58,69	62,43	93,35	92,91	89,40	110,79
H [cm]	23,67	22,69	21,96	-	20,41	20,04

transport:

vak 1	2	vak 6	3	vak 11	4
vak 2	2	vak 7	-	vak 12	3
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	3
vak 4	-	vak 9	5		
vak 5	2	vak 10	2		

stap 10

Q = 54,76 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	22,29	22,18	19,01	17,02	17,50	14,37
h [cm]	20,58	20,47	14,19	13,94	14,42	11,29
u [cm/s]	66,52	66,88	96,48	98,21	94,94	121,26
H [cm]	24,55	24,46	23,75	-	22,09	21,84

transport:

vak 1	2	vak 6	3	vak 11	6
vak 2	3	vak 7	-	vak 12	3
vak 3	-	vak 8	-	vak 13	6
vak 4	2	vak 9	5		
vak 5	2	vak 10	6		

Proef 8

stap 1

Q = 0,94 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,4$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	8,24	8,20	8,01	8,02	8,02	7,96
h [cm]	6,53	6,49	3,19	4,94	4,94	4,88
u [cm/s]	3,60	3,62	7,37	4,76	4,76	4,82
H [cm]	8,25	8,21	8,04	-	8,03	7,97

transport: geen

stap 2

Q = 3,05 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,7$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	8,93	8,79	8,20	8,14	8,06	7,92
h [cm]	7,22	7,08	3,38	5,06	4,98	4,84
u [cm/s]	10,56	10,77	22,56	15,07	15,31	15,75
H [cm]	8,99	8,85	8,46	-	8,18	8,05

transport: geen

stap 3

Q = 6,43 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,7$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,48	10,24	8,71	8,48	8,14	7,38
h [cm]	8,77	8,53	3,89	5,40	5,06	4,30
u [cm/s]	18,33	18,85	41,32	29,77	31,77	37,38
H [cm]	10,65	10,42	9,58	-	8,65	8,09

transport: geen

stap 4 schuif geheel naar beneden

Q = 10,72 l/s volkomen overlaat $\mu = 0,8$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,22	11,81	9,62	8,96	9,57	7,40
h [cm]	10,51	10,10	4,80	5,88	6,49	4,32
u [cm/s]	25,50	26,53	55,83	45,58	41,29	62,04
H [cm]	12,55	12,17	11,21	-	10,44	9,36

transport: geen

proef 9

stap 1

$Q = 1,95 \text{ l/s}$

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,4$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	8,04	7,94	7,08	6,28	6,14	5,43
h [cm]	6,33	6,23	2,26	3,20	3,06	2,35
u [cm/s]	7,70	7,83	21,57	15,23	15,93	20,74
H [cm]	8,07	7,97	7,32	-	6,27	5,65

transport: geen

stap 2 schuif geheel naar beneden

$Q = 3,71 \text{ l/s}$

volkomen overlaat

$m = 0,6$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	9,16	8,96	7,57	7,60	6,95	5,67
h [cm]	7,45	7,25	2,75	4,52	3,87	2,59
u [cm/s]	12,45	12,79	33,73	20,52	23,97	35,81
H [cm]	9,34	9,04	8,15	-	7,24	6,32

transport: geen

SERIE IVProef 10**stap 1**

Q = 1,81 l/s

onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,7$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	11,23	11,23	11,13	11,14	11,16	11,12
h [cm]	9,09	9,09	5,06	8,06	8,08	8,04
u [cm/s]	4,98	4,98	8,94	5,61	5,60	5,63
H [cm]	11,24	11,24	11,17	-	11,18	11,14

transport: geen

stap 2

Q = 6,02 l/s

onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	11,73	11,57	10,80	10,78	10,99	10,89
h [cm]	9,59	9,43	4,73	7,70	7,91	7,81
u [cm/s]	15,69	15,96	31,82	19,55	19,03	19,27
H [cm]	11,86	11,70	11,32	-	11,17	11,08

transport: geen

stap 3

Q = 9,63 l/s

onvolkomen overlaat

 $\mu = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	12,87	12,57	11,10	10,46	11,11	10,91
h [cm]	10,73	10,43	5,03	7,38	8,03	7,83
u [cm/s]	22,44	23,08	47,86	32,62	29,98	30,75
H [cm]	13,13	12,84	12,27	-	11,57	11,39

transport: geen

stap 4

$Q = 14,49 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	14,49	14,07	11,62	9,36	11,28	11,43
h [cm]	12,35	11,93	5,55	6,28	8,20	8,35
u [cm/s]	29,33	30,36	65,27	57,68	44,18	43,38
H [cm]	14,93	14,54	13,79	-	12,27	12,39

transport: geen

stap 5

$Q = 19,37 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	16,04	15,53	12,67	9,71	11,14	11,14
h [cm]	13,90	13,39	6,60	6,63	8,06	8,06
u [cm/s]	34,84	36,17	73,37	73,04	60,08	60,08
H [cm]	16,65	16,20	15,41	-	12,98	12,98

transport:

vak 1	-	vak 6	1	vak 11	-
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	-
vak 3	1	vak 8	-	vak 13	-
vak 4	-	vak 9	-		
vak 5	-	vak 10	-		

stap 6

$Q = 24,88 \text{ l/s}$ volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	17,56	16,88	13,86	10,38	11,07	10,41
h [cm]	15,42	14,74	7,79	7,30	7,99	7,33
u [cm/s]	40,34	42,20	79,85	85,21	77,85	84,86
H [cm]	18,39	17,79	17,11	-	14,16	14,08

transport:

vak 1	1	vak 6	1	vak 11	1
vak 2	-	vak 7	-	vak 12	1
vak 3	1	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	2		
vak 5	-	vak 10	3		

stap 7 schuif geheel naar beneden

$Q = 32,20$ l/s volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	19,51	18,66	15,38	11,67	15,00	11,22
h [cm]	17,37	16,52	9,31	8,59	11,92	8,14
u [cm/s]	46,34	48,73	86,47	93,71	67,53	98,89
H [cm]	20,60	19,87	19,19	-	17,32	16,20

transport:

vak 1	1	vak 6	1	vak 11	2
vak 2	3	vak 7	1	vak 12	1
vak 3	2	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	4		
vak 5	-	vak 10	4		

stap 8

$Q = 38,46$ l/s volkomen overlaat $m = 0,9$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	20,69	19,84	16,61	11,80	14,34	11,93
h [cm]	18,55	17,70	10,54	8,72	11,26	8,85
u [cm/s]	51,83	54,32	91,22	110,26	85,39	108,64
H [cm]	22,06	21,13	20,85	-	18,06	17,95

transport:

vak 1	2	vak 6	3	vak 11	2
vak 2	3	vak 7	1	vak 12	4
vak 3	3	vak 8	-	vak 13	1
vak 4	-	vak 9	5		
vak 5	-	vak 10	5		

stap 9

Q = 45,85 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	22,48	21,42	18,04	14,04	15,84	13,06
h [cm]	20,34	19,28	11,97	10,96	12,76	9,98
u [cm/s]	56,35	59,45	95,76	104,58	89,83	114,85
H [cm]	24,10	23,22	22,71	-	19,95	19,78

transport:

vak 1	4	vak 6	3	vak 11	7
vak 2	10	vak 7	9	vak 12	5
vak 3	7	vak 8	-	vak 13	7
vak 4	-	vak 9	5		
vak 5	-	vak 10	17		

stap 10

Q = 54,22 l/s volkomen overlaat m = 0,9

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	24,21	22,94	19,50	15,40	18,67	14,39
h [cm]	22,07	20,80	13,43	12,32	15,59	11,31
u [cm/s]	61,42	65,17	100,93	110,00	86,95	119,85
H [cm]	26,13	25,10	24,69	-	22,52	21,71

transport:

vak 1	4	vak 6	4	vak 11	19
vak 2	20	vak 7	10	vak 12	8
vak 3	23	vak 8	6	vak 13	3
vak 4	1	vak 9	5		
vak 5	-	vak 10	19		

Proef 11

stap 1

Q = 3,32 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,5$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	9,89	9,78	8,78	7,97	8,11	7,91
h [cm]	7,75	7,64	2,71	4,89	5,03	4,83
u [cm/s]	10,71	10,86	30,63	16,97	16,50	17,18
H [cm]	9,95	9,84	9,26	-	8,25	8,06

transport: geen

stap 2

Q = 4,44 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,6$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,49	10,37	9,28	7,88	8,24	7,96
h [cm]	8,35	8,23	3,21	4,80	5,16	4,88
u [cm/s]	13,29	13,49	34,58	23,13	21,51	22,75
H [cm]	10,58	10,46	9,89	-	8,48	8,22

transport: geen

stap 3

Q = 7,12 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,6$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	11,74	11,52	10,16	6,64	8,17	7,30
h [cm]	9,60	9,38	4,09	3,56	5,09	4,22
u [cm/s]	18,54	18,98	43,52	50,00	34,97	42,18
H [cm]	11,92	11,70	11,13	-	8,79	8,21

transport: geen

stap 4 schuif geheel naar beneden

Q = 10,54 l/s onvolkomen overlaat

$\mu = 1,0$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	13,09	12,78	10,80	7,23	9,04	7,34
h [cm]	10,95	10,64	4,73	4,15	5,96	4,26
u [cm/s]	24,06	24,77	55,71	63,49	44,21	61,85
H [cm]	13,39	13,09	12,38	-	10,04	9,29

transport: geen

Proef 12

stap 1

Q = 1,71 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,3$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	8,84	8,77	8,02	6,12	6,12	5,57
h [cm]	6,70	6,63	1,95	3,04	3,04	2,49
u [cm/s]	6,38	6,45	21,92	14,06	14,06	17,17
H [cm]	8,86	8,79	8,26	-	6,20	5,72

transport: geen

stap 2 schuif geheel naar beneden

Q = 4,31 l/s

onvolkomen overlaat

$\mu = 0,3$

meetpunt	0	1	2	3	4	5
d [cm]	10,45	10,32	9,21	7,65	7,33	5,93
h [cm]	8,31	8,18	3,14	4,57	4,25	2,85
u [cm/s]	12,97	13,17	34,32	23,58	25,35	37,81
H [cm]	10,54	10,41	9,81	-	7,66	6,66

transport: geen

Bijlage VI: Bepaling K-waarden van de bodemverdediging

Aan de hand van de resultaten van deel 2 van het modelonderzoek is voor iedere proef bepaald of er transport van de bodemverdediging optreedt bij de vereiste relatieve waterdiepte (dus voordat de schuif geheel naar beneden is gedraaid). Dit geeft de volgende resultaten:

- proef 4: transport uit vak 10 en 11; alleen genoeg uit 10 (27 steentjes) om de kritieke snelheid nauwkeurig te bepalen;
- proef 5: transport uit vak 5 maar niet genoeg om de kritieke snelheid nauwkeurig te kunnen bepalen (2 steentjes);
- proef 10: transport uit vak 1, 3, 6, 9, 10, 11, 12 en 13; alleen genoeg uit vak 3 (23 steentjes), 10 (19 steentjes) en 11 (19 steentjes) om de kritieke snelheid nauwkeurig te kunnen bepalen.

Voor proef 4 en proef 10 is het aantal uit een vak getransporteerde steentjes uitgezet tegen de stroomsnelheid in dat vak. Uit deze grafiek volgt de stroomsnelheid bij een transport van 5 steentjes; dit is de kritieke stroomsnelheid van de steentjes in het betreffende vak.

Aan de hand van de stabiliteitsrelatie van Shields:

$$\Delta d = \frac{K^2 \cdot u^2}{C^2 \psi}$$

wordt de K-waarde bepaald. Hierbij worden de volgende waarden gehanteerd:

$$\begin{aligned} \Delta &= 1,71 \\ d &= 0,01 \text{ m} \\ \psi &= 0,03 \end{aligned}$$

Om een waarde voor C te kunnen bepalen moet de waterdiepte boven de stenen bij de kritieke snelheid bekend zijn. Deze wordt bepaald door lineair te interpoleren tussen de gemeten stroomsnelheden en waterdiepten.

Voor de proeven werden de volgende waarden gevonden.

SERIE	proef	$u_{kr,drempel}$ [m/s]	C [m ^{1/2} /s]	K
II	4 (vak 10)	0,91	32	0,80
IV	10 (vak 3)	0,92	33	0,80
IV	10 (vak 10)	0,77	33	0,82
IV	10 (vak 11)	0,89	31	0,91

Bijlage VII: Overzicht gemeten vervallen

Aan de hand van de resultaten van deel 2 van het modelonderzoek, is voor iedere proef het verval over de verschillende constructieonderdelen berekend. In deze bijlage zijn de resultaten hiervan weergegeven. Voor iedere stap van een proef is weergegeven:

Q	het debiet
Δh_{voor}	het verval over de bodemverdediging vóór de drempel (indien van toepassing)
$\Delta h_{\text{drempel}}$	het verval over de drempel
Δh_{achter}	het verval over de bodemverdediging achter de drempel
%	het percentage van het totale verval

In de eerste vakken achter de drempel loopt de waterstand iets op. In de meeste gevallen is de hoogste waterstand achter de drempel niet in meetpunt 3 gevonden maar iets benedenstrooms daarvan. Deze waterstand is gebruikt voor de bepaling van het verval over de drempel en over de bodemverdediging erachter.

De invloed van de vrije overstort aan het einde van de goot strekt zich uit tot ongeveer vak 13. Hierdoor is de stroming in dit deel niet representatief voor de in werkelijkheid optredende stroming. Daarom is bij de bepaling van het verval over de bodemverdediging achter de drempel de tweede helft van deze bodemverdediging niet meegenomen. Het verval over de bodemverdediging achter de drempel is dus het verschil tussen de hoogste waterstand net achter de drempel en de waterstand in meetpunt 4.

Proef 1

Q [l/s]	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
3,63	0,16	76	0,05	24	0,21
8,80	0,73	75	0,24	25	0,97
13,14	1,71	92	0,14	8	0,97
19,72	2,34	75	0,79	25	3,13
24,84	2,31	74	0,82	26	3,13
31,85	2,31	57	1,76	43	4,07
40,18	4,16	46	4,86	54	9,02
47,42	2,25	47	2,54	53	4,79
56,55	1,42	26	3,94	74	5,36

Proef 2

Q [l/s]	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
2,79	0,58	82	0,13	18	0,71
6,21	1,48	69	0,67	31	2,15
9,43	1,76	67	0,58	33	2,64

Proef 3

Q [l/s]	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
1,86	1,43	77	0,42	23	1,85
2,28	1,47	77	0,45	23	1,92

Proef 4

Q [l/s]	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
1,45	0	0	0	0	0
4,87	0,42	91	0,04	9	0,46
8,58	1,17	87	0,17	13	1,34
12,30	1,78	66	0,91	34	2,69
16,45	2,96	76	0,96	24	3,92
19,66	2,07	47	2,32	53	4,39
25,00	1,37	23	4,52	77	5,89
30,33	1,11	27	2,95	73	4,06
33,70	1,07	24	3,47	76	4,54
40,45	2,55	39	4,01	61	6,56
43,37	1,63	25	4,80	75	6,43
50,10	1,50	26	4,26	74	5,76

Proef 5

Q [l/s]	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
0,70	0,30	94	0,02	6	0,32
3,20	1,53	88	0,21	12	1,74
5,57	2,76	94	0,19	6	2,95
8,31	2,06	63	1,21	37	3,27

Proef 6

Q [l/s]	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
1,71	2,34	87	0,36	13	2,70
1,98	2,47	85	0,34	15	2,90
2,58	2,10	69	0,93	31	3,03

Proef 7

Q [l/s]	Δh_{voor} [cm]	%	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
3,81	0,07	28	0,15	60	0,03	12	0,25
9,35	0,28	23	0,57	47	0,36	40	1,21
12,70	0,46	25	1,30	71	0,07	4	1,83
16,83	0,58	19	1,57	53	0,84	28	2,99
21,36	0,71	20	1,85	53	0,93	27	3,49
27,10	0,85	21	1,62	40	1,54	39	4,01
33,97	0,89	21	1,53	36	1,83	43	4,25
40,21	1,19	29	1,48	36	1,39	35	4,06
47,42	1,21	22	1,07	19	3,29	59	5,57
54,76	0,11	23	0,91	20	3,77	67	5,79

Proef 8

Q [l/s]	Δh_{voor} [cm]	%	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
0,94	0,04	18	0,16	73	0,02	9	0,22
3,05	0,14	16	0,54	62	0,19	22	0,87
6,43	0,24	10	1,41	60	0,69	30	2,34
10,72	0,41	15	1,71	65	0,53	20	2,65

Proef 9

Q [l/s]	Δh_{voor} [cm]	%	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
1,95	0,10	5	1,37	72	0,43	23	1,90
3,71	0,20	9	0,58	26	1,43	65	2,21

Proef 10

Q [l/s]	Δh_{voor} [cm]	%	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
1,81	0	0	0,07	100	0	0	0,07
6,02	0,16	22	0,53	72	0,05	6	0,74
9,63	0,30	17	1,34	76	0,12	7	1,76
14,49	0,42	13	1,65	51	1,14	36	3,21
19,37	0,51	10	1,38	28	3,01	62	4,90
24,88	0,68	10	1,80	28	4,01	62	6,49
32,20	0,85	19	0,50	11	3,16	70	4,51
38,46	0,85	13	1,20	19	4,30	68	6,53
45,85	1,06	16	0,64	10	4,94	74	6,64
54,22	1,27	23	1,12	20	3,15	57	5,54

Proef 11

Q [l/s]	Δh_{voor} [cm]	%	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
3,32	0,11	6	1,53	86	0,14	8	1,78
4,44	0,12	5	1,90	84	0,23	11	2,25
7,12	0,22	6	2,13	60	1,22	34	3,57
10,54	0,31	12	1,18	44	1,18	44	2,67

Proef 12

Q [l/s]	Δh_{voor} [cm]	%	$\Delta h_{\text{drempel}}$ [cm]	%	Δh_{achter} [cm]	%	Δh_{totaal} [cm]
1,71	0,07	3	2,29	85	0,36	12	2,72
4,31	0,13	4	2,49	80	0,50	16	3,12

**Bijlage VIII: Vergelijking tussen gemeten en berekende wrijvingsvervalen
(Chezy-benadering)**

Voor iedere proef van deel 2 van het modelonderzoek is het verval over de bodemverdedigingen bepaald uit de gemeten waterdiepten (zie bijlage VII). Met het debiet en de waterdiepte op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging is vervolgens het wrijvingsverval berekend. Op bladzijde 2 van deze bijlage wordt hiervan een rekenvoorbeeld gegeven.

De afwijking tussen het gemeten en het berekende verval wordt weergegeven als een procentuele afwijking:

$$\text{procentuele afwijking} = \left| \frac{\text{gemeten verval} - \text{berekend verval}}{\text{gemeten verval}} \right| \cdot 100\%$$

Bij de proeven 1, 4, 7 en 10 treedt bij grotere debieten een meetonnauwkeurigheid op doordat de waterspiegel achter de drempel in sterke mate fluctueert. De afwijking hierdoor is dermate groot dat besloten is deze proeven niet in de beschouwing mee te nemen. Dit geldt alleen voor de bodemverdediging achter de drempel. Van proef 7 en 10 wordt het verval over de bodemverdediging voor de drempel wel in de beschouwing meegenomen.

Bij stap 3 van proef 1 van het modelonderzoek is een debiet ingesteld van 13,14 l/s ofwel 0,01314 m³/s. De waterdiepte op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging h₁ bedraagt 8,25 cm ofwel 0,0825 m. Hieruit volgt voor de stroomsnelheid:

$$u_1 = \frac{Q}{B \cdot h_1} = \frac{0,01314}{0,40 \cdot 0,0825} = 0,40 \text{ m/s}$$

Met de stroomsnelheid en de waterdiepte wordt de energiehoogte ten opzichte van de bodem uitgerekend. Omdat de bodemligging z op de bovenstroomse rand gelijk is aan die op de benedenstroomse rand, wordt voor z een waarde 0 ingevoerd.

$$H_1 = z_1 + h_1 + \frac{u_1^2}{2g} = 0 + 0,0825 + \frac{0,40^2}{19,62} = 0,0907 \text{ m}$$

Voor de Chezy-waarde wordt gevonden:

$$C = 25 \cdot \left(\frac{h_1}{k}\right)^{\frac{1}{6}} = 25 \cdot \left(\frac{0,0825}{2 \cdot 0,01}\right)^{\frac{1}{6}} = 32 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

De berekening van de hydraulische straal verloopt als volgt:

$$R = \frac{\text{oppervlak}}{\text{natte omtrek}} = \frac{h_1 \cdot B}{2 \cdot h_1 + B} = \frac{0,0825 \cdot 0,40}{2 \cdot 0,0825 + 0,40} = 0,0584 \text{ m}$$

Hiermee kan een waarde voor het energieverlies worden berekend:

$$dH = \frac{u_1^2 x}{C^2 R} = \frac{0,40^2 \cdot 1,50}{32^2 \cdot 0,0584} = 0,0040 \text{ m}$$

De energiehoogte benedenstrooms bedraagt hiermee:

$$H_2 = H_1 - dH = 0,0907 - 0,0040 = 0,0867 \text{ m}$$

Voor H₂ geldt:

$$H_2 = z_2 + h_2 + \frac{u_2^2}{2g}$$

Met

$$h_2 = \frac{Q}{u_2 \cdot B}$$

is dit om te schrijven naar:

$$H_2 = z_2 + \frac{Q}{u_2 \cdot B} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Hieruit kan u_2 iteratief worden bepaald. Dit geeft $u_2 = 0,4276$ m/s en $h_2 = 0,0768$. Het berekende verval over de bodemverdediging wordt hiermee:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 0,0825 - 0,0768 = 0,0057 \text{ m} = 0,57 \text{ cm}$$

Proef 2 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,13	0,09	37
2	0,67	0,33	51
3	0,58	0,48	17

Proef 3 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,42	0,14	67
2	0,45	0,17	62

Proef 5 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,02	0,01	50
2	0,21	0,11	48
3	0,19	0,37	--
4	1,21	0,31	74

Proef 6 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,36	0,12	67
2	0,43	0,15	65
3	0,93	0,13	86

Proef 7 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,07	0,02	71
2	0,28	0,10	64
3	0,46	0,16	65
4	0,58	0,21	63
5	0,71	0,25	65
6	0,85	0,31	64
7	0,89	0,39	56
8	1,19	0,41	66
9	1,21	0,46	62
10	0,11	0,63	--

Proef 8 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,04	0,01	75
2	0,14	0,03	64
3	0,24	0,08	67
4	0,41	0,14	66

Proef 8 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,02	0,01	50
2	0,19	0,10	47
3	0,69	0,48	30
4	0,53	0,63	19

Proef 9 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,10	0,02	80
2	0,20	0,05	75

Proef 9 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,43	0,20	53
2	1,43	0,34	76

Proef 10 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,00	0,01	--
2	0,16	0,06	63
3	0,30	0,10	67
4	0,42	0,16	62
5	0,51	0,21	59
6	0,68	0,26	62
7	0,85	0,31	64
8	0,85	0,38	55
9	1,06	0,42	60
10	1,27	0,47	63

Proef 11 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,11	0,03	73
2	0,12	0,05	58
3	1,22	0,08	93
4	1,18	0,12	90

Proef 11 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,14	0,12	14
2	0,23	0,19	17
3	1,22	0,32	74
4	1,18	0,52	56

Proef 12 (vóór de drempel)

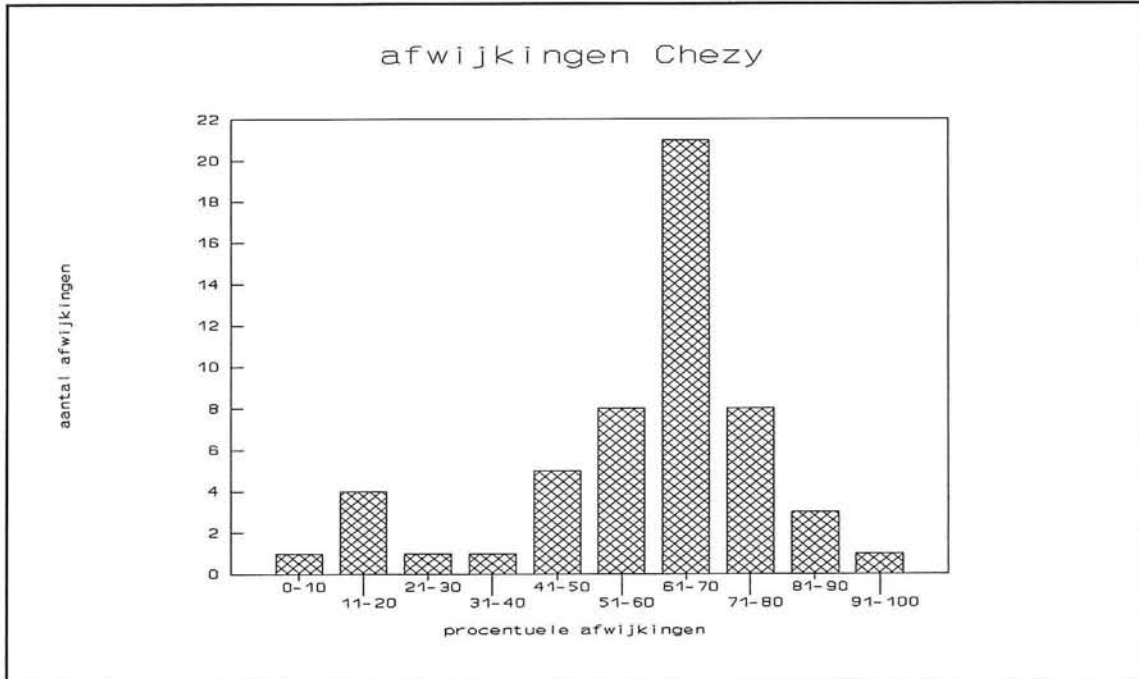
stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,07	0,01	86
2	0,13	0,04	69

Proef 12 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,36	0,12	67
2	0,50	0,27	46

Opvallend is dat het gemeten verval groter is dan het berekende verval.

In onderstaand diagram wordt een overzicht gegeven van de mate van voorkomen van de procentuele afwijkingen.



Hieruit blijkt een grote spreiding van de afwijkingen. Echter in de meeste gevallen is het gemeten verval 60 tot 70 % groter dan het berekende verval.

Bijlage IX: Vergelijking tussen gemeten en berekende wrijvingsvervallen
(Bélanger-benadering)

Voor iedere proef van deel 2 van het modelonderzoek is het verval over de bodemverdedigingen bepaald uit de gemeten waterdiepten (zie bijlage VII). Met het debiet en de waterdiepte op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging is vervolgens het wrijvingsverval berekend volgens de stuwkromme benadering van Bélanger. Op bladzijde 2 van deze bijlage wordt hiervan een rekenvoorbeeld gegeven.

De afwijking tussen het gemeten en het berekende verval wordt weergegeven als een procentuele afwijking:

$$\text{procentuele afwijking} = \left| \frac{\text{gemeten verval} - \text{berekend verval}}{\text{gemeten verval}} \right| \cdot 100\%$$

Bij de proeven 1, 4, 7 en 10 treedt bij grotere debieten een meeton nauwkeurigheid op doordat de waterspiegel achter de drempel in sterke mate fluctueert. De afwijking hierdoor is dermate groot dat besloten is deze proeven niet in de beschouwing mee te nemen. Dit geldt alleen voor de bodemverdediging achter de drempel. Van proef 7 en 10 wordt het verval over de bodemverdediging voor de drempel wel in de beschouwing meegenomen.

Rekenvoorbeeld

Bij stap 3 van proef 1 van het modelonderzoek is een debiet ingesteld van 13,14 l/s ofwel 0,01314 m³. De waterdiepte op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging h_1 bedraagt 8,25 cm ofwel 0,0825 m. Voor de Chezy-waarde wordt gevonden:

$$C = 25 \cdot \left(\frac{h_1}{k}\right)^{\frac{1}{6}} = 25 \cdot \left(\frac{0,0825}{2 \cdot 0,01}\right)^{\frac{1}{6}} = 32 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Voor de grensdiepte wordt gevonden:

$$h_g = \left(\frac{Q^2}{B^2 g}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0,01314^2}{0,40^2 \cdot 9,81}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,0479 \text{ m}$$

Voor de constante geldt:

$$\text{constante} = \frac{1}{4} h_1^4 - h_g^3 h_1 + \frac{-1,5 g h_g^3}{C^2}$$

waarin h_1 de waterstand op de bovenstroomse rand van de bodemverdediging is. Invullen van de gevonden waarden levert:

$$\text{constante} = \frac{1}{4} 0,0825^4 - 0,0479^3 \cdot 0,0825 - \frac{1,5 \cdot 9,81 \cdot 0,0479^3}{32^2} = 9 \cdot 10^{-7}$$

Uit de formule:

$$\frac{1}{4} h_2^4 - h_g^3 h_2 - \frac{x \cdot g \cdot h_g^3}{C^2} = \text{constante}$$

kan door itereren een waarde voor h_2 worden bepaald. Op de benedenstroomse rand van de bodemverdediging is x gelijk aan 0, dus de derde term valt uit de vergelijking.

Berekening geeft:

$$h_2 = 0,0786 \text{ m} \Delta h = h_1 - h_2 = 0,39 \text{ cm}$$

Proef 2 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,13	0,07	46
2	0,67	0,28	58
3	0,58	0,39	33

Proef 3 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,42	0,12	71
2	0,45	0,15	67

Proef 5 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,02	0,00	--
2	0,21	0,09	57
3	0,19	0,32	--
4	1,21	0,24	80

Proef 6 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,36	0,10	72
2	0,43	0,14	67
3	0,93	0,11	88

Proef 7 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,07	0,03	57
2	0,28	0,14	50
3	0,46	0,21	54
4	0,58	0,26	55
5	0,71	0,31	56
6	0,85	0,36	58
7	0,89	0,43	52
8	1,19	0,44	63
9	1,21	0,48	60
10	0,11	0,65	--

Proef 8 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,04	0,01	75
2	0,14	0,05	64
3	0,24	0,12	50
4	0,41	0,19	22

Proef 8 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,02	0,01	50
2	0,19	0,08	58
3	0,69	0,42	39
4	0,53	0,52	2

Proef 9 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,10	0,03	70
2	0,20	0,07	65

Proef 9 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,43	0,19	56
2	1,43	0,32	78

Proef 10 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,00	0,01	--
2	0,16	0,08	50
3	0,30	0,14	53
4	0,42	0,20	52
5	0,51	0,25	51
6	0,68	0,30	56
7	0,85	0,34	60
8	0,85	0,40	53
9	1,06	0,43	59
10	1,27	0,46	63

Proef 11 (vóór de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,11	0,05	55
2	0,12	0,07	41
3	1,22	0,11	91
4	1,18	0,16	86

Proef 11 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,14	0,09	36
2	0,23	0,15	35
3	1,22	0,25	80
4	1,18	0,42	64

Proef 12 (vóór de drempel)

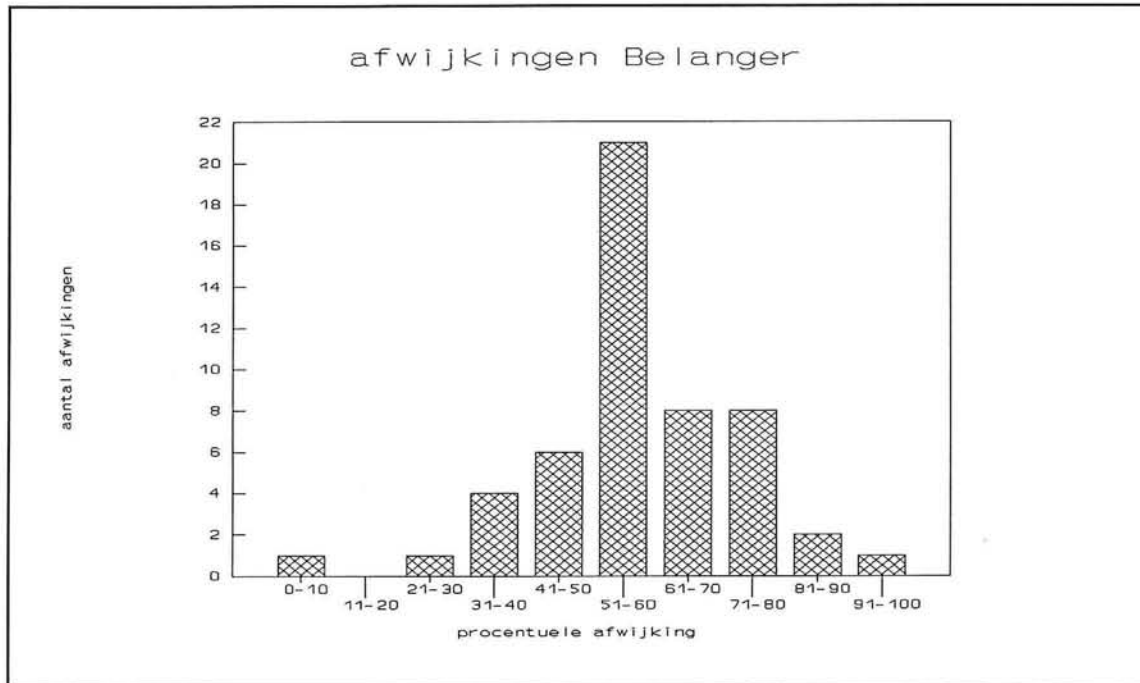
stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,07	0,02	71
2	0,13	0,06	53

Proef 12 (achter de drempel)

stap	gemeten verval [cm]	berekend verval [cm]	afwijking [%]
1	0,36	0,10	72
2	0,50	0,24	52

Opvallend is dat het gemeten verval groter is dan het berekende verval.

In onderstaand diagram wordt een overzicht gegeven van de mate van voorkomen van de procentuele afwijkingen.



Hieruit blijkt een grote spreiding van de afwijkingen. Echter in de meeste gevallen is het gemeten verval 50 tot 60 % groter dan het berekende verval.

Bijlage X: Resultaten EMS-metingen

De resultaten per proef worden hieronder weergegeven. In de tabellen betekent:

voor: direct bovenstrooms van de drempel, in meetpunt 1 (zie figuur 3.3)
op: midden op de drempel, in meetpunt 2 (zie figuur 3.3)
vak n: in het midden van vak n (zie figuur 3.2)
h: de waterdiepte ter plaatse van het meetpunt
z: de hoogte van de EMS ten opzichte van de bodem
 σ : de standaarddeviatie van de lokale snelheid
 \bar{u} : de in de tijd gemiddelde lokale snelheid
r: de relatieve turbulentie gedefiniëerd als σ/\bar{u}

Bij de uitvoering is getracht het debiet voor alle metingen gelijk te houden. Omdat de proeven af en toe stil moesten worden gelegd kunnen hierin kleine afwijking optreden.

Proef 1

$Q = 0,94 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	11,11	4,62	0,42	0,005	0,054	0,093
op	6,23	2,37	0,38	0,005	0,085	0,059
vak 1	7,96	2,65	0,33	0,006	0,058	0,103
vak 3	7,96	2,65	0,33	0,008	0,061	0,131
vak 5	7,96	2,65	0,33	0,006	0,060	0,100
vak 7	7,96	2,65	0,33	0,006	0,066	0,091
vak 9	7,95	2,65	0,33	0,006	0,069	0,087
vak 10	7,96	2,65	0,33	0,007	0,065	0,108

Proef 2

$Q = 0,94 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	8,27	3,80	0,46	0,005	0,069	0,072
op	3,28	1,14	0,35	0,007	0,156	0,045
vak 1	5,02	1,41	0,28	0,010	0,064	0,156
vak 3	5,03	1,41	0,28	0,009	0,082	0,110
vak 5	5,04	1,41	0,28	0,010	0,090	0,111
vak 7	5,03	1,41	0,28	0,009	0,095	0,095
vak 9	5,02	1,41	0,28	0,010	0,096	0,104
vak 10	4,99	1,41	0,28	0,008	0,095	0,084

Proef 3

$Q = 0,94 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	7,36	3,34	0,45	0,006	0,071	0,085
op	1,76	1,11	0,63	0,011	0,326	0,034
vak 1	3,18	0,83	0,26	0,035	0,109	0,321
vak 3	3,21	0,83	0,26	0,032	0,129	0,248
vak 5	3,17	0,83	0,26	0,021	0,145	0,145
vak 7	3,15	0,83	0,26	0,016	0,139	0,115
vak 9	3,09	0,83	0,27	0,015	0,144	0,104
vak 10	2,99	0,83	0,28	0,014	0,146	0,096

Proef 4

$Q = 1,12 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	11,14	2,23	0,20	0,006	0,054	0,111
op	5,00	1,00	0,20	0,011	0,087	0,126
vak 1	7,99	1,60	0,20	0,006	0,028	0,214
vak 3	7,99	1,60	0,20	0,007	0,054	0,130
vak 5	8,00	1,60	0,20	0,008	0,057	0,140
vak 7	8,00	1,60	0,20	0,009	0,067	0,134
vak 9	8,00	1,60	0,20	0,007	0,068	0,103
vak 10	7,99	1,60	0,20	0,007	0,066	0,106

Proef 5

$$Q = 1,16 \text{ l/s}$$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	8,55	1,71	0,20	0,005	0,043	0,116
op	2,06	0,55	0,27	0,012	0,179	0,067
vak 1	5,02	1,00	0,20	0,008	0,013	0,615
vak 3	5,00	1,00	0,20	0,014	0,048	0,292
vak 5	5,03	1,00	0,20	0,010	0,053	0,189
vak 7	5,03	1,00	0,20	0,009	0,062	0,145
vak 9	5,02	1,00	0,20	0,008	0,059	0,136
vak 10	5,02	1,00	0,20	0,007	0,058	0,121

Proef 6

$$Q = 1,16 \text{ l/s}$$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	8,37	1,67	0,45	0,005	0,043	0,116
op	1,66	0,53	0,63	0,009	0,240	0,038
vak 1	3,19	0,64	0,20	0,041	0,123	0,333
vak 3	3,17	0,64	0,20	0,031	0,095	0,326
vak 5	3,21	0,64	0,20	0,024	0,096	0,250
vak 7	3,15	0,64	0,20	0,018	0,095	0,189
vak 9	3,04	0,64	0,21	0,022	0,073	0,301
vak 10	2,99	0,64	0,21	0,013	0,108	0,120

Proef 5 en 6 zijn de laatste twee proeven die zijn uitgevoerd. Bij deze proeven is iets mis gegaan met de EMS waardoor de resultaten van deze twee proeven niet betrouwbaar zijn. Deze resultaten worden verder buiten beschouwing gelaten.

Proef 7

$Q = 0,94 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	9,40	2,91	0,31	0,006	0,053	0,113
op	6,21	1,12	0,18	0,006	0,084	0,071
vak 1	7,96	2,65	0,33	0,006	0,057	0,105
vak 3	7,95	2,65	0,33	0,008	0,062	0,129
vak 5	7,96	2,65	0,33	0,007	0,062	0,113
vak 7	7,97	2,65	0,33	0,007	0,066	0,106
vak 9	7,95	2,65	0,33	0,006	0,068	0,088
vak 10	7,96	2,65	0,33	0,006	0,069	0,087

Proef 8

$Q = 0,94 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	6,55	2,09	0,32	0,007	0,076	0,092
op	3,27	1,14	0,35	0,009	0,159	0,057
vak 1	5,02	1,41	0,28	0,011	0,071	0,155
vak 3	5,02	1,41	0,28	0,010	0,087	0,115
vak 5	5,01	1,41	0,28	0,010	0,090	0,111
vak 7	5,02	1,41	0,28	0,010	0,094	0,106
vak 9	5,01	1,41	0,28	0,009	0,092	0,098
vak 10	5,02	1,41	0,28	0,009	0,092	0,098

QUESTION 1

1000

2000

3000

4000

5000

6000

7000

8000

9000

10000

11000

12000

13000

14000

15000

16000

17000

18000

19000

20000

Proef 9

$Q = 0,94 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	5,63	1,63	0,30	0,008	0,084	0,095
op	1,81	1,11	0,61	0,012	0,325	0,037
vak 1	3,19	0,83	0,26	0,035	0,113	0,310
vak 3	3,18	0,83	0,26	0,031	0,128	0,242
vak 5	3,16	0,83	0,26	0,021	0,145	0,145
vak 7	3,14	0,83	0,26	0,017	0,138	0,123
vak 9	3,08	0,83	0,27	0,015	0,137	0,109
vak 10	2,99	0,83	0,28	0,013	0,146	0,089

Proef 10

$Q = 0,97 \text{ l/s}$

plaats	h	z	z/h	σ	\bar{u}	r
voor	9,02	1,80	0,20	0,006	0,056	0,107
op	5,02	1,00	0,20	0,007	0,081	0,086
vak 1	8,01	1,60	0,20	0,007	0,023	0,304
vak 3	8,00	1,60	0,20	0,009	0,052	0,173
vak 5	8,01	1,60	0,20	0,008	0,058	0,138
vak 7	8,00	1,60	0,20	0,008	0,062	0,129
vak 9	8,00	1,60	0,20	0,008	0,063	0,127
vak 10	8,00	1,60	0,20	0,007	0,063	0,111

