



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

stortmethoden voor drempel en
overgangsconstructie

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

M 1768

september 1983

stormvloedkering Oosterschelde

stortmethoden voor drempel en
overgangsconstructie

verslag modelonderzoek

M 1768

september 1983

INHOUD

	blz.
1	<u>Inleiding</u> 1
1.1	Opdracht en doel van het onderzoek..... 1
1.2	Conclusies en aanbevelingen..... 2
2	<u>Schaaleisen</u> 5
2.1	Viscositeitsinvloed..... 5
2.2	Elasticiteitsinvloed..... 6
3	<u>Opzet van het proevenprogramma</u> 8
3.1	Overzicht van de parameters..... 8
3.2	Hydraulische parameters..... 8
3.3	Stortmaterieel en stortmethoden..... 10
3.3.1	Steenstorter..... 10
3.3.2	Splijtbak..... 11
3.4	Opbouwlagen van de drempel..... 12
4	<u>Proefopstelling</u> 15
4.1	Faciliteit..... 15
4.2	Stortwerktuigen..... 15
4.3	Onderzochte steensorteringen..... 16
5	<u>Metingen</u> 17
6	<u>Resultaten stroomsnelheidsmeting</u> 18
7	<u>Resultaten proeven met de steenstorter</u> 19
7.1	Minimaal vereiste laagdikte..... 19
7.2	Uitvullaag tussen de pijlers..... 20
7.3	Uitvullaag buiten de pijlers..... 23
7.4	Afdeklaag negatieve overlap en uitvullaag (10-60 kg)..... 24
7.5	Afwerken drempelkern..... 26
7.6	Afdeklaag drempelkern..... 27
8	<u>Resultaten proeven met de splijtbak</u> 28
8.1	Invloed beunopening op het stortprofiel..... 28
8.2	Beschadiging uitvullaag..... 28

INHOUD (vervolg)

	blz.
8.3 Invloed stroomsnelheid.....	29
8.4 Invloed pijlerwanden.....	31
8.5 Het storten van de drempelkern.....	31
8.5.1 Storten volgens stortschema's.....	31
8.5.2 Onderzochte stortschema's.....	32
8.5.3 Storten van de drempelkern volgens stortschema I.....	32
8.5.4 Storten van de drempelkern volgens stortschema II.....	33

LITERATUUR

TABELLEN

- 1 Overzicht verrichte proeven fase 1 met de steenstorter
- 2 Overzicht verrichte proeven fase 1 met de splijtbak
- 3 Overzicht verrichte proeven afdeklaag negatieve overlap en uitvullaag (10-60 kg aangebracht met steenstorter)
- 4 Overzicht verrichte proeven afdeklaag drempelkern (60-300 kg aangebracht met de steenstorter).

FIGUREN

- 1 Indeling stortvakken
- 2 Steenstorter
- 3 Spleijtbak
- 4 Drempelontwerp
- 5 Stroomsnelheden rondom de pijlers, aanstroomsnelheid = 1,0 m/s
- 6 Stroomsnelheden rondom de pijlers, aanstroomsnelheid = 0,5 m/s
- 7 Stortkarakteristieken steenstorter

Hoogteliggingen van individuele storten tussen de pijlers

- 8 Stortnummers 001...012, waterdiepte = 29.0 m
- 9 Stortnummers 029...044, waterdiepte = 29.0 m
- 10 Stortnummers 054...069, waterdiepte = 21.5 m

Bovenaanzicht uitvullaag buiten de pijlers

- 11 Stortnummers 023...028, waterdiepte = 29.0 m
- 12 Stortnummers 045...050,
- 13 Stortnummers 051, 052, 053, 070, 071, 072
- 14 Stortnummers 127...130, 145 en 146
- 15 Stortnummers 141...144, 147 en 154

- 16 Hoogteligging afdeklaag uitvullaag (stortnummers 131...152)
- 17 Dwarsprofielen uitvullaag en afdeklaag
- 18 Dwarsprofielen uitvullaag en afdeklaag
- 19 De tijd waarin de modelbeun leeg is als functie van de beunopening
- 20 Geometrie van een individueel stort als functie van de openingstijd

Hoogteliggingen van individuele storten buiten de pijlers

- 21 Spleijtbak, stortnummers 116...126

Hoogteliggingen van 3 storten tussen de pijlers

- 22 Spleijtbak, stortnummers 094...115
- 23 Spleijtbak, stortnummers 074...093

Dwarsprofielen tussen de pijlers op basis van superpositie individuele storten

- 24 Geen dwarsverschuiving
- 25 Dwarsverschuiving 4 m

FIGUREN (vervolg)

- Langsprofielen tussen de pijlers op basis van superpositie individuele storten
- 26 Stortschema I
 - 27 Stortschema II

 - 28 Overzicht stortschema I
 - 29 Hoogteligging drempelkern gestort volgens stortschema I
 - 30 Overzicht stortschema II
 - 31 Hoogteligging drempelkern gestort volgens stortschema II

BIJLAGEN

- 1 Horizontale snelheid van een steen in stromend water
- 2 Schatting invloed golven op de baan van een individuele steen

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

STORTMETHODEN VOOR DREMPEL EN OVERGANGSCONSTRUCTIE

1. Opdracht en doel van het onderzoek

In het kader van het onderzoek voor de Stormvloedkering in de Oosterschelde werd per brief van 18 december 1980 met kenmerk WT 19.200 opdracht ontvangen van de Hoofdafdeling Waterloopkunde van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat om een onderzoek in te stellen naar de wijze waarop de drempel en de overgangsconstructie (tussen de drempel en het stortbed) gestort dient te worden, alsmede naar de vorm die een individueel stort zal aannemen.

Het onderzoek diende antwoord te geven op de volgende vragen:

1. Kunnen met behulp van conventioneel stortmaterieel de verschillende lagen van de drempel bij geplaatst zijnde pijlers met voldoende nauwkeurigheid worden gestort? Hierbij worden eisen gesteld aan de vlakheid en aan de minimale laagdikte.
2. Wat is de invloed van de waterdiepte op de vorm van het stort? Aangezien de aanlegdiepte van de pijlers variëert van 25 tot 29 m zal er bij verschillende waterdiepten moeten worden gestort.
3. Wat is de invloed van de getijstroom op de vorm en de plaats van het stort? Vergroting van de maximale stroomsnelheid waarbij nog gestort kan worden geeft een verlenging van de tijdsduur waarbij gestort mag worden en dus meer flexibiliteit in de uitvoering. Ook de hoek tussen de stroomrichting en de as van de kering is bij de bepaling van de toelaatbare stroomsnelheid van belang.
4. Wat is de invloed van het type steenstorter op de vorm van het stort? Indien er met een splijtbak wordt gestort, ontstaat er een compacte "wolk" stortmateriaal welke met grote snelheid de bak verlaat, terwijl er bij een steenstorter gedurende langere tijd sprake is van een min of meer continue stroom stortmateriaal.
5. Kan de nauwkeurigheid van het storten vergroot worden door het schip tijdens het storten continu of in een aantal stappen te verhalen?
6. Wat is de invloed van golven op de nauwkeurigheid van het storten?
7. Wordt de onderliggende laag aangetast door de vallende stenen?

Het modelonderzoek werd gesplitst in 2 fasen.

- Fase 1

Een parametrische studie naar de invloed van stroomsnelheid, waterdiepte en stortwijze op de vorm van een individueel stort rondom de pijlers

- Fase 2

Met behulp van de gegevens uit fase 1 werd een stortschema opgesteld, waarmee de gehele drempel (uitvullaag, drempelkern en afdeklaag) werd gestort.

Het modelonderzoek vond plaats gedurende de maanden maart tot en met mei 1981 in goot 4 van het Laboratorium Delft en stond onder leiding van ir. J.L.M. Konter, die tevens dit verslag samenstelde. Bij dit verslag hoort een videoband en fotoboek, die zich in het archief van de Rijkswaterstaat afdeling Waterbouwkundige Werken West bevinden.

1.2 Conclusies en aanbevelingen

A. Uitvullaag tussen de pijlers

1. De stortmethode met de steenstorter waarbij in een aantal stappen (discreet) wordt verhaald geeft dezelfde resultaten als de stortmethode waarbij continu wordt verhaald.
2. De optimale stortposities zijn bij discreet verhalen 5, 8 en 10,7 m uit de as van de negatieve overlap (storthoeveelheden respectievelijk $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$ en $\frac{1}{4}$ van de inhoud van een halve steenstorter). Bij continu verhalen moet de rand van de steenstorter worden verhaald van 5,0 naar 10,7 m en weer terug naar 5,0 m uit de as van de negatieve overlap
3. De maximale stroomsnelheid, (gemeten midden tussen de pijlers: punt Q van figuur 5 en 6) waarbij nog goede resultaten kunnen worden verkregen bedraagt 0,5 m/s. Door een correctie in langsrichting op de positie van de steenstorter aan te brengen, zal tot een stroomsnelheid van 1,0 m/s kunnen worden gestort.
4. De invloed van de waterdiepte op het stortresultaat bij stilstaand water is gering. Bij stromend water moet bij het vaststellen van de verschuiving in langsrichting met de waterdiepte rekening worden gehouden.

B. Afdeklaag uitvullaag

1. Voor het verkrijgen van een vlakke laag hebben de methoden, waarbij de steenstorter discreet of continu wordt verhaald, de voorkeur.

2. De optimale stortposities voor deze laag zijn bij discreet verhalen 2, 5 en 8 m uit de as van de negatieve overlap, waarbij respectievelijk $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{4}$ van de inhoud van een halve steenstorter (= 500 ton) wordt gestort.
3. Bij het stortschema 2-5-8 kan gestort worden tot stroomsnelheden van $U_Q = 0,5$ m/s. Een correctie in dwarsrichting in verband met scheve aanstroming is niet nodig, omdat zonder deze correctie de afdekking op de negatieve overlap voldoende is.
4. Een correctie in langsrichting in verband met de stroomsnelheid is uit een oogpunt van afdekking van de uitvullaag en negatieve overlap tussen de pijlers niet beslist noodzakelijk.

C. Uitvullaag buiten de pijlers

1. Ter verkrijging van een goede aansluiting tegen de pijlers moet de uitvullaag buiten de pijlers aan de bovenstroomse zijde worden gestort met behulp van een steenstorter.
2. De invloed van de stroomsnelheid moet worden verdisconteerd, hetzij door het inbouwen van overlappen, hetzij door langs- en dwarscorrecties in de positie van de steenstorter.
3. In verband met de dunne laag, die moet worden gestort, komt alleen de stortmethode waarbij de steenstorter continu wordt verhaald in aanmerking. In verband met de onregelmatigheden aan het begin en eind van het stort is het van belang dat begin- en eindpunt van de vaarroute niet samenvallen. Met het verhalen van de steenstorter mag pas worden begonnen, indien er een constante hoeveelheid per tijdseenheid wordt gestort.
4. De minimum vereiste laagdikte voor de uitvullaag (5-40 kg) bedraagt ca. $2D = 0,40$ m.

D. Drempelkern

1. De dikte van de lagen 40-125 mm en 5-40 kg is voldoende om beschadigingen van de negatieve overlap en uitvullaag door het storten met de splijtbak, ter plaatse van de overgangsconstructie te voorkomen.
2. Voor de (model)splijtbak bedraagt de optimale beunopening 1,20 m en de openingstijd 9,5 s.
3. De optimale stortafstanden van de splijtbak uit het hart van de negatieve overlap zijn 6 m, (1e laag), 9 m (2e laag) en 0 m (3e laag). In schemavorm 6-9-0. Ook het schema 6-0-9 voldoet goed.

4. Het is niet mogelijk eerst de taluds van de drempelkern volledig te storten, en daarna de ruimte tussen deze ruggen uit te vullen met de splijtbak.
5. De taluds van de drempelkern moeten bovenstrooms worden gestort, omdat aan de bovenstroomse zijde de variatie van de stroomsnelheden in de langsrichting van de kering minimaal is.
6. Aan de hand van de vorm van individuele storten kunnen de stortresultaten goed voorspeld worden. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de opbouw van het stortprofiel tijdens het storten.
7. Tussen de pijlers kan worden gestort tot stroomsnelheden van $u_Q = 1.0$ m/s. Een vlakkere drempelkern kan worden verkregen door bij de positionering van de splijtbak rekening te houden met verschuivingen in langs- en dwarsrichting tengevolge van de stroomsnelheid.

E. Afwerken drempelkern

1. Het uitvullen van gaten in de drempelkern met de steenstorter is mogelijk door de steenstorter te beladen over de lengte van het gat en de inhoud in een aantal dunne laagjes (discreet verhalen) te storten.
2. Voor het aanbrengen van de afdeklaag van de drempelkern (60-300 kg) moet met de steenstorter worden verhaald (continu of discreet). De afdeklaag volgt de onregelmatigheden van de drempelkern. Er rollen geen stenen van het talud af.
3. De minimum vereiste laagdikte voor steensorteringen 60-300 kg en grover bedraagt 1,5 D.

Aanbevelingen

- Vanwege het belang van de vorm van een individueel stort voor het ontwerpen van het stortschema, en dus het stortresultaat, verdient het aanbeveling deze vorm in het prototype zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen. De invloed van de beunopening en openingstijd van de splijtbak moet hierbij worden meegenomen.
- Ook voor het uitvullen van gaten en dergelijke is het van belang de vorm van een stort goed vast te stellen als functie van de storthoeveelheid en steensortering.
- Vanwege de grote invloed van de stroomsnelheid op het stortresultaat is het noodzakelijk de stroomsnelheid in het te bestorten vak te meten.

2. Schaaleisen

2.1 Viscositeitsinvloed

Voor gladde bolvormige deeltjes blijkt de weerstandscoefficiënt C_D in een stroming en dus ook bij het bezinken in stilstaand water goed te worden weergegeven door de relatie:

$$C_D = \frac{4}{3} \frac{\Delta D}{w^2} g = f(\text{Re}) \quad (1)$$

waarin:

Δ	= $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$, de relatieve dichtheid van de stenen onder water	(-)
ρ_s, ρ_w	= dichtheid van de stenen en het water	(kg/m ³)
D	= diameter van het bolvormige deeltje	(m)
w	= valsnelheid van het deeltje	(m/s)
Re	= $w \cdot D / \nu$ getal van Reynolds	(-)
g	= versnelling van de zwaartekracht	(m/s ²)
ν	= kinematische viscositeit van het water	(m ² /s)

Uit metingen met niet-bolvormige deeltjes blijkt dat een relatie van dezelfde vorm goed voldoet mits een vormfactor s wordt ingevoerd, gedefinieerd als

$$s = \frac{c}{\sqrt{a \cdot b}}$$

waarin a , b en c de respectievelijk grootste, middelste en kleinste afmetingen van het deeltje in 3 onderlinge richtingen voorstellen (zie [1] en [2]). Voor stenen geldt in het algemeen $s = 0,7$.

Bij niet-bolvormige deeltjes moet voor D de diameter D_b genomen worden welke is gedefinieerd als de diameter van de bol die een even groot volume heeft als het deeltje:

$$D_b = \sqrt[3]{\frac{6 M_{50}}{\pi \cdot \rho_s}} \quad (3)$$

waarin:

$$M_{50} = \text{massa} \quad (\text{kg})$$

Uit [1] blijkt voor $Re > 500 \text{ à } 1000$, de waarde voor C_D constant is (voor stenen ≈ 1) en dat derhalve uit (1) volgt:

$$n_{C_D} = \frac{n_D}{n_w^2} = 1 \text{ of } n_w = n_D^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Bij een model op Froudeschaal worden de afmetingen van de stenen verkleind met de lengteschaal

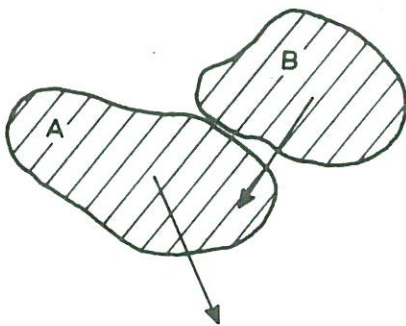
$$n_v = n_l^{\frac{1}{2}} = n_D^{\frac{1}{2}} = n_w \quad (5)$$

Doordat de verhouding tussen stroomsnelheid en valsnelheid in het model en het prototype aan elkaar gelijk is, zal ook de baan die het deeltje aflegt in het model overeenkomen met het prototype. Voorwaarde is echter een Re -getal $> 500 \text{ à } 1000$. Van de in het onderzoek toegepaste steensorteringen had de kleinste steen een massa van 5 kg ($D_b = 0,15$ m). Uitgaande van een lengteschaal van $n_l = 40$ bedraagt het getal van Reynolds in het model circa 1000, zodat aan genoemde voorwaarde wordt voldaan.

2.2 Elasticiteitsinvloed

Indien meerdere stenen tegelijk worden gestort, kunnen de stenen voordat ze op de bodem vallen een aantal keren tegen elkaar botsen. Omdat de elasticiteit van de stenen in het model niet op schaal wordt gebracht kunnen mogelijk schaaffecten optreden. Uit een vergelijking tussen model- en prototype resultaten blijken echter deze schaaffecten verwaarloosbaar klein te zijn.

Dit kan worden verklaard door te bedenken dat de baan en de beweging van de steen na de botsing voornamelijk wordt bepaald door de vorm van de individuele stenen.



Indien steen B of steen A valt, zal door de botsing zowel steen A, als steen B een rotatie ondergaan. De impulsoverdracht bij de botsing wordt voornamelijk bepaald door de grootte van het aanrakingsoppervlak, en in mindere mate door de elasticiteit van de stenen. De beweging van de roterende steen in het water na de botsing wordt bij een model op Froudeschaal goed weergegeven (zie 2.2).

Om dezelfde redenen zal ook de baan van een steen nadat deze tegen de pijlerwand is gebotst voornamelijk worden bepaald door de vorm van de pijler en de steen, en in mindere mate door de elasticiteit. Dit werd getoetst door tegen een betonnen, ijzeren en houten wand met een modelsteenstorter eenzelfde hoeveelheid stenen te storten.

De helling van de wand was ongeveer gelijk aan de helling van de pijlervoet. De vorm van het stortprofiel was voor al deze stenen gelijk. Uit deze proeven bleek ook dat de bodem invloed had. Indien op een betonnen bodem werd gestort, ontstond een heel ander resultaat dan wanneer op een onderlaag bestaande uit op schaal aangebrachte modelstenen gestort werd. Een bed bestaande uit stenen heeft een remmende werking op de horizontale verplaatiging van de gestorte stenen.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat bij een model op Froudeschaal geen schaaleffecten te verwachten zijn. Dit betekent een geometrisch gelijkvormig model van de constructie en de stenen. De elasticiteit van de constructie heeft een verwaarloosbare invloed op de stortresultaten.

3. Opzet van het proevenprogramma

3.1 Overzicht van de parameters

Zoals in hoofdstuk 1 is vermeld, werd het onderzoek gesplitst in twee fasen:

- fase 1 parametrisch onderzoek naar de vorm van individuele storten
- fase 2 drempelopbouw volgens stortschema's.

In fase 1 werden de verschillende parameters op hun invloed onderzocht, hetzij door middel van berekeningen en/of ervaringen met voorgaand onderzoek, hetzij door middel van modelproeven.

De belangrijkste parameters zijn:

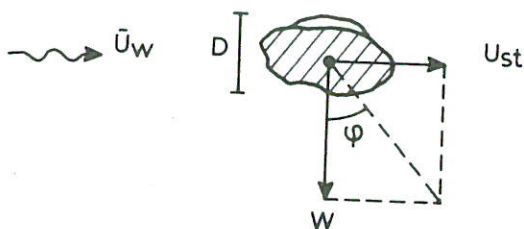
- stroomsnelheid
- waterdiepte
- aanstroomrichting van de pijlers
- golven
- steensortering
- stortmaterieel
- stortmethode, (continu, discreet en niet-verhalen)
- stortvolgorde
- opbouwlagen van de drempel.

In de hierna volgende paragrafen worden de invloed van deze parameters op het stortprofiel en de consequenties voor het proevenprogramma in het kort besproken.

3.2 Hydraulische parameters

Invloed stroomsnelheid op het stortprofiel

De invloed van de stroomsnelheid op het stortprofiel kan worden geschat de verschuiving te berekenen, uitgaande van de valsnelheid van individuele stenen.



De baan van een steen in de evenwichtssituatie ($U_{st} = U_w$) volgt uit:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_w}{W} = C_1 \frac{U_w}{\sqrt{\Delta g D_b}} \quad (6)$$

Hierin is:

U_w = stroomsnelheid (van het water)

C_1 = coëfficiënt

Volgens relatie (1) bedraagt $C_1 = \sqrt{3/4 C_D} = 0,86$ voor $C_D = 1,0$. Uit stortproeven met fosforslakken (M1244) kan een C_1 -waarde van 0,83 worden afgeleid. Wellicht is deze kleinere C_1 -waarde een gevolg van het verwaarlozen van de beginperiode waarbij er nog geen evenwicht is (zie bijlage 1). Indien $C_1 = 0,83$ wordt toegepast gelden voor de in model toegepaste steensorteringen de volgende verschuivingen

steensortering	ΔD_b	$\operatorname{tg}\varphi$	horizontale verschuiving			
			$U_w = 0,5 \text{ m/s}$		$U_w = 1,0 \text{ m/s}$	
			$h_o = 29 \text{ m}$	$h_o = 21,5 \text{ m}$	$h_o = 29 \text{ m}$	$h_o = 21,5 \text{ m}$
5-40 kg	0,27	$0,51 U_w$	7,4	5,5	14,8	11,0
10-60 kg	0,36	$0,45 U_w$	6,6	4,7	13,1	9,5
60-300 kg	0,94	$0,28 U_w$	4,0	3,0	8,0	5,9
1000-3000 kg	1,74	$0,21 U_w$	3,0	2,2	6,0	4,4

Horizontale verschuiving voor de in model toegepaste steensorteringen ($C_1 = 0,83$).

Uit deze tabel blijkt dat de stroomsnelheid een belangrijke invloed heeft op het stortprofiel. Voor het sterk drie-dimensionale stroombeeld rondom de pijlers is deze invloed moeilijk te voorspellen. Het onderzoek werd uitgevoerd bij drie aanstroomsnelheden ($\bar{u} = 0, 0,5$ en $1,0 \text{ m/s}$).

Invloed waterdiepte

Uit de tabel volgt tevens de invloed van de waterdiepte op de horizontale verschuiving van 1 steen. Het onderzoek werd uitgevoerd bij de twee extreme situaties (ondiep $h_o = 21,5 \text{ m}$ en diep $h_o = 29,0 \text{ m}$).

Invloed golven

Uit berekeningen van een vallende steen in een golfveld (zie bijlage 2) blijkt dat de invloed van golven op het stortprofiel gering is, en verwaarloosbaar ten opzichte van de invloed van de stroomsnelheid. Ook de invloed van de door de golven ontstane scheepsbewegingen wordt gering geacht omdat discontinuïteiten door eventueel onregelmatig bressen worden uitgemiddeld tengevolge van de heen en weergaande beweging van het schip en de spreiding van de vallende stenen in het water. Bij het onderhavige onderzoek werd de golfinvloed verder buiten beschouwing gelaten.

Invloed scheve aanstroming

Uit de stroombeeldfoto's uit het detailmodel van de sluitgaten werd afgeleid dat de aanstroomhoek van de pijlers kon variëren van $0-30^{\circ}$. In het model werd een aanstroomhoek van 20° ingebouwd. Uit de proeven met deze aanstroomhoek zou de invloed van scheve aanstroming moeten blijken. Indien de invloed van scheve aanstroming aanzienlijk zou blijken te zijn, en niet met behulp van berekeningen zou kunnen worden geëxtrapoleerd naar grotere aanstroomhoeken, zouden aanvullende proeven gedaan worden.

3.3 Stortmaterieel en stortmethoden

3.3.1 Steenstorter

De steenstorter (zie figuur 2) wordt in het algemeen gebruikt voor het aanbrengen van relatief dunne lagen (zoals bijvoorbeeld de uitvullaag en de afdeklagen). De factoren die voor het stortresultaat van de steenstorter een rol spelen zijn:

- de regelmaat waarmee de schuif en steenstorter wordt voortbewogen
- de snelheid waarmee de schuif en steenstorter wordt voortbewogen
- de afstand waarover het schip wordt verhaald.

Regelmaat schuiven

Van de model-steenstorter werd de gestorte hoeveelheid stenen (5-40 kg) als functie van de storttijd bepaald door bij regelmatig voortbewogen schuiven de gestorte stenen op te vangen in een bak op een weegschaal. Het resultaat van deze handeling is voor een schuifsnelheid van 0,2 m/minuut en 0,4 m/minuut weergegeven in figuur 7.

Bij regelmatig voortbewogen schuiven van de steenstorter hoeft alleen met de onregelmatigheid aan het begin en aan het eind van het stort rekening gehouden te worden. De onregelmatigheid aan het begin van het stort ontstaat doordat eerst het steenpakket moet worden ingedrukt, voordat de eerste stenen over boord vallen. Na deze aanloopperiode is de gestorte hoeveelheid per tijdseenheid echter constant (zie figuur 7).

Aan het eind van het stort neemt de per tijdseenheid gestorte hoeveelheid af als het aanbod van nog op het schip aanwezige stenen minder is. Bij het opstellen van een stortschema waarbij de steenstorter tijdens het storten wordt verhaald, is het derhalve van belang dat het begin en einde van de vaarroute niet samenvallen.

Verhaalsnelheid en verhaalafstand

De kans op plaatselijke stortonnauwkeurigheden kan worden verminderd door het aantal afzonderlijke laagjes, dat nodig is voor het verkrijgen van de gewenste laagdikte te vergroten. Een verdubbeling van het aantal afzonderlijke laagjes kan bijvoorbeeld worden verkregen, door de verhaalafstand bij gelijkblijvende schuifsnelheid te verdubbelen. Het is echter de vraag of door deze verdubbeling de onregelmatigheden aan het begin en eind kunnen worden gecorrigeerd.

De drie onderzochte stortmethoden zijn:

1. Zonder verhalen

Tijdens het storten wordt het schip niet verhaald, en blijft dus op dezelfde positie liggen.

2. Met continu verhalen van het schip tijdens het storten

Terwijl de steenstorter gelijkmatig wordt verhaald, wordt de inhoud van een halve steenstorter gestort doorde schuiven gelijkmatig uit te drukken.

3. Met discreet verhalen

Hieronder wordt verstaan: op één plaats de schuiven over een bepaalde afstand uitdrukken, vervolgens de steenstorter over een bepaalde afstand verhalen, en weer opnieuw over een zekere afstand de schuiven uitdrukken enz.

3.3.2 Splijtbak

De splijtbak (zie figuur 3) wordt in het algemeen gebruikt voor het aanbrengen van grote hoeveelheden zand of steen. Voor de drempel van de stormvloedkering wordt de splijtbak ingezet voor het aanbrengen van de drempelkern.

Met de splijtbak kan bij niet te grove materialen enigszins gedoseerd worden gestort, door de openingsgrootte en de openingstijd van de beun te variëren. De invloed van de openingsgrootte op de vorm van het stortprofiel bleek bij het storten van fosforslakken aanzienlijk te zijn (zie M1244) [3]. Bij het onderhavige onderzoek werd deze invloed voor het storten van steen 10-60 kg onderzocht (zie de figuren 19 en 20). Tijdens het storten met de splijtbak werd er niet verhaald. Wel werd uiteraard de positie van de splijtbak tijdens het storten ten opzichte van de pijlers gevariëerd. Onderzocht werd met welke positieën een zo vlak mogelijk profiel kon worden verkregen.

3.4 Opbouwlagen van de drempel

Bij het storten van de drempel wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende lagen:

1. de uitvullaag (tussen en buiten de pijlers)
2. de afdeklaag van de negatieve overlap en uitvullaag
3. de drempelkern
4. de afdeklaag van de drempelkern
5. de toplaag

De uitvullaag (steen 5-40 kg)

De uitgangssituatie voor het aanbrengen van de uitvullaag is de aanwezigheid van de afgestorte negatieve overlap tussen de pijlers. De hoogte hiervan bedraagt circa 1,25 m in het midden en loopt af naar 0 m bij de zijkant van de bovenmat (zie figuur 4). De uitvullaag, welke wordt aangebracht als eerste laag na het plaatsen van de pijler, bestaat uit steen 5-40 kg met een dikte van circa 1 m, en strekt zich aan weerszijden van de pijler uit tot aan de overgangsconstructie.

Tussen de pijlers bedraagt de te storten hoeveelheid $20 \times 60 \times 1 = 1200 \text{ m}^3$. De inhoud van de negatieve overlap bedraagt $10 \text{ m}^3/\text{m}'$, dus in totaal circa 600 m^3 . Tussen de pijlers moet dus $600 \text{ m}^3 = 1000 \text{ ton}$ steen 5-40 kg worden aangebracht. Het gebied tussen de pijlers werd verdeeld in 4 stortvakken (2 in lengterichting van de pijlers in verband met de beunlengte van de steenstorter (30 m) en 2 in breedterichting in verband met de negatieve overlap (zie figuur 1)). Per stortveld moet derhalve circa 250 ton worden gestort. De inhoud van een halve steenstorter voor deze laag bedroeg 250 ton.

Een overzicht van de verrichte proeven voor de uitvullaag is weergegeven in tabel 1. Gevariëerd werden stroomsnelheid (3), waterdiepte (2) en stortmethode (3).

De afmetingen van het stortvak van de uitvullaag buiten de pijlers wordt bepaald door de afstand tussen de tenen van de negatieve overlappen (36 m) en de beunlengte van het stortschip (30 m). Per stortveld moet aangebracht worden (zie figuur 1) $36 \times 30 \times 0,3 = 324 \text{ m}^3$, hetgeen overeenkomt met 550 ton. De inhoud van een half schip bedroeg derhalve 550 ton.

Vanwege de dunne laag (0,3 m) komen alleen de methoden waarbij het schip wordt verhaald in aanmerking. De verhaalafstand werd bij de proeven gevariëerd (2, 3 of 4 x de afstand tussen 2 negatieve overlappen). Een overzicht van de verrichte proeven voor de uitvullaag (tussen en) buiten de pijlers is weergegeven in tabel 1. Gevariëerd werden de stroomsnelheid, waterdiepte, verhaal- en schuif-snelheid.

De afdeklaag negatieve overlap en uitvullaag

Teneinde de negatieve overlap en uitvullaag te beschermen tijdens het storten van de drempelkern (10-60 kg) met de splijtbak, wordt over de uitvullaag en de negatieve overlap met de steenstorter een afdeklaag aangebracht van 500 ton (steen 10-60 kg) per stortveld ($20 \times 31,8 \text{ m}^2$) (zie figuur 4). De stortmethoden zijn in principe gelijk aan die bij de negatieve overlap tussen de pijlers. Voor een overzicht van de verrichte proeven wordt verwezen naar tabel 3.

De drempelkern

De drempelkern bestaande uit steen 10-60 kg heeft als hoofdfunctie het opvullen van de kern van de drempel. Bovendien verleent de laag steun aan de pijler en heeft de laag een filterfunctie tussen de overige filterlagen.

Voor het aanbrengen van de drempelkern werd gedacht aan twee alternatieven:

1. Het gebied tussen de pijlers wordt met splijtbakken aangebracht. Nadat de benodigde hoeveelheid tussen de pijlers is aangebracht, wordt de ruimte buiten de pijlers waar nodig met behulp van steenstorters opgevuld en uitgevlakt.
2. Bij de opbouw van de drempelkern wordt ook het gebied buiten de pijlers met behulp van splijtbakken (dwars op stroom) aangebracht. Bij deze methode wordt eerst een rug evenwijdig aan de as van de kering (bij de teen van de drempel) gestort, waarna het gebied tussen de pijlers wordt opgevuld.

Een overzicht van de verrichte proeven met de splijtbak ten behoeve van de drempelkern is weergegeven in tabel 2. Gevariëerd werden beunopening, stortpositie, stroomsnelheid en waterdiepte.

De afdeklaag van de drempelkern (60-300 kg)

Nadat in fase 2 van het onderzoek de drempel werd opgebouwd volgens de methoden ontwikkeld in fase 1, werd met behulp van de steenstorter getracht de gaten op te vullen.

Tevens werd onderzocht in hoeverre de afdeklaag van de drempelkern (60-300 kg) de onvlakheden van de drempelkern compenseerde of versterkte. Een overzicht van de verrichte proeven is weergegeven in tabel 4.

De toplaag (300-1000 kg, 1000-3000 kg, 3000-6000 kg en 6000-10.000 kg)

Onderzoek naar de stabiliteit en vlakheid van een met behulp van een steenstorter gestorte drempel is beschreven in het interimverslag M1451-5 [4]. In feite gelden voor de toplaag dezelfde relaties als voor de afdeklaag van de drempelkern. Alleen moet bij het storten van stenen zwaarder dan 300-1000 kg rekening worden gehouden met beschadigingen van de pijlers. Onderzocht werd de minimaal benodigde laagdikte voor het verkrijgen van een goede filterlaag.

4. Proefopstelling

4.1 Faciliteit

De proeven werden uitgevoerd in goot 4 van het Laboratorium Delft. De goot-breedte bedraagt 5 m, waardoor uitgaande van een lengteschaal van $n_1 = 40$, en een aanstroomhoek van 20° , 5 pijlers ingebouwd kunnen worden (zie figuur 1). De pijlers werden gefundeerd op een laag grof zand. Tussen de pijlers werd de afgestorte negatieve overlap aangebracht. Een dwarsdoorsnede van de negatieve overlap is weergegeven op figuur 4.

4.2 Stortwerktuigen

Er werd gestort met twee stortwerktuigen:

- een steenstorter, met een inhoud van circa 1000 ton (zie figuur 2)
- een splijtbak, met een inhoud van circa 1000 ton (zie figuur 3)

Van deze stortwerktuigen werd alleen de beun in het model gereproduceerd. Beide stortwerktuigen konden met behulp van een samenstel van wagens boven de goot worden verhaald in richtingen evenwijdig en loodrecht op de as van de kering. De stortwerktuigen konden zowel kop op stroom (richting stroomsnelheid evenwijdig aan de lengte-as van de steenstorter) als dwars op stroom worden ge-positioneerd.

Van de steenstorter werden in het model alleen het laaddek en de schuiven nagebootst. De hoogteligging van het laaddek ten opzichte van de waterspiegel werd op schaal ingesteld. Zowel de snelheid van de schuiven als de verhaalsnelheid konden onafhankelijk van elkaar worden gevariëerd.

De splijtbak lag in het water. De hoogte-instelling van de splijtbak is echter star, hetgeen inhoudt dat de splijtbak niet verder "opdrijft" nadat de lading is gestort. Er zijn geen redenen te veronderstellen dat het resultaat van het storten hierdoor merkbaar wordt beïnvloed. De gewenste grootte van de beun-opening en de snelheid van openen kon met behulp van een handel worden ingesteld.

4.3 Onderzochte steensorteringen

Van de in het model toegepaste steensorteringen werden de volgende kenmerkende grootheden bepaald:

- de dichtheid ρ_s
- de diameter van de stenen $D = (M_{50}/\rho_s)^{1/3}$
- M_{50} = massa van een steen overschreden door 50 procent van de massa
- de diameter van de bol met een gelijk volume als de steen ($D_b = (\frac{6}{\pi} \cdot M_{50}/\rho_s)^{1/3} = 1,24 D$).
- de relatieve dichtheid van de bestortingen onder water.

Voor de bepaling van de stabiliteit van een steen wordt veelal uitgegaan van de parameter ΔD , terwijl voor de bepaling van de valsnelheid de D_b waarde wordt toegepast.

steensortering	dichtheid (kg/m)	Δ (-)	M_{50} (kg)	D (m)	D_b (m)	ΔD (m)	ΔD_b (m)
5-40 kg	2273	1,27	11,5	0,17	0,21	0,22	0,27
10-60 kg	2500	1,50	16,64	0,19	0,24	0,28	0,36
60-300 kg	2585	1,58	284	0,48	0,59	0,76	0,94
1000-3000 kg	2710	1,71	1250	0,77	0,96	1,32	1,64

Kenmerkende grootheden steensorteringen

5. Metingen

stroomsnelheden

Vanwege de verwachte grote invloed van de stroomsnelheid op het stortprofiel werden in een groot aantal meetpunten boven de overgangsconstructie en tussen de pijlers de tijdsgemiddelde stroomsnelheden gemeten met behulp van een micro-molen. Er werd gemeten bij een waterdiepte van 29.0 m met een aanstroomsnelheid van 0,5 m/s en van 1,0 m/s. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven op de figuren 5 en 6.

hoogteligging van de storten

De vorm van de verschillende storten werd gemeten door het niveau van de water-spiegel in stappen van 0,01 m (model) te verhogen. Door het gedeelte van het stort boven water op te tekenen werden de hoogtelijnen van de storten vastgelegd. Deze methode was niet toepasbaar voor de uitvullaag buiten de pijlers. Hiervan werden alleen de eventuele onregelmatigheden in de laag (plaatselijke gaten, opeenhopingen) en de grenzen van het stort geregistreerd.

foto's en video-beelden

Het onderwatergebeuren werd tijdens het storten met behulp van video-camera's vastgelegd. Uit deze opnamen werd een verzamelband samengesteld.

Na elke stortperiode werden van de storten kleurenfoto's gemaakt. Een exemplaar van het fotoboek en de videoband bevinden zich in het archief van Rijkswaterstaat, Afdeling Waterbouwkundige Werken West en in het archief van het Waterloopkundig Laboratorium.

6. Resultaten stroomsnelheidsmeting

De resultaten van de stroomsnelheidsmeting staan vermeld op figuur 5 (aanstroomsnelheid = 1,0 m/s) en figuur 6 (aanstroomsnelheid = 0,5 m/s). De stroomsnelheden worden gemeten op 2 m, 10 m, 18 m, 24 m en (indien mogelijk in verband met de negatieve overlap) op 28 m onder de waterspiegel, en zijn in deze volgorde van boven naar beneden bij elk meetpunt op de figuren 5 en 6 (zie punt F) weergegeven.

Bij de stortproeven tussen de pijlers werd de opgegeven stroomsnelheid (0,5 of 1,0 m/s) ingesteld in punt Q. Bij het storten van de uitvullaag van de overgangsconstructie werd de stroomsnelheid in punt E ingesteld. Ook bij het storten met de splijtbak dwars op stroom werd de stroomsnelheid in punt E ingesteld. Bij het storten in het prototype zal de stroomsnelheid ook in deze punten moeten worden bepaald, hetzij door meting in de opgegeven punten, hetzij door vertaling van in andere punten gemeten stroomsnelheden naar de punten E en Q.

7. Resultaten proeven met de steenstorter

7.1 Minimaal vereiste laagdikte

De minimale laagdikte werd bepaald door op een oppervlakte van $28 \times 37,5 \text{ m}^2$ achtereenvolgens 800, 650 en 550 ton te storten. Bij een gestorte hoeveelheid van 550 ton (laagdikte = 0,32 m) was plaatselijk de onderlaag zichtbaar. Bij een gestorte hoeveelheid van 650 ton (laagdikte = 0,38 m) werd een uitstekend stortresultaat verkregen, dat wil zeggen een gelijkmatige laag waardoor de onderliggende laag niet zichtbaar was. Bij een gestorte hoeveelheid van 800 ton (gemiddelde laagdikte = 0,47 m) lag plaatselijk meer dan noodzakelijk was voor een goede dekking.

Uit een tweede serie proeven, waarbij over de negatieve overlap werd gestort, bleek dat met een hoeveelheid van 730 ton (10-60 kg) op een oppervlakte van $28 \times 45 \text{ m}^2$ (gemiddelde laagdikte = 0,35 m) een goed resultaat werd verkregen. Op 2 plaatsen ter grootte van 2 bij 2 m^2 (prototype) was het onderliggende bed zichtbaar. De grootte van de openingen tussen de gestorte stenen was kleiner dan de diameter van de stenen. De optimale laagdikte voor een steensortering met een D van 0,19 m wordt derhalve op 0,38 m ($= 2 D_n$) gesteld.

Uit het onderzoek M1451 bleek dat bij stortsteen 300-1000 kg ($D = 0,63 \text{ m}$) en grover een laagdikte van $1,5 D$ voldoende was. Dit werd nogmaals nagegaan door van de steensorteringen (met lengteschaal 30) 60-300 kg, 300-1000 kg en 1000-3000 kg elk $0,01 \text{ m}^3$ op de grond uit te spreiden totdat de bodem niet meer zichtbaar was. Het benodigd oppervlak werd gemeten. Door deling van het volume en het benodigd oppervlak werd de minimum laagdikte (d) bepaald, (zie onderstaande tabel).

steensortering (kg)	oppervlak voor $0,01 \text{ m}^3$ (m^2)	laagdikte (m)	laagdikte prototype (m)	D $= (M_{50} / \rho_s)^{1/3}$ (m)	$\frac{d}{D}$
60-300	0,595	0,017	0,50	0,36	1,39
300-1000	0,324	0,031	0,93	0,63	1,47
1000-3000	0,276	0,036	1,08	0,83	1,30

Minimum laagdikte

Op grond van deze beschouwing wordt de minimaal vereiste laagdikte voor steensorteringen van 60-300 kg en zwaardere gesteld op 1,5 D.

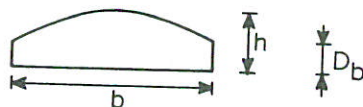
7.2 Uitvullaag tussen de pijlers

Om de ruimte tussen de negatieve overlap en de pijlervoet uit te vullen moet 250 ton per stortvak ($10 \times 28 \text{ m}^2$) worden aangebracht. Het gebied tussen de pijlers ($20 \times 50 \text{ m}^2$) is onderverdeeld in 4 stortvakken bepaald door de beunlengte van de steenstorter (28 m) en de afstand tussen de as van de negatieve overlap en de pijler 10 m. In het model werden drie stortmethoden beproefd. De resultaten hiervan zijn weergegeven op de figuren 8, 9 en 10.

1. Storten zonder verhalen: Hierbij ligt de as van het stort midden tussen de as van de negatieve overlap en de pijlervoet ($x = 5 \text{ m}$, zie figuur 8)
2. Storten met discreet verhalen: Bij deze stortmethode wordt de inhoud van één schip op drie verschillende plaatsen gestort. Tijdens het storten wordt niet verhaald. De afstanden (x) tussen de as van de negatieve overlap en de rand van het ship waarbij gestort werd, zijn weergegeven in de figuren 9 en 10.
3. Tijdens het storten continu verhalen (zie figuren 8, 9 en 10).

Uit de figuren 8, 9 en 10 blijkt dat de stortmethoden 2 en 3, waarbij de steenstorter respectievelijk discreet of continu wordt verhaald betere resultaten geeft dan de methode 1 waarbij de steenstorter niet wordt verhaald. Er bestaat wat stortresultaat betreft geen voorkeur tussen de stortmethoden waarbij continu of discreet wordt verhaald. Beide stortmethoden geven ook bij een stroomsnelheid van 1,0 m/s een goede aansluiting te zien van de uitvullaag op de grindworst en pijlervoet. De verschillen in de stortresultaten kunnen verklaard worden met behulp van de dwarsprofielen van individuele storten (zie figuur 7). Uit enkele proefstorten bleek dat de breedte van een stort onafhankelijk van de te storten hoeveelheid en de steendiameter circa 8 m bedroeg. De lengte van het stort bedroeg ongeveer 30 m (\approx de beunlengte van de steenstorter). Wel varieerde de hoogte van het stort van minimaal de steendiameter tot maximaal circa 2,8 m voor de steensortering 5-40 kg. De hoogte van het stort h kan worden benaderd met (zie figuur 7):

$$\frac{h + D}{2} b = \frac{\text{massa van het stort}}{(1-\epsilon)\rho_s \times l \times b}$$



waarin:

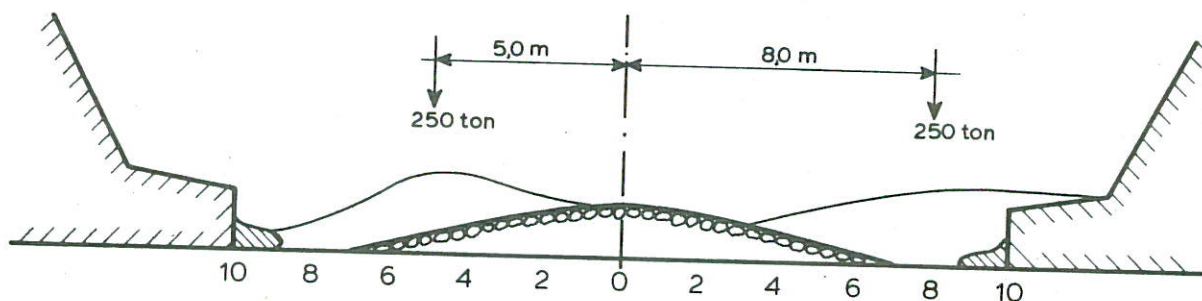
- h = hoogte van het stort (m)
- D_b = diameter van de steensortering (m)
- ϵ = poriëngehalte (-)
- ρ_s = dichtheid steensortering (kg/m^3)
- l = lengte van het stort ≈ 30 m (m)
- b = breedte van het stort $\approx 8,0$ m (m)

De hoogte van de individuele storten voor de uitvullaag 5-40 kg, $D_b = 0,21$ m zijn derhalve

massa (ton)	hoogte (m)
$\frac{1}{4} \times 250$	0,21
$\frac{1}{2} \times 250$	0,56
1×250	1,33

Met deze basisgegevens kunnen de verkregen stortresultaten voor de methode met en zonder verhalen worden verklaard.

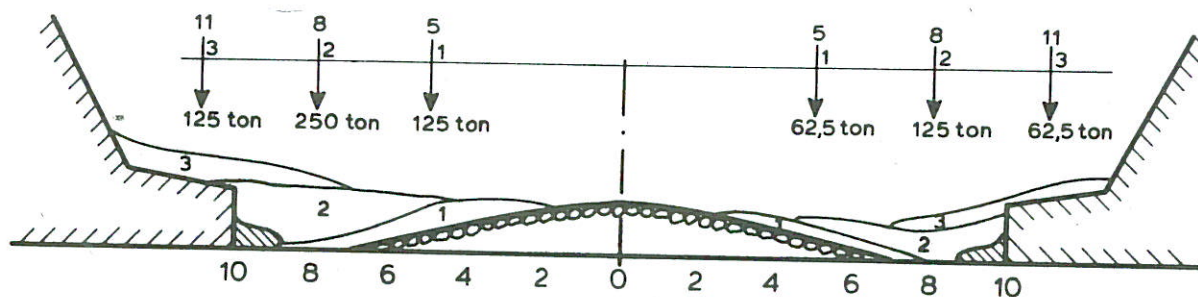
Uit de figuren 8, 9 en 10 blijkt dat door het storten in een aantal stappen (discreet verhalen) een vlakker stortprofiel ontstond dan bij het storten zonder verhalen met het hart van het stort op 5 m uit de negatieve overlap. Door de vorm van een individueel stort in het dwarsprofiel in te schetsen kan worden aangegeven dat bij het storten zonder verhalen de positie van de steenstorter niet optimaal is geweest (zie figuur A).



figuur A Storten zonder verhalen bij 2 verschillende posities van het stort-schip

Bij het storten zonder verhalen moet de rand van de steenstorter op 8 m uit de as van de negatieve overlap gepositioneerd worden.

Bij het storten met discreet verhalen onstaat volgens de superpositie van de individuele storten het dwarsprofiel van figuur B.

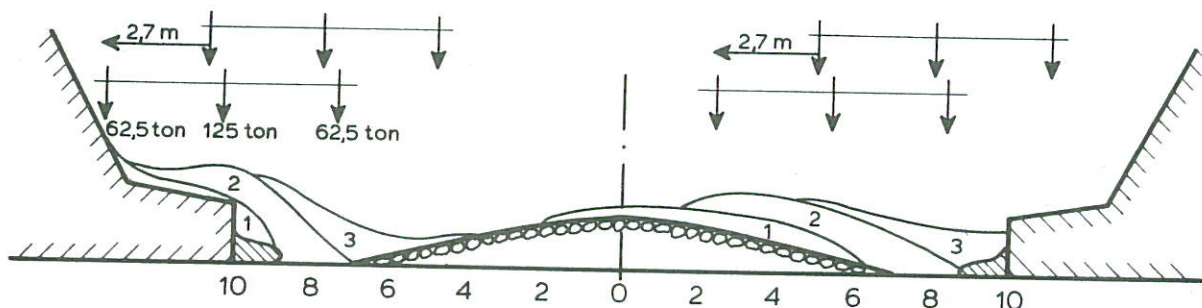


figuur B Storten met discreet verhalen met $x = 5-8-11$ m

Uit figuur B blijkt dat door het storten met discreet verhalen, waarbij de afstanden van de rand van de steenstorter ten opzichte van de negatieve overlap $x = 5, 8$ en 11 m bedragen, zowel bij een totale hoeveelheid van 500 ton als bij 250 ton een redelijk vlak stortprofiel kan worden verkregen. Het storten met continu verhalen, waarbij de rand van het schip (evenals bij het discreet verhalen) wordt verhaald van 5 naar 11 m en weer terug naar 5 m uit het hart van de negatieve overlap geeft hetzelfde resultaat als geschetst in figuur B.

Tengevolge van het storten bij een stroomsnelheid in punt Q van $0,5$ m/s ontstonden verschuivingen van het stortprofiel. In de langsrichting van de stroom verschuift het stortprofiel over een afstand van $7,5$ m, en in de breedterichting over een afstand ter grootte van de langverschuiving vermenigvuldigd met de tangens van de aanstroomhoek ($7,5 \text{ tg } 20^\circ = 2,7$ m).

Door rekening te houden met de verschuivingen van het stortprofiel tengevolge van de stroomsnelheid bij de positie van de steenstorter kan het stortresultaat worden verbeterd. Omdat de aanstroomhoek in de prototype-situatie moeilijk te bepalen is, is alleen een correctie in langsrichting praktisch uitvoerbaar. Uit figuur C blijkt echter dat als het stort $2,7$ m in dwarsrichting wordt verschoven, het stort nog goed aansluit bij de grindworst.



figuur C Vorm van het stort bij een dwarsverschuiving van 2,7 m (discreet verhalen)

Uit figuur 9 blijkt dat bij een stroomsnelheid in punt Q van 1,0 m/s het stort bovenstrooms niet meer goed aansluit bij de grindworst (stortnummers 029 en 030). Door toepassing van een langsverschuiving in bovenstroomse richting van circa 15 m zal het stortresultaat aanzienlijk verbeteren.

7.3 Uitvullaag buiten de pijlers

Uit de bovenaanzichten van de uitvullaag buiten de pijlers (figuren 11...15) blijkt dat de stroomsnelheid een belangrijke invloed heeft op het stortresultaat. Bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s en een waterdiepte van 29,5 m bedraagt de verschuiving van een stort 5-40 kg circa 7,5 m. In verband met scheve aanstroming moet bovendien rekening worden gehouden met een dwarsverschuiving ter grootte van de langsverschuiving vermenigvuldigd met de tangens van de aanstroomhoek (zie hoofdstuk 8.3). Vanwege het drie-dimensionale stroombeeld rondom de pijlers is met name de aansluiting van het stort aan de pijlervoet moeilijk te realiseren (zie figuren 11...14).

Uit figuur 11 en 13 blijkt, dat het niet mogelijk is een goede aansluiting van de uitvullaag aan de pijlervoet te verkrijgen indien de steenstorter aan de benedenstroomse zijde van de pijler is gepositioneerd. Een langsverschuiving in bovenstroomse richting is door de aanwezigheid van de pijlers niet mogelijk. Bij het storten van de uitvullaag buiten de pijlers moet de steenstorter dus aan de bovenstroomse zijde van de pijlers worden gepositioneerd. In de figuren 12 en 13 is duidelijk de verschuiving tengevolge van de stroomsnelheid van 0,5 m/s (stortnummers 070 en 071 en 1,0 m/s (stortnummers 045, 049, 050 en 072) te zien.

Bij het vaststellen van de langscorrectie voor de positie van de steenstorter moet rekening worden gehouden met de lagere stroomsnelheden vlak bij de pijlers. (zie figuren 14 en 15). Bij een langverschuiving van 7,5 m werd een goede aansluiting verkregen tussen de storten 127 en 129, 128 en 130 en 145 en 146, terwijl de storten 129, 130 en 146 niet goed aan de pijlervoet aansluiten. Ook benedenstreams van de pijlers sloten bij een langscorrectie van 7,5 m de storten 141 en 143, 142 en 144 en 147 en 154 goed aan elkaar aan (zie figuur 15).

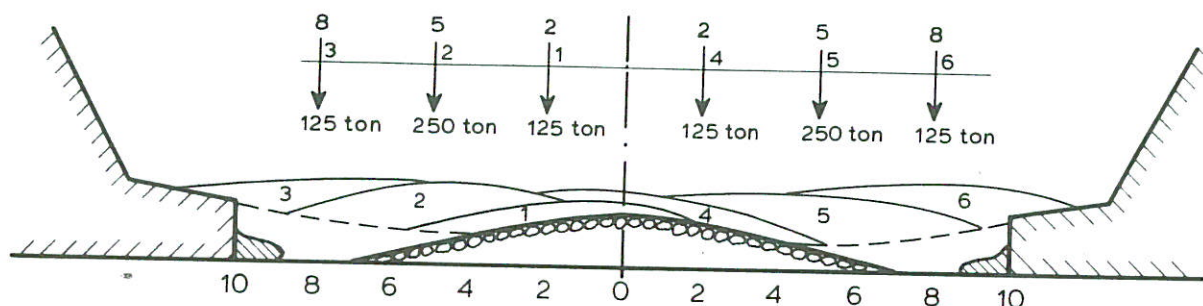
Uit de bovenaanzichten bleek dat onregelmatigheden vooral ontstonden aan het begin en eind van de storten. Een verdubbeling van de verhaalafstand (door bij gelijkblijvende schuifsnelheid de verhaalsnelheid te verdubbelen) gaf geen beter stortresultaat. De onregelmatigheden aan het begin en het eind van een stort werden niet gecorrigeerd.

Voor de uitvullaag tussen de pijlers is ook de minimum vereiste laagdikte van belang. Uit hoofdstuk 7.1 blijkt dat voor de steensortering 5-40 kg minimaal 2D vereist is voor een volledige afdekking van de onderlaag.

7.4 Afdeklaag negatieve overlap en uitvullaag (10-60 kg)

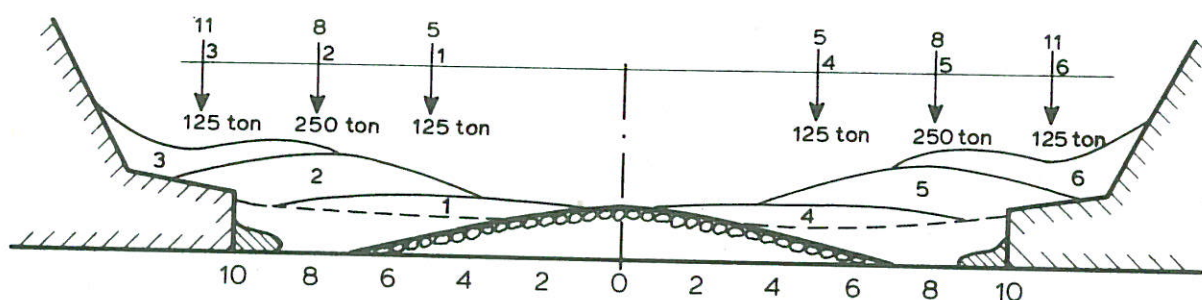
Bij het storten met een splijtbak wordt de inhoud van de splijtbak in een korte tijd (afhankelijk van de beunopening) als een grote massa (een wolk van stenen) geleegd. De snelheid waarmee deze wolk stenen de bodem treft kan hierbij circa 2 à 3 maal groter zijn dan de valsnelheid van een individuele steen [2]. Uit enkele proeven met de splijtbak bleek dat dit verplaatsing van stenen uit de uitvullaag en/of uit de negatieve overlap tot gevolg kan hebben, waardoor plaatselijk de filteropbouw kan worden verstoord.

Teneinde de negatieve overlap en de uitvullaag te beschermen wordt over de uitvullaag een extra laag (circa 1,1 m dik) van 500 ton per vak gestort met behulp van de steenstorter. Uitgaande van een stortmethode waarbij discreet wordt verhaald, heeft een stortschema 2-5-8 de voorkeur. De getallen geven de afstanden aan van de as van het stort tot aan het hart van de negatieve overlap waarop respectievelijk $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{4}$ van de inhoud van een halve steenstorter (500 ton) worden gestort. Met behulp van de dwarsprofielen voor een individueel stort geeft dit het volgende dwarsprofiel van deze afdeklaag.



figuur D Dwarsprofiel afdeklaag volgens schema 2-5-8 m

Een stortschema 5-8-11 zal op de negatieve overlap te weinig dekking geven, terwijl op de pijlers te veel stenen zullen vallen.



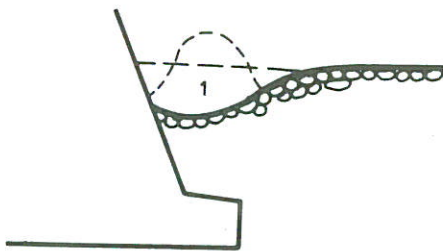
figuur E Dwarsprofiel afdeklaag volgens schema 5-8-11 m

Op de figuren 16 en 17 zijn de hoogteliggingen weergegeven na het storten van de uitvullaag en de afdeklaag. De gehanteerde stortschema's (posities steenstorter, verhaalafstand, en schuifsnelheid) en de randvoorwaarden zijn tevens op figuur 15 vermeld. Figuur 17 geeft enkele dwarsprofielen van de gestorte uitvullaag en afdeklaag weer. Bij de stortnummers 131...134 werd bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s en een waterdiepte van 29 m gestort volgens het schema 5-8-11. De steenstorter werd ten opzichte van de as van de stormvloedkering (E-E) 5,8 m in lengterichting verschoven. Uit figuur 17 (doorsnede D-D, E-E en F-F) blijkt dat met dit schema een onregelmatig beeld ontstaat. Op de negatieve overlap is de afdekking te weinig, terwijl tengevolge van de scheve aanstroming vooral bij pijler D (zie figuur 17) het stortprofiel te hoog uitvalt. Bij de stortnummers 135...140 werden nog andere stortschema's beproefd. Hieruit

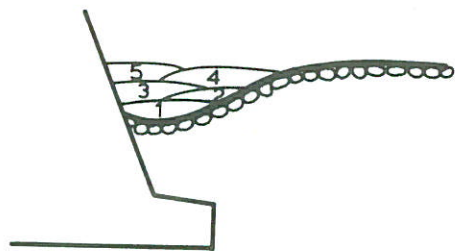
blijkt dat een stortschema 3,3-6,3-9,3 betere resultaten geeft dan 5-8-11. Op grond van figuur E wordt echter aan het stortschema 2-5-8 de voorkeur gegeven. Met dit stortschema kan zonder bezwaar bij een aanstroomsnelheid van 0,5 m/s gestort worden. De mogelijke dwarsverschuiving (= langverschuiving x tg aanstroomhoek = $7,5 \text{ tg } 20^\circ = 2,7 \text{ m}$) vermindert de dekking op de negatieve overlap niet. Bovendien is deze dwarsverschuiving in de benedenstroomse vakken (zie figuur 18) nog kleiner. In figuur 18 zijn de dwarsprofielen van de drempel weergegeven zoals die er uit zien na het storten van 250 ton volgens het schema 5-8-11 uitvullaag en daarna 500 ton volgens het schema 2-5-8. De storten bij een waterdiepte van 21,5 m (stortnummers 148...152) geven vrijwel dezelfde resultaten als de storten bij een waterdiepte van 29,5 m (zie figuur 15). Bovenstrooms is de invloed van de scheve aanstroming te zien. Bij elk dwarsprofiel is er echter een voldoende afdekking van de negatieve overlap aanwezig.

7.5 Afwerken drempelkern

Beproefd werd eventuele gaten in de drempelkern uit te vullen met behulp van de steenstorter. Uit deze proeven bleek dit mogelijk te zijn met behulp van in de lengterichting gedeeltelijk beladen steenstorters en door discreet te verhalen. Door midden boven het gat de inhoud van het gat te storten werden geen goede resultaten verkregen (zie onderstaande figuur).



uitvullen zonder verhalen



uitvullen met verhalen

De steenstorter moet over dezelfde lengte beladen worden als de lengte van het uit te vullen gat.

7.6 Afdeklaag drempelkern (60-300 kg)

Op de volgens stortschema II met de splijtbak gestorte drempelkern werd met de steenstorter de afdeklaag (60-300 kg) gestort. Voor een laagdikte van 0,8 m ($= 2 D_n$) is hiervoor nodig 1,32 ton/m. Met een laadcapaciteit van een half stortschip van 500 ton en een beunlengte van 28,0 m betekent dit dat er om de $500/(1,32 \times 28) = 13,6$ m gestort zou moeten worden om de vereiste laagdikte te verkrijgen wanneer het schip tijdens het storten niet zou worden verhaald. Uit hoofdstuk 7.2 blijkt echter dat de breedte van het stort circa 8 m bedraagt. bij niet verhalen. Bij het aanbrengen van de laag 60-300 kg moet dus continu of discreet worden verhaald. De verhaalafstand voor 2×500 ton bedraagt derhalve $2 \times 13,6 = 27,2$ m. Nadat was gebleken dat gedurende de eerste 3 minuten van het storten met een schuifsnelheid van 0,6 m/minuut weinig stenen overboord vielen, werd er gedurende deze periode niet verhaald. Daarna werd er over een afstand van 27,2 m verhaald met een verhaalsnelheid van 3,2 m/minuut. Uit de proeven blijkt dat er een goede dekking van de onderlaag wordt verkregen, en dat de onvlakheden van het drempeltalud niet worden verminderd of vergroot. De stenen rollen niet van het talud van de drempel af.

De proeven werden ook uitgevoerd bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s en 1,0 m/s, zonder een stroomcorrectie voor de positie van de steentorter uit te voeren (zie tabel 4). Uit de resultaten (zie foto's) bleek dat dit voor een stroomsnelheid van 0,5 m/s nog toelaatbaar is, maar dat bij een stroomsnelheid van 1,0 m/s wel gecorrigeerd moet worden.

Tussen de pijlers werd gestort met discreet verhalen. De afstand tussen de pijlers aan de bovenzijde van de drempelkern bedraagt circa 30 m. Dit betekent dat circa 2×500 ton per beunlengte moet worden gestort. De afstanden uit het hart van de negatieve overlap waarop 1/3 deel van 500 ton werd gestort bedroegen 2,5, 7,5 en 12,5 m. Met deze afstanden werd een goede dekking van de drempelkern verkregen. Indien gestort wordt bij stroomsnelheden van 0,5 m/s en 1,0 m/s was een langsverschuiving van respectievelijk 3 m en 6 m noodzakelijk.

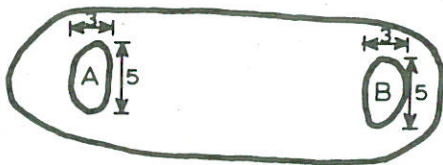
8. Resultaten proeven met de splijtbak

8.1 Invloed beunopening op het stortprofiel

Uit een aantal proefstorten bleek dat de vorm van een individueel stort sterk afhankelijk is van de opening van de beun en in mindere mate van de snelheid waarmee de beun geopend werd (zie figuren 19 en 20). Een grote beunopening geeft een breed en laag stortprofiel, een kleinere opening van de beun geeft een smaller en hoger stortprofiel. Bij een kleine beunopening (0,6 m) trad brugvorming op. Op grond van bovenstaande proeven werd gekozen voor een openingsgrootte van de beun van 1,2 m. De openingstijd werd ingesteld op 9,5 s, overeenkomstig gegevens van prototype-splijtbakken. De vorm van een individueel stort is van essentieel belang bij het ontwerpen van het stortschema. Het verdient daarom aanbeveling een prototype-proef uit te voeren, waarin het materiaal van de drempelkern gestort wordt en de vorm van het stortprofiel (breedte en hoogte) nauwkeurig wordt vastgelegd.

8.2 Beschadiging uitvullaag

Doordat de hoeveelheid stortmateriaal (sortering 10-60 kg) bij het storten met de splijtbak massaal de bodem treft, kunnen verplaatsingen optreden van de stenen 5-40 kg in de uitvullaag. In het model werd een laag 5-50 kg ($\Delta D = 0,22$ m) ter dikte van ca. $1,5 D$ op een ondergrond van zand ingebouwd. Met de ingestelde grootte van de opening van de beun van 1,20 m trad enige beschadiging op bij de uiteinden van het stort (gebieden A en B) bij een waterdiepte van 29 m. In de gebieden A en B waar de aantasting plaatsvond, was maximaal 1 laag verdwenen.



Het onderliggende zandbed werd echter niet aangetast. De aantasting van de uitvullaag werd niet gevonden bij stroomsnelheden van 0,5 m/s en 1,0 m/s. Bij een waterdiepte van 21,5 m werd ook bij het storten in stilstaand water geen aantasting gevonden.

8.3 Invloed stroomsnelheid

De invloed van de stroomsnelheid op de vorm en ligging van het stort is bij het storten met de splijtbak "dwars op stroom" anders dan bij het storten "kop op de stroom".

a. Dwars op stroom

Bij het storten "dwars op stroom" (d.w.z. de splijtbak ligt in de richting van de as vande stormvloedkering gesitueerd) bleek de vorm iets te veranderen door de stroomsnelheid (zie figuur 21). De aangestroomde zijde is iets steiler dan de lijzijde. Afhankelijk van de grootte van de stroomsnelheid verplaatst het zwaartepunt van het dwarsprofiel zich meer met de stroom mee (zie tabel paragraaf 3.2). De verplaatsing van het zwaartepunt varieert ook in de lengterichting van het stort. Aan de uiteinden is de directe invloed van de stroming op de verplaatsting van de stenen groter dan in het midden. De verplaatsing van het zwaartepunt van het gehele stort is ongeveer gelijk aan de verplaatsing van het door een steenstorter gestort stortprofiel. Deze resultaten stemmen overeen met het onderzoek naar het opstorten van de drempel in het wintersluitgat ten behoeve van een afsluitdam in de Oosterschelde (M1244) [3].

De invloed van de stroming rondom de pijlers bij "dwars op stroom" storten blijkt uit figuur 21. Aan de bovenstroomse zijde komt door de stroming een groot deel van de stenen in het gebied tussen de pijlers terecht. Aan de benedenstroomse zijde wordt door de stroming geen goede aansluiting verkregen van de storten aan de pijlervoet.

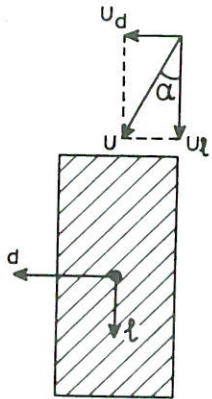
b. Kop op stroom

Van deze storten is minder duidelijk een significante vervorming waar te nemen. Wel treedt er een verschuiving van het zwaartepunt op. Deze verschuiving is echter een factor 1,5 à 3,0 kleiner dan de verschuiving bij het storten dwars op stroom.

De hoogteligging na 3 storten van 1000 ton tussen de pijlers bij verschillende aanstroomsnelheden en waterdiepten zijn weergegeven op figuur 22 (beunopening 0,8 m) en op figuur 23 (beunopening 1,2 m). Beide beunopeningen geven ongeveer hetzelfde stortresultaat. Aan de bovenstroomse zijde is de invloed van scheve aanstroming merkbaar bij een stroomsnelheid van 1,0 m/s. Bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s is deze invloed gering.

c. Scheve aanstroming

De invloed van scheve aanstroming kan in rekening worden gebracht door de stroomsnelheid te ontbinden in een component loodrecht op en evenwijdig aan de as van de splijtbak en voor deze componenten de verschuiving te berekenen, respectievelijk uitgaande van de situatie "kop op stroom" en "dwars op stroom".



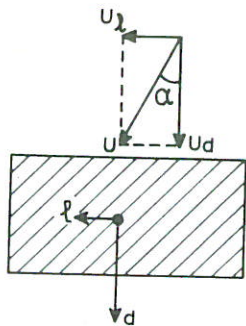
$$l_k = h_o \cdot \frac{C_l}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \cos \alpha$$

$$d_k = h_o \cdot \frac{C_d}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \sin \alpha$$

Voor dwars op stroom geldt $C_d \approx 0,83$; voor kop op stroom geldt $C_l \approx \frac{1}{3} C_d$. Uitgaande van een stroomsnelheid van 0,5 m/s, een waterdiepte van 29 m, een aanstroomhoek van 20° en een ΔD_b -waarde van 0,27 volgt voor de dwarsverschuiving $d_k = 2,65$ m en voor de langverschuiving $l_k \approx 2,4$ m.

Het is duidelijk verklaarbaar dat voor de situatie kop op stroom tussen de pijlers de dwarsverschuiving van dezelfde orde van grootte is als de langverschuiving. In verband met de richtende werking van de pijlers op de stroming zal de dwarsverschuiving in stroomrichting bezien steeds minder worden.

Bij het storten "dwars op stroom" bedraagt de verschuiving van het zwaartepunt in langs- en dwarsrichting:



$$l_d = h_o \cdot \frac{C_l}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \sin \alpha$$

$$d_d = h_o \cdot \frac{C_d}{\sqrt{\Delta g D_b}} \cdot U \cos \alpha$$

Uitgaande van een stroomsnelheid van 0,5 m/s, een waterdiepte van 29 m, een aanstroomhoek van 20° en een ΔD_b -waarde van 0,27 m volgt voor de langverschuiving $l_d = 0,9$ m en voor de dwarsverschuiving $d_d = 7,2$ m.

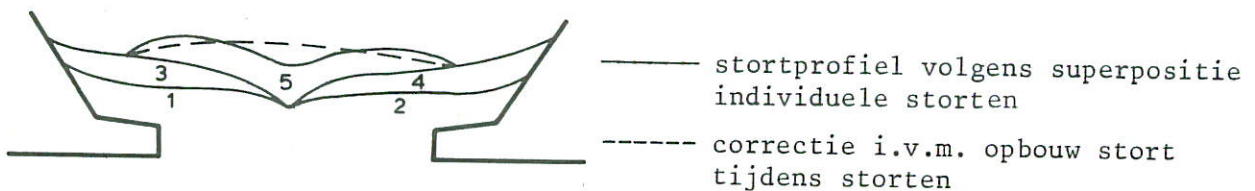
8.4 Invloed pijlerwanden

De pijlerwanden beperken als starre constructie het zijdelings wegrollen van de stenen. Op de video-beelden is te zien, dat de stenen nadat ze de bodem hebben getroffen, zijdelings uitwijken, tegen de pijlers "omhoogklimmen" en daarna langs de pijlerwand weer naar beneden rollen. Langs de pijlerwand zal aldus bij benadering een natuurlijk talud ontstaan.

8.5 Het storten van de drempelkern

8.5.1 Storten volgens stortschema's

Door de vorm van het individuele stortprofiel in te schetsen in het dwarsprofiel van de doorstroomopening kan, rekening houdend met de aanwezigheid van de pijlers, het stortprofiel goed voorspeld worden. Door dit stortprofiel weer als uitgangsgemetrie te nemen voor het volgende stort kan het gehele stortschema ontworpen worden. Bij deze superpositie methode moet rekening worden gehouden met de ontwikkeling van het stortprofiel tijdens het storten. Na het opentrekken van de splijtbak valt een grote hoeveelheid steen met een relatief grote snelheid naar beneden. Deze stenen wijken uit bij de bodem en vormen het profiel, afhankelijk van de geometrie van de ondergrond (zie paragraaf 8.4). De rest van de inhoud van de splijtbak valt met een relatief lagere snelheid naar beneden en wijkt veel minder uit. Er wordt een heuveltje gevormd waarlangs de stenen afrollen, zoals te zien is op de videobeelden. Dit geeft een verklaring voor het feit, dat bij de proeven onder de splijtbak vrijwel altijd een top van het stort aanwezig is.



Ook kunnen met deze "superpositie methode" de consequenties van het onjuist positioneren van de splijtbak op het uiteindelijke dwarsprofiel worden nagegaan.

8.5.2 Onderzochte stortschema's

In eerste instantie is uitgegaan van een stortschema, waarbij eerst een rug evenwijdig aan de as van de kering werd gestort. De posities van de splijtbak ten opzichte van de pijlervoet werden vastgesteld met behulp van de in fase 1 verkregen resultaten. Het bleek mogelijk te zijn de taluds van de drempelkern volgens de opgegeven waarden te storten. Nadat de taluds waren aangebracht, werd getracht de ruimte tussen de 2 ruggen en de pijlers op te vullen, uitgaande van de dwarsprofielen van de individuele storten volgens de figuren 24 en 25. Bij het opstellen van het stortschema I werd echter nog geen rekening gehouden met het langsprofiel van een individuele stort (bijvoorbeeld figuur 26). Het aantal storten werd vastgesteld aan de hand van het beschikbare volume tussen de pijlers en de twee gestorte ruggen.

Uit de proeven bleek echter dat 1 of 2 volledig beladen splijtbakken niet in te passen waren in de resterende ruimte tussen de beide ruggen, die de taluds van de drempelkern vormen (zie ook figuur 26).

Bij het opstellen van het stortschema moeten dus niet alleen de dwarsprofielen maar ook de langsprofielen van een individueel stort gesuperponeerd worden. Met deze ervaringen werd stortschema II samengesteld, waarbij het talud van de drempel en de ruimte tussen de pijlers gelijkmatig wordt aangebracht. De onderzochte stortschema's zijn weergegeven op de figuren 28 en 29.

8.5.3 Storten van de drempelkern volgens stortschema I

Volgens stortschema I (zie figuur 28) wordt eerst een rug evenwijdig aan de as van de kering gestort. In figuur 28 zijn de hartlijnen van de storten weergegeven. Het getal bij de lijn geeft de stortvolgorde weer (1.2 = 2e stort van de eerste laag). De afstand van de splijtbak tot aan de pijlervoet werd bepaald met de gegevens van de individuele storten. Aan de benedenstroomse zijde van de pijlers werd gestort met een aanstroomsnelheid van $u = 0$ m/s (stortnr's 1.1...1.6, 2.1...2.6 en 3.1, 3.2 en 3.3). Aan de bovenstroomse zijde van de pijlers werd gestort met een aanstroomsnelheid van 0,5 m/s (stortnr's 1.7...1.12, 2.7...2.12, 3.4, 3.5 en 3.6). Bij de positie van de splijtbak werd bij "dwars op stroom" rekening gehouden met een verschuiving van 7 m en bij "kop op stroom" met een verschuiving van 2,8 m ten gevolge van de stroomsnelheid van 0,5 m/s. Bovenstrooms van de pijlers werden extra storten (3.1...3.6) aangebracht. Daarna werd tussen de ruggen bij een stroomsnelheid van 1,0 m/s de drempelkern aangebracht (storten 4.1...4.16, 5.1...5.11 en 6.1...6.14).

Uit de figuren 26 en 29 blijkt dat met dit stortschema geen goede resultaten worden verkregen. Het storten van de ruggen gaf een goed stortresultaat, maar tussen de pijlers is de ruimte te gering om 2 storten die in elkaars verlengde liggen (bijvoorbeeld 4.1 en 4.2) uit te voeren. Of het profiel boven de ruggen wordt te hoog (tussen de pijlers A en B en D en E, zie ook figuur 26), of het profiel tussen de pijlers onder de dorpelbalk wordt te hoog (tussen de pijlers B en C en C en D, zie figuur 29). Zonder met half gevulde splijtbakken te werken is het dus niet goed mogelijk om eerst de ruggen te storten en daarna de ruimte tussen deze ruggen op te vullen.

8.5.4 Storten van de drempelkern volgens stortschema II

Stortschema II (zie figuur 30) werd samengesteld door met behulp van de superpositie van individuele storten de optimale stortvolgorde en stortposities vast te stellen. Het te verwachten stortprofiel is weergegeven op figuur 27. Laag 1 werd alleen boven- en benedenstrooms van de pijlers gestort. Tussen de pijlers is de benodigde hoeveelheid reeds aanwezig door het storten van de afdeklaag van de uitvullaag. Laag 2 was een doorgaande rug evenwijdig aan de as van de kering op 12 m afstand van de pijlervoet. Daarna werden tussen de pijlers de lagen 3, 4 en 5 aangebracht volgens het stortschema 6-9-0. Voor het te verwachten resultaat wordt verwezen naar de figuren 24 en 25.

In verband met een mogelijke dwarsverschuiving tengevolge van de stroomsnelheid werden tussen de pijlers C en D de storten 2 m in dwarsrichting verschoven. Ook in langsrichting werden de storten in verband met de stroomsnelheid verschoven (2,5 m bij $\bar{u} = 0,5$ m/s, pijlers A en B en 5,0 m bij $\bar{u} = 1,0$ m/s pijlers B en C en C en D). Daarna werden aan de bovenstroomse zijde voor de pijlers de lagen 5 en 6 aangebracht: voor pijler B 2x500 ton (storten 5.9 en 5.10) op afstanden van 15 en 11 m uit de pijlervoet, en 2x500 ton (storten 6.1 en 6.2) op afstanden van 11 en 9 m uit de pijlervoet. Hierbij werd dus rekening gehouden met een dwarsverschuiving van 7 m bij een stroomsnelheid van 0,5 m uit de pijlervoet (stort 5.11) en daarna 2x500 ton (storten 6.3 en 6.4) op 11 en 9 m uit de pijlervoet. Het te verwachten profiel voor pijler C is weergegeven op figuur 27. Voor pijler D werd 1000 ton gestort op een afstand van 9 m (stort 5.12) en 2x500 ton (storten 6.5 en 6.6) op een afstand van 11 m uit de pijlervoet. Aan de Oosterscheldezijde werd alleen laag 6 aangebracht bij stilstaand water. Gestort werd voor pijler B 1000 ton, voor pijler C 2x500 ton en voor pijler D 3x500 ton op 2 m afstand uit de pijlervoet. Het beste resultaat werd verkregen voor pijler C (2x500 ton), zie figuur 31.

LITERATUUR

1. Anonymous, 1957
Subcommittee on sedimentation, Luter-Agency, Committee on Water Res.
Rep. no. 12, Minneapolis, Minnesota
2. Waterloopkundig Laboratorium
Storten van grind in stromend water,
Verslag modelonderzoek M598-IV, maart 1960
3. Waterloopkundig Laboratorium
Afsluiting Oosterschelde, Opbouw drempel in wintersluitgat
Verslag modelonderzoek M1244, augustus 1983
4. Waterloopkundig Laboratorium
Stormvloedkering Oosterschelde, Stabiliteit en vlakheid van een met behulp
van een stortschip gestorte toplaag van de drempel.
Interim-verslag modelonderzoek, M1451-5, december 1980.

stort- proef	stort- vak *)	fotonr.	kleur	stortschip			stroomsnel- heid (m/s)	water- diepte (m)
				schuifsnel- heid (m/min)	verhaal- snelheid (m/min)	verhaal- afstand (m)		
1	16	3,5	geel	0,2			1,0	29
2	15	3,5	rood	0,2			1,0	29
3	14	3,5	blauw	0,2			1,0	29
4	13	3,5	wit	0,2			1,0	29
5	4	8	geel	0,2			0	29
6	3	8	rood	0,2			0	29
7	2	8	blauw	0,2			0	29
8	1	8	wit	0,2			0	29
9	8	7	geel	0,2			0,5	29
10	7	7	rood	0,2			0,5	29
11	6	7	blauw	0,2			0,5	29
12	5	7	wit	0,2			0,5	29
13	11	4,6	rood	0,2	1,3	24	0,5	29
14	12	4	geel	0,2	1,3	24	0,5	29
15	9	4	wit	0,2	1,3	24	0,5	29
16	10	4	blauw	0,2	1,3	24	0,5	29
17	C	10,12	zwart	0,2	3	90	0,5	29
18	B	9,12	blauw	0,2	6	180	0,5	29
19	D	11,12	wit	0,7	6	60	0,5	29
20	B*	9,12	wit	0,55	6	60	0,5	29
21	C*	10,12	wit	0,55	12	150	0,5	29
22	D*	11,12	rood	0,55	6	75	0	29
23	G	16	zwart	0,6	12	150	0,5	29
24	E	13,14	geel	0,6	6	75	0,5	29
25	F	15,16	rood	0,6	6	75	1,0	29
26	G*	16	wit	0,6	12	150	0	29
27	F*	15,16	geel	0,6	6	75	0	29
28	E*	13,14	blauw	0,6	6	150	0	29
29	16	17	rood	0,5	1,7	12	1,0	29
30	15	17	geel	0,5	1,7	12	1,0	29
31	12	18	wit	0,5	discr.	6	1,0	29
32	11	18	blauw	0,5	discr.	6	1,0	29
33	14	17	blauw	0,5	1,7	12	1,0	29

Tabel 1 Overzicht verrichte proeven fase 1 met de steenstorter

*) zie figuur 1

stort- proef	stort- vak *)	fotonr.	kleur	stortschip			stroomsnel- heid (m/s)	water- diepte (m)
				schuifsnel- heid (m/min)	verhaal- snelheid (m/min)	verhaal- afstand (m)		
34	13	17	wit	0,5	1,7	12	1,0	29
35	10	18	rood	0,5	discr.	6	1,0	29
36	9	18	geel	0,5	discr.	6	1,0	29
37	7	19	geel	0,5	discr.	6	0,5	29
38	8	19	rood	0,5	discr.	6	0,5	29
39	6	19	wit	0,5	discr.	6	0,5	29
40	5	19	blauw	0,5	discr.	6	0,5	29
41	1	20	wit	0,5	discr.	6	0	29
42	2	20	blauw	0,5	1,7	12	0	29
43	3	20	geel	0,5	1,7	12	0	21,5
44	4	20	rood	0,5	discr.	6	0	21,5
45	D	22	zwart	0,6	12	150	1,0	21,5
46	D	22	wit	0,6	12	150	0	21,5
47	C	23,24	blauw	0,6	12	150	0	29
48	B	24	rood	0,6	6	75	0	29
49	C	23,24	wit	0,6	12	150	1,0	29
50	B	24	zwart	0,6	6	75	1,0	29
51	E	25,26	geel	0,6	6	75	0,5	21,5
52	F	27	rood	0,6	12	150	0,5	21,5
53	G	28	geel	0,6	6	75	1,0	21,5
54	6	32	wit	0,5	discr.	6	1,0	21,5
55	5	32	blauw	0,5	discr.	6	1,0	21,5
56	8	32	geel	0,5	discr.	6	1,0	21,5
57	7	32	zwart	0,5	discr.	6	1,0	21,5
58	10	31	wit	0,5	1,7	12	1,0	21,5
59	9	31	blauw	0,5	1,7	12	1,0	21,5
60	12	31	geel	0,5	1,7	12	1,0	21,5
61	11	31	zwart	0,5	1,7	12	1,0	21,5
62	13	29,30	blauw	0,5	1,7	12	0,5	21,5
63	14	29,30	wit	0,5	1,7	12	0,5	21,5
64	15	29,30	zwart	0,5	1,7	12	0,5	21,5
65	16	29,30	geel	0,5	1,7	12	0,5	21,5
66	1	35	blauw	0,5	discr.	6	0,5	21,5

Tabel 1 Overzicht verrichte proeven fase 1 met de steenstorter (vervolg)

*) zie figuur 1

stort- proef	stort- vak *)	fotonr.	kleur	stortschip			stroomsnel- heid (m/s)	water- diepte (m)
				schuifsnel- heid (m/min)	verhaal- snelheid (m/min)	verhaal- afstand (m)		
67	2	35	wit	0,5	discr.	6	0,5	21,5
68	3	36	zwart	0,5	discr.	6	0,5	21,5
69	4	36	geel	0,5	discr.	6	0,5	21,5
70	B	35,36	wit	0,6	6	75	0,5	21,5
71	C	34,35	rood	0,6	12	250	0,5	21,5
72	D	33,34	blauw	0,6	6	75	1.0	21,5
73	A	36	wit	0,5	0	0	0	21,5

Tabel 1 Overzicht verrichte proeven fase I met de steenstorter (vervolg)

*) zie figuur 1

proef- nummer	stort- vak *)	foto nummer	kleur	gestorte hoeveelheid (ton)	openings- grootte (m)	stroom snelheid	water diepte
74	1	40,44	blauw	1000	1,2	0	29,0
75	2	40,44	ro/gr/zw	1000	1,2	0	29,0
76	2	40,44	groen	1000	1,2	0	29,0
77	2	40,44	zwart	1000	1,2	0	29,0
78	3	46,42	rood	1000	1,2	1,0	29,0
79	3	46,42	blauw	1000	1,2	1,0	29,0
80	3	46,42	groen	1000	1,2	1,0	29,0
81	4	42,46	rood	1000	1,2	1,0	29,0
82	4	42,46	blauw	1000	1,2	1,0	29,0
83	4	42,46	zwart	1000	1,2	1,0	29,0
84	5	45	groen	1000	1,2	0,5	29,0
85	5	45	zwart	1000	1,2	0,5	29,0
86	5	45	rood	1000	1,2	0,5	29,0
87	6	41,45	groen	1000	1,2	0,5	29,0
88	6	41,45	zwart	1000	1,2	0,5	29,0
89	6	41,45	blauw	1000	1,2	0,5	29,0
90	7	47,48	zwart	1000	1,2	0	21,5
91	8	43	groen	1000	1,2	0	21,5
92	8	43	rood	1000	1,2	0	21,5
93	8	43	blauw	1000	1,2	0	21,5
94	3	51,54	blauw	1000	1,2	1,0	21,5
95	3	51,54	blauw	1000	1,2	1,0	21,5
96	3	51,54	blauw	1000	1,2	1,0	21,5
97	4	51,54	rood	1000	1,2	1,0	21,5
98	4	51,54	rood	1000	1,2	1,0	21,5
99	4	51,54	rood	1000	1,2	1,0	21,5
100	5	50,55	blauw	1000	1,2	0,5	21,5
101	5	50,55	blauw	1000	1,2	0,5	21,5
102	5	50,55	blauw	1000	1,2	0,5	21,5
103	6	50,55	rood	1000	1,2	0,5	21,5
104	6	50,55	rood	1000	1,2	0,5	21,5
105	6	50,55	rood	1000	1,2	0,5	21,5
106	7	49,56	zwart	1000	0,8	1,0	29,0
107	7	49,56	zwart	1000	0,8	1,0	29,0

Tabel 2 Overzicht verrichte proeven fase 1 met de splijtbak

*) zie figuur 1

proef- nummer	stort- vak *)	foto- nummer	kleur	gestorte hoeveelheid (ton)	openings- grootte (m)	afstand t.o.v. pijlervoet	stroom- snelheid	water- diepte
108	7	49,56	zwart	1000	0,8		1,0	29,0
109	8	49,56	groen	1000	0,8		1,0	29,0
110	8	49,56	groen	1000	0,8		1,0	29,0
111	8	49,56	groen	1000	0,8		1,0	29,0
112	2	52,53	rood	1000	0,8		0,5	29,0
113	2	52,53	rood	1000	0,8		0,5	29,0
114	2	52,53	rood	1000	0,8		0,5	29,0
115	1	52,53	zwart	1000	0,8		0,0	29,0
116	15	60	blauw	1000	1,2	8,8	0	29,0
117	16	59,60	groen	1000	1,2	8,8	0	29,0
118	10	64	zwart	1000	1,2	4,4	0	29,0
119	11	63	groen	1000	1,2	4,4	1,0	29,0
120	12	62	blauw	1000	1,2	4,4	1,0	29,0
121	17	60	zwart	1000	1,2	8,8	1,0	29,0
122	18	58	geel	1000	1,2	8,8	1,0	29,0
123	19	57,58	blauw	1000	1,2	8,8	0,5	29,0
124	20	57	groen	1000	1,2	8,8	0,5	29,0
125	13	61,62	groen	1000	1,2	4,4	0,5	29,0
126	14	61	zwart	1000	1,2	4,4	0,5	29,0

Tabel 2 Overzicht verrichte proeven fase 1 met de splijtbak (vervolg)

*) zie figuur 1

proef- nr.	stort- vak 1)	fotonr.	hoeveel- heid (ton)	stortschip			stroom- snelheid (m/s)	diepte (m)	kleur	dwarscorrectie (m)
				storten (m/min)	verhalen					
					m/min	afst. (m)				
127	B*	68,69	550	0,6	9	112,5	0,5	29	zwart	2)
128	C*	66,67	550	0,6	9	112,5	0,5	29	geel	-
129	V	68,69	550	0,6	9	112,5	0,5	29	wit	7,5 x tg 20°
130	C	66,67	550	0,6	9	112,5	0,5	29	zwart	7,5 x tg 20°
131	3	76,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	rood	-
132	4	76,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	rood	-
133	1	76,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	blauw	-
134	2	76,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	blauw	-
135	7	75,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	rood	5,8 x tg 20°
136	8	75,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	wit	5,8 x tg 20°
137	5	75,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	wit	5,8 x tg 20°
138	6	75,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	rood	5,8 x tg 20°
139	11	74,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	rood	5,8 x tg 20°
140	9	74,77	250	0,5	discr.	6	0,5	29	blauw	-
141	E*	69,70	550	0,6	9	112,5	0,5	29	blauw	7,5 x tg 20°
142	F*	70,71	550	0,6	9	112,5	0,5	29	blauw	7,5 x tg 20°
143	E	69,70	550	0,6	9	112,5	0	29	zwart	-
144	I	70,71	550	0,6	9	112,5	0	29	zwart	-
145	D*	65,66	550	0,6	9	112,5	0,5	21,5	blauw	5,7 x tg 20°
146	D	65,66	550	0,6	9	112,5	0,5	21,5	zwart	5,7 x tg 20°
147	G	74,72	550	0,6	9	112,5	0,5	21,5	zwart	-
148	12	74,77	250	0,5	discr.	6	0,5	21,5	rood	4,6 x tg 20°
149	10	74,77	250	0,5	discr.	6	0,5	21,5	rood	4,6 x tg 20°
150	15	73,77	250	0,5	discr.	6	0,5	21,5	rood	4,6 x tg 20°
151	16	73,77	250	0,5	discr.	6	0,5	21,5	zwart	4,6 x tg 20°
152	14	73,77	250	0,5	discr.	6	0,5	21,5	rood	4,6 x tg 20°
153	13	73,77	250	0,5	discr.	6	0,5	21,5	zwart	-
154	G	72	550	0,6	9	112,5	0	21,5	blauw	-

1) zie figuur 1

2) onregelmatig stort in verband met een defect aan de schuif

Tabel 3 Overzicht verrichte proeven afdeklaag negatieve overlap en uitvullaag (10-60 kg aangebracht met steenstorter)

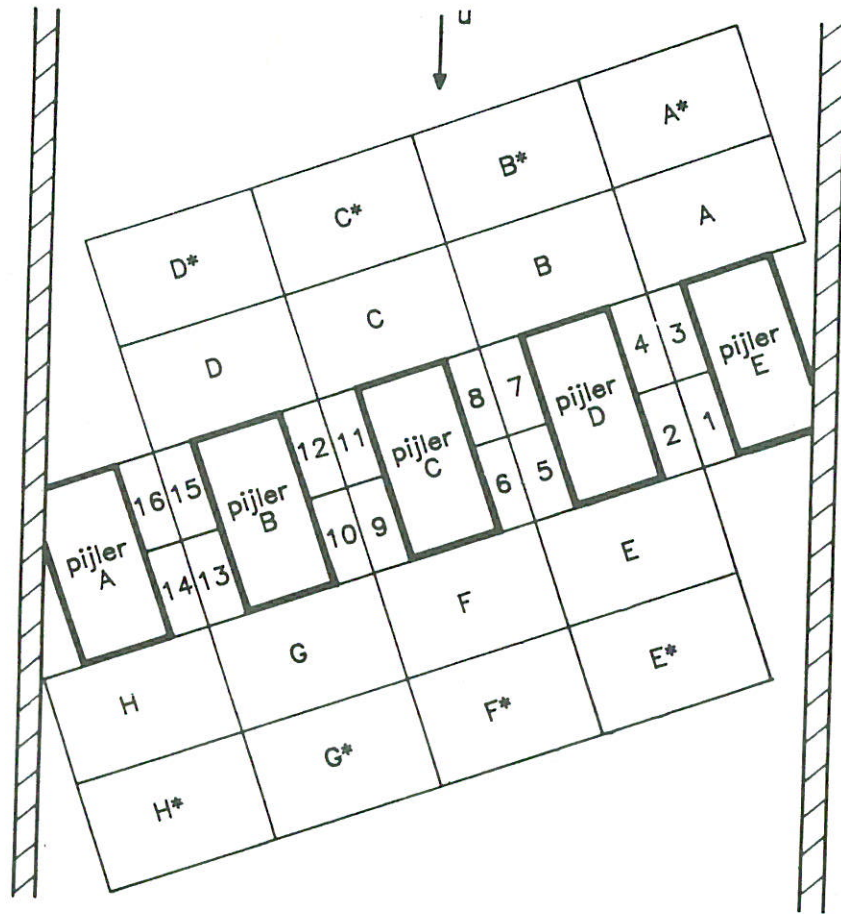
Afdeklaag 60-300 kg

stortvak pijler	fotonr.	gestorte hoeveelheid (ton)	verhaal afstand (m)	verhaal- snelheid m/min	stroom- snelheid m/s	stroom- correctie (m)
B→C (be)	122	4x500 ton	2x27,2	2,35	0	0
D (be)	123	2x500 ton	27,2	3,2	0	0
D→E (bo)	124	2x500 ton	27,2	3,2	0	0
D (bo)	125	2x500 ton	27,2	3,2	1,0	0
B→C (be)	126,127	4x500 ton	2x27,2	3,2	0,5	0
<u>Tussen de pijlers:</u>						
D-E	-	2x250 ton	discr.	30,0	0	0
D-E (bo)	124	2x500 ton	discr.	30,0	0	0
C-D (bo)	125	2x500 ton	discr.	30,0	1,0	0
B-C (bo)	126	2x500 ton	discr.	30,0	1,0	6
B-C (bo)	122	2x500 ton	discr.	30,0	1,0	6
A-B (bo)	127	2x500 ton	discr.	30,0	0,5	3
A-B (be)	121	2x500 ton	discr.	30,0	0,5	3

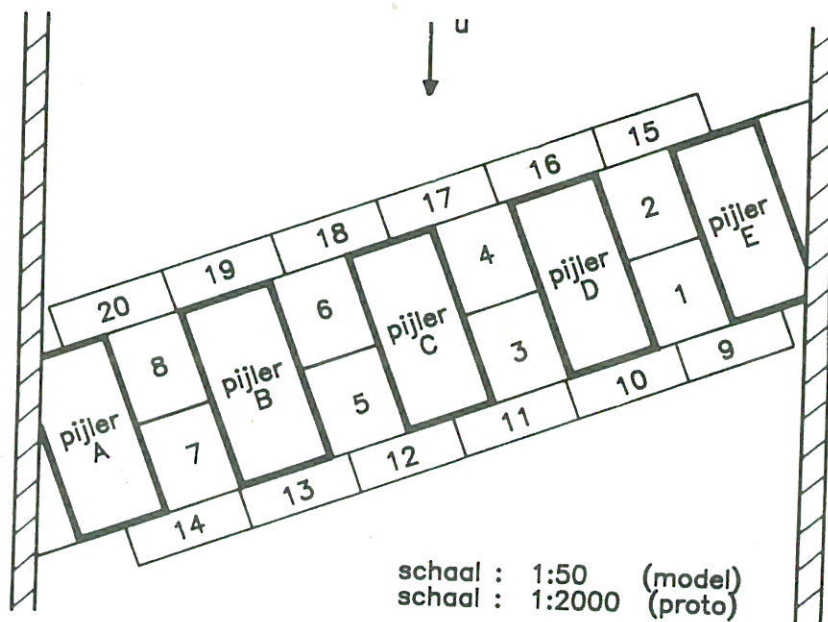
bo = bovenstrooms

be = benedenstrooms

Tabel 4 Overzicht verrichte proeven afdeklaag drempelkern
(60-300 kg aangebracht met de steenstorter)



BOVENAANZICHT STORTVAKKEN UITVULLAAG

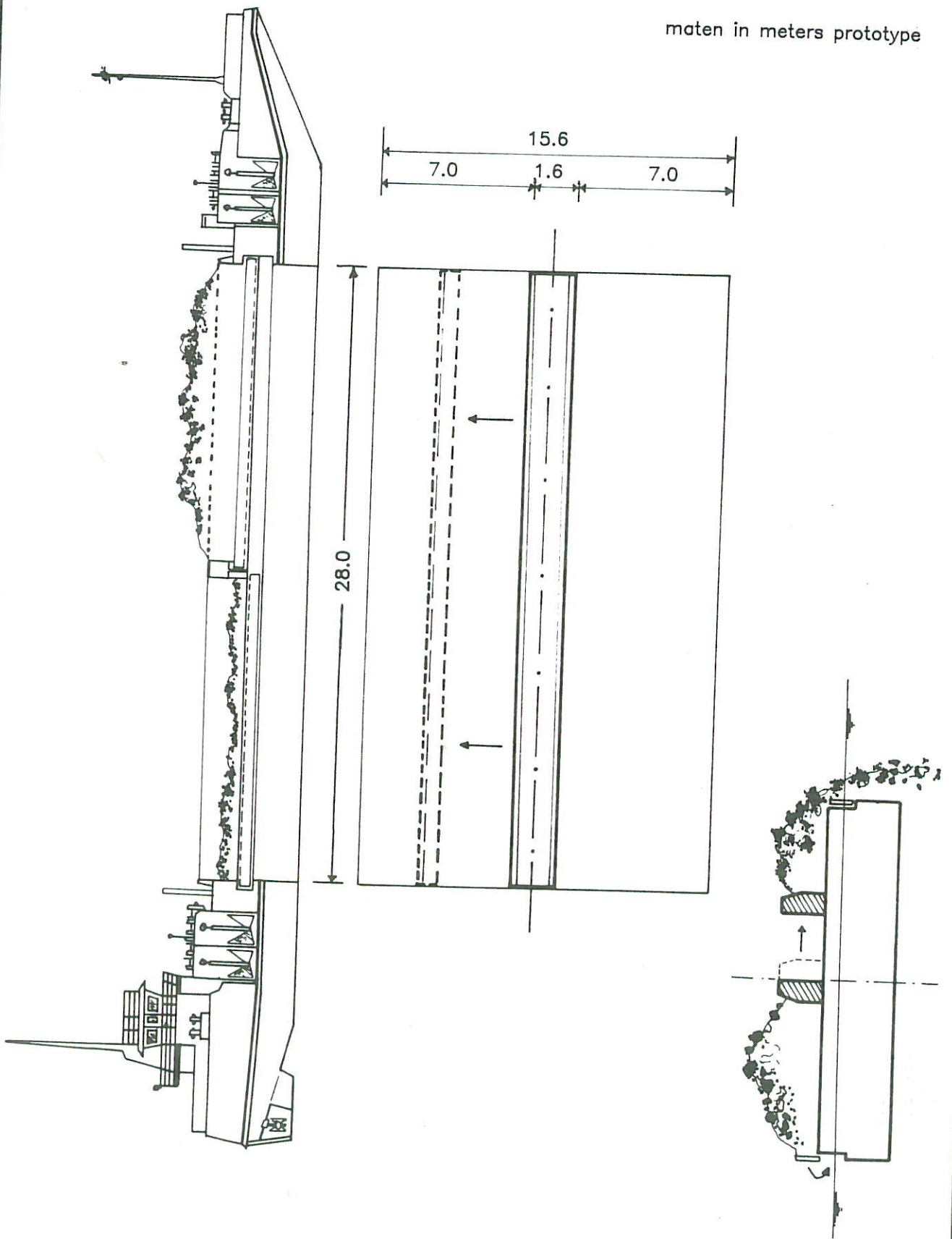


schaal : 1:50 (model)
 schaal : 1:2000 (proto)

BOVENAANZICHT STORTVAKKEN DREMPELKERN

INDELING STORTVAKKEN

maten in meters prototype



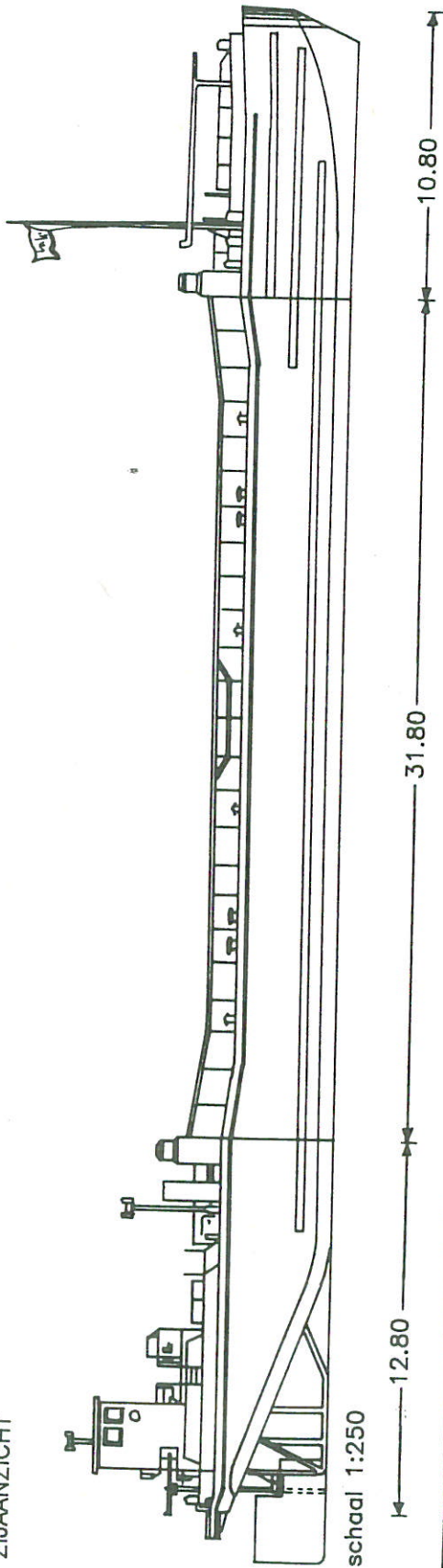
STEENSTORTER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

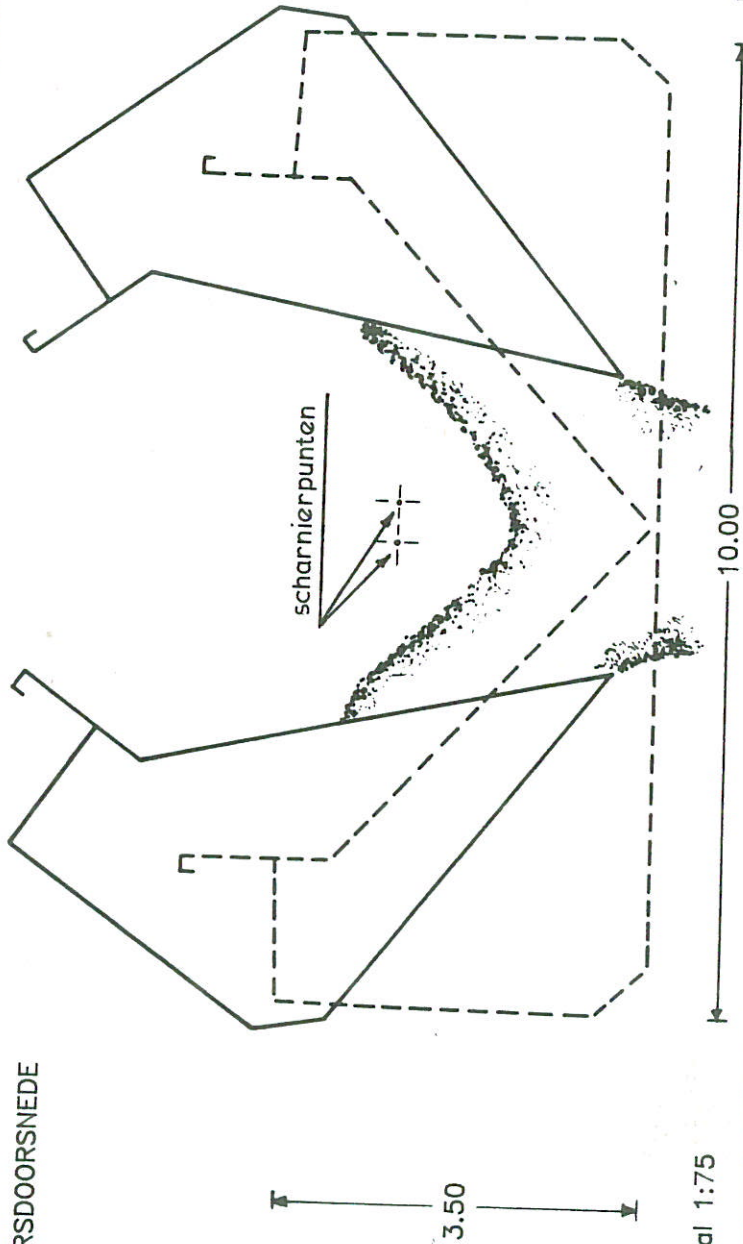
FIG. 2

ZIJAANZICHT



schaal 1:250

DWARSDOORSNEDE



schaal 1:75

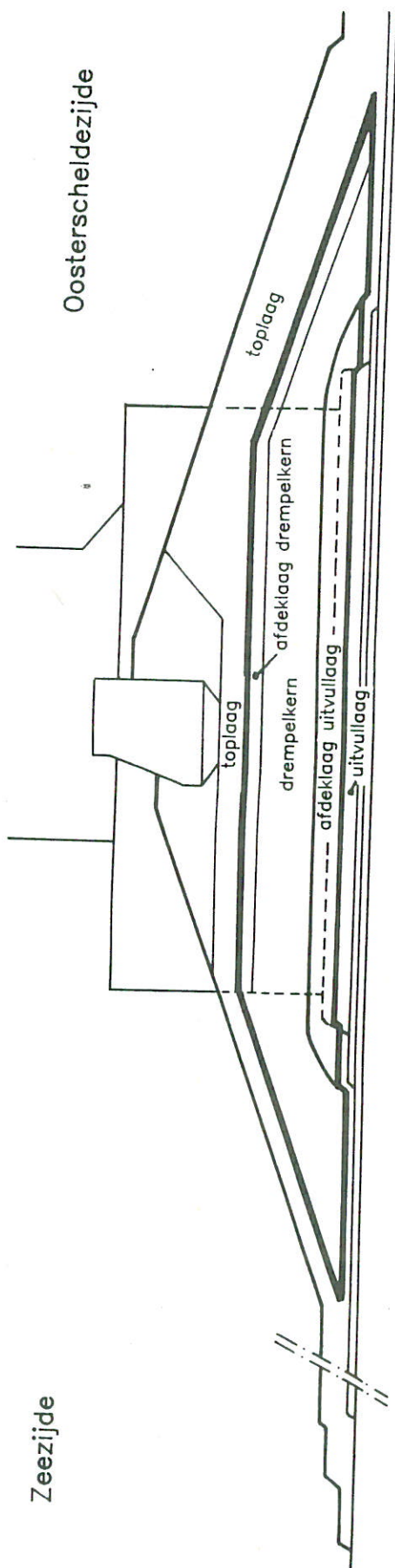
maten in meters prototype

SPLIJTBAK

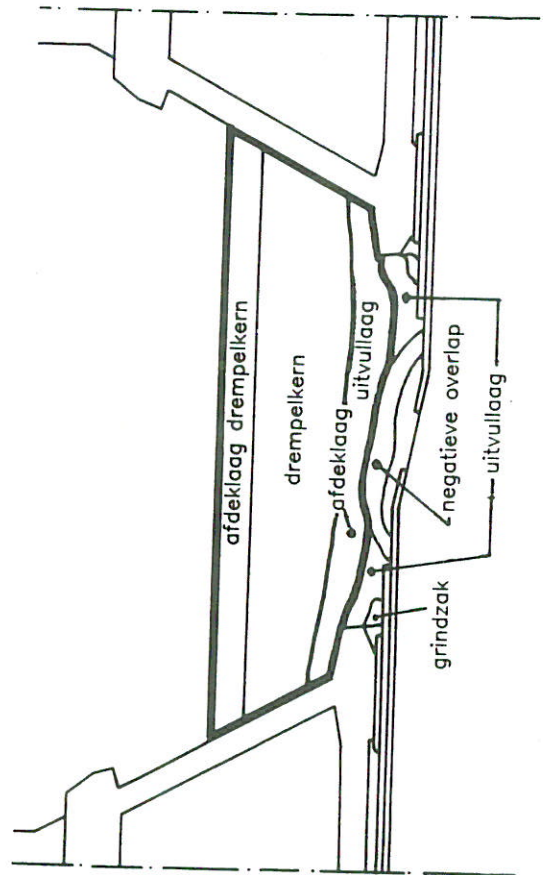
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 3



DWARSPROFIEL DREMPEL



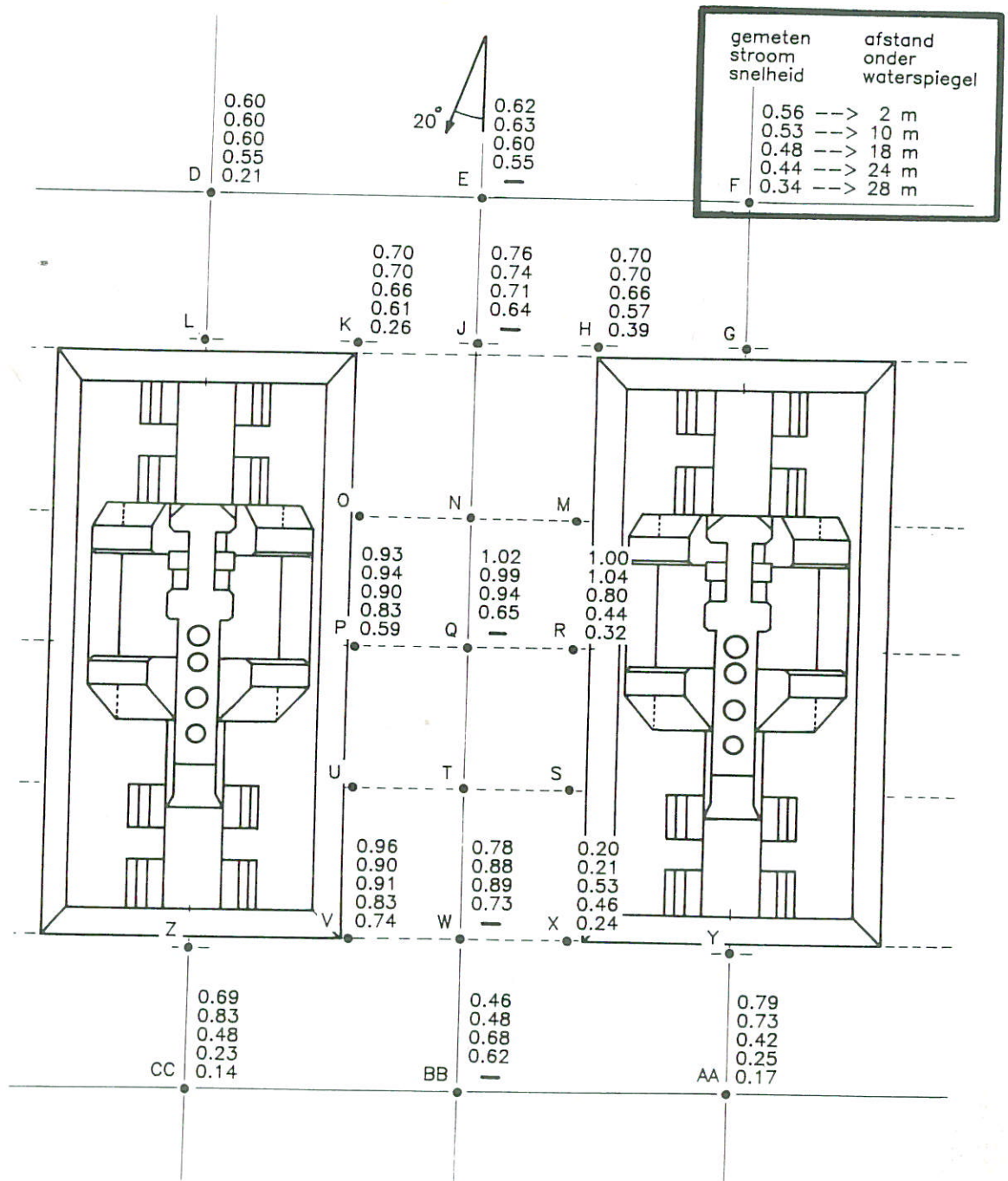
DWARSDOORSNEDE TUSSEN DE PIJLERS

DREMPELONTWERP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 4



STROOMSNELHEDEN RONDOM DE PIJLERS

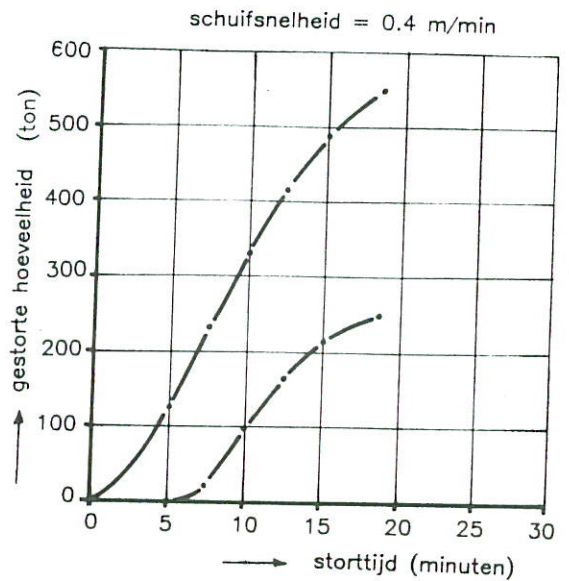
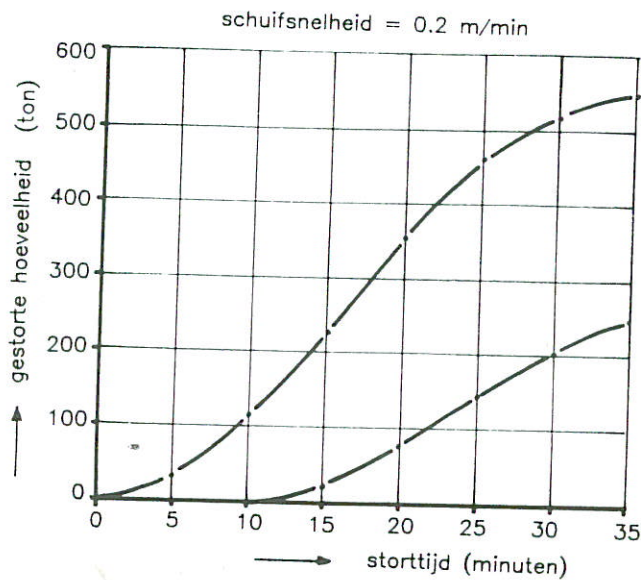
ho = 29.0 m aanstroomhoek = 20 gr.

aanstroomsnelheid = 0.5 m/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

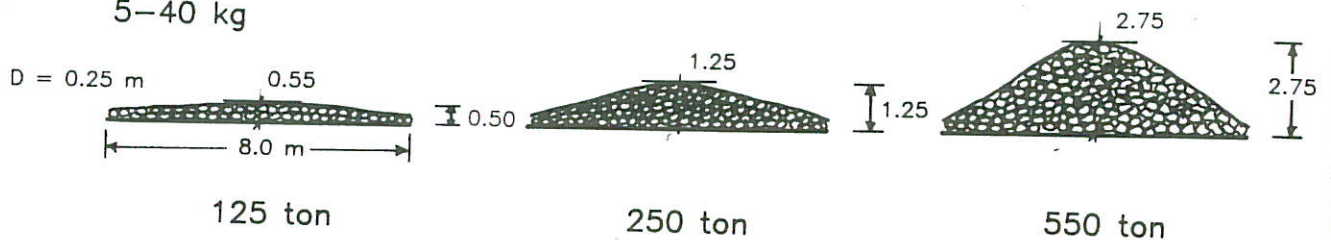
M 1768

FIG. 6

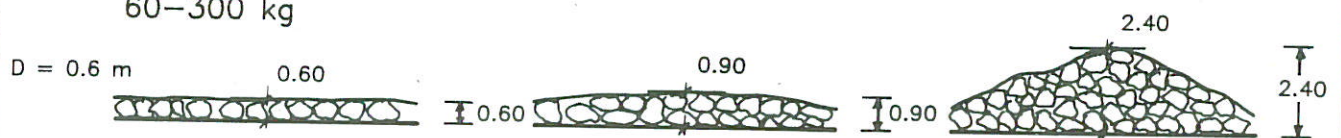


GESTORTE HOEVEELHEID ALS FUNCTIE VAN DE STORTTIJD

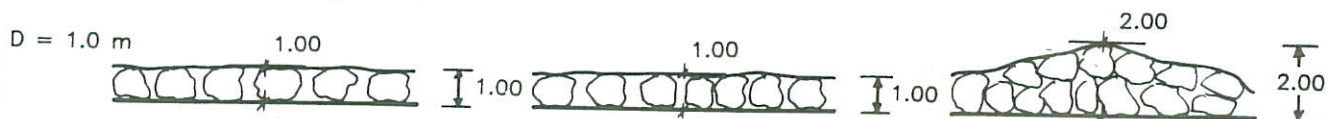
5-40 kg



60-300 kg



1000-3000 kg



DWARSPROFIELEN VAN EEN INDIVIDUEEL STORT ALS FUNCTIE VAN DE BELADINGSGRAAD

STORTKARAKTERISTIEKEN STEENSTORTER

STEENSTORTER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 7

nivo
 1 = 2.60 m
 2 = 2.40 m
 3 = 2.16 m
 4 = 2.00 m
 5 = 1.84 m
 6 = 1.40 m
 7 = 1.00 m

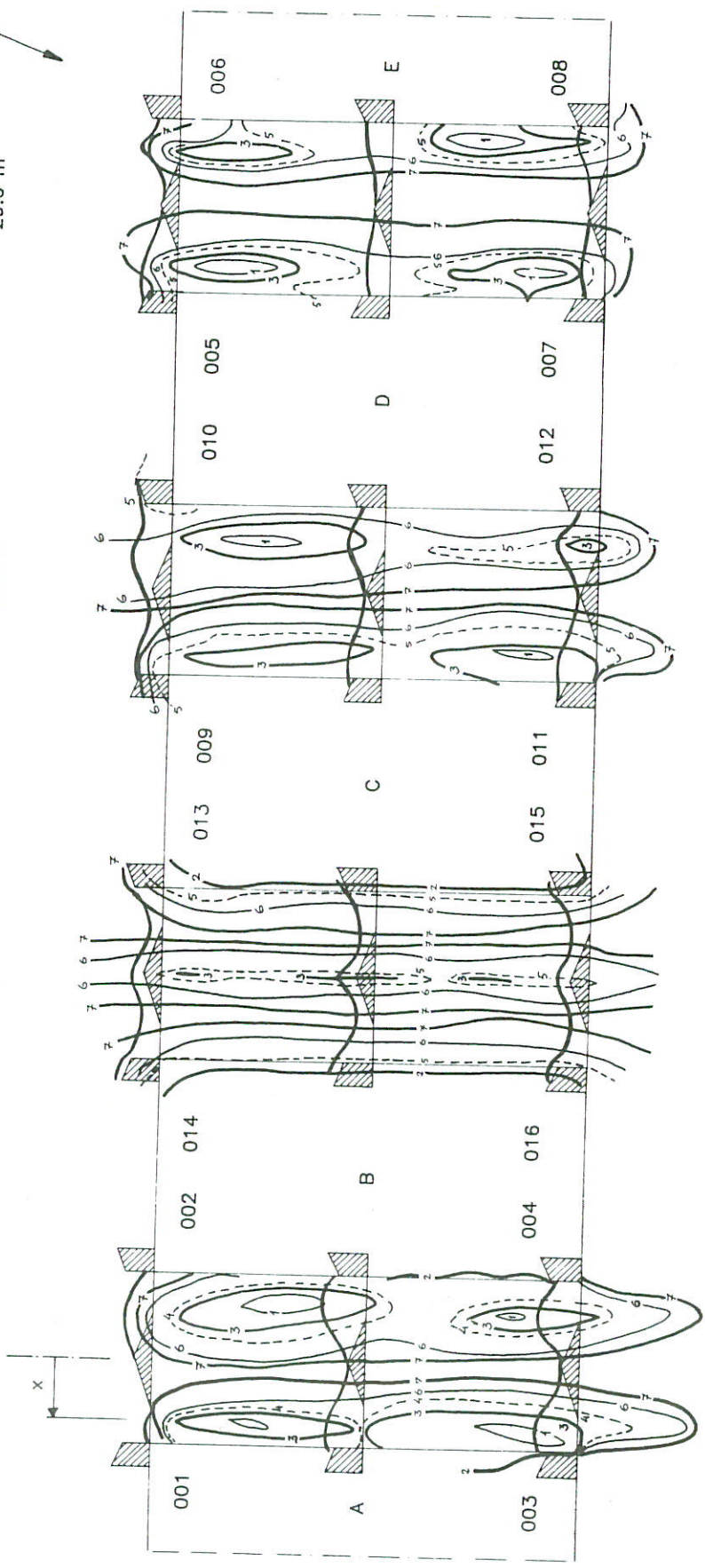
+
 t.o.v N.A.P. -29.0 m

$\bar{V} = 1.0 \text{ m/s}$
 $h = 29.0 \text{ m}$

+
 0.5 m/s
 29.0 m

+
 0.5 m/s
 29.0 m

+
 0 m/s
 29.0 m



niet verhalen
 $x = 5 \text{ m}$

continuu verhalen
 0-12-0 m

niet verhalen
 $x = 5 \text{ m}$

niet verhalen
 $x = 5 \text{ m}$

+
 verhaafafstand = 0 m
 verhaalsnelheid = 0 m/min
 schuifnelheid = 0.2 m/min

+
 24 m
 1.3 m/min
 0.2 m/min

+
 niet verhalen
 $x = 5 \text{ m}$

+
 0 m
 0 m/min
 0.2 m/min

+
 niet verhalen
 $x = 5 \text{ m}$

+
 0 m/s
 29.0 m

HOOGTELIJGINGEN VAN INDIVIDUELE STORTEN
 TUSSEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
 001...012

STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 8

nivo 1 = 3.24 m t.o.v N.A.P. -29.0 m
 2 = 2.44 m
 3 = 2.04 m
 4 = 1.64 m
 5 = 1.24 m
 6 = 0.84 m
 7 = 0.48 m

+

$\bar{V} = 1.0$ m/s
 $h = 29.0$ m

+

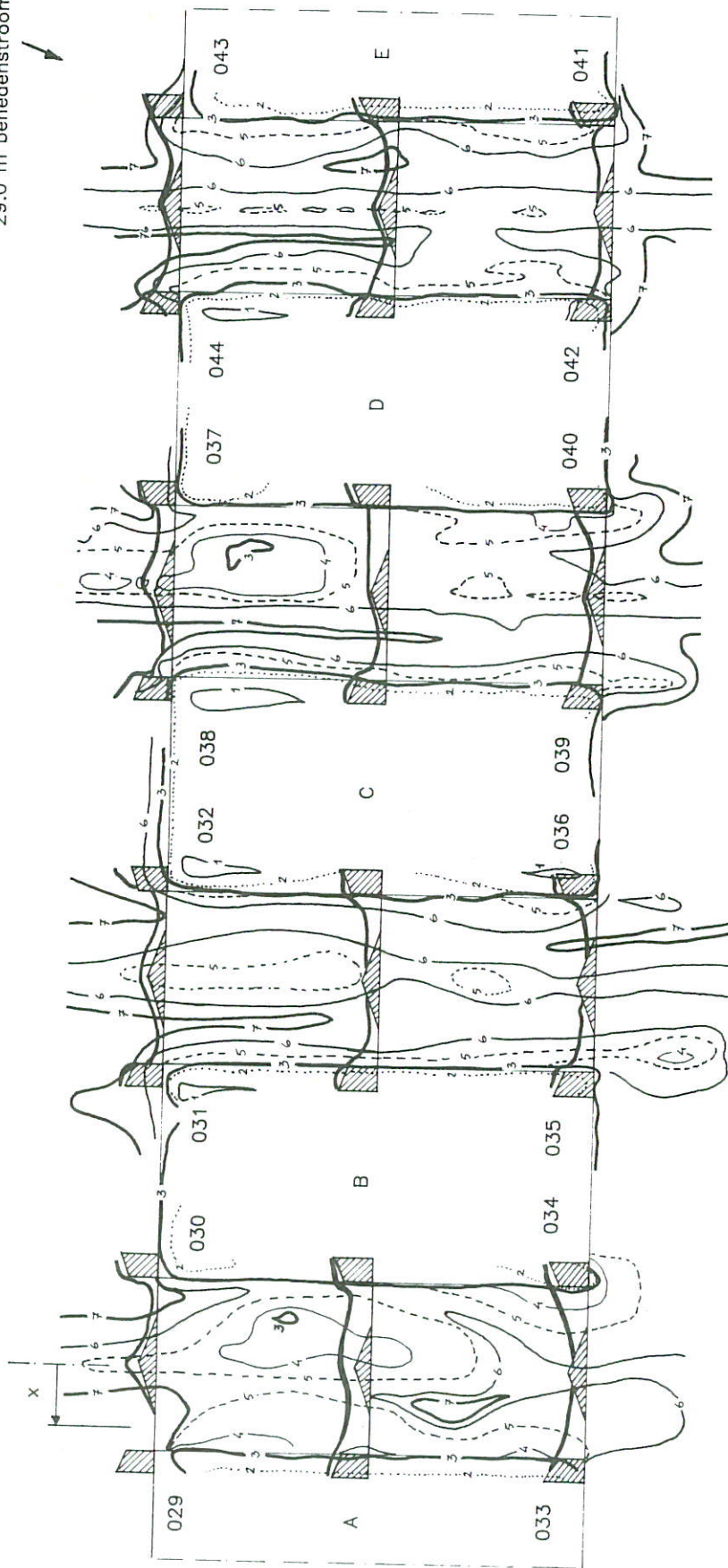
1.0 m/s
 29.0 m

+

0.5 m/s
 29.0 m

+

0 m/s
 21.5 m bovenstrooms
 29.0 m benedenstrooms



verhalen

$x = 5-11-5$ m

+

verhaalafstand = 12 m
 verhaalsnelheid = 1.7 m/min
 schuifnelheid = 0.5 m/min

discreet verhalen

5, 8, 11 m

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

discreet verhalen

5, 8, 11 m

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

discreet verhalen

5, 8, 11 m

verhalen

5-11-5 m

+

6 m
 0 m/min
 0 m/min

discreet

041 - 044

verhalen

042 - 043

HOOGTELIJGINGEN VAN INDIVIDUELE STORTEN
 TUSSEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
 029...044

STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 9

nivo
 1 = 3.76 m t.o.v N.A.P. -21.5 m
 2 = 2.96 m
 3 = 2.16 m
 4 = 1.76 m
 5 = 1.36 m
 6 = 0.96 m
 7 = 0.56 m

+

$\bar{V} = 0.5 \text{ m/s}$
 $h = 21.5 \text{ m}$

+

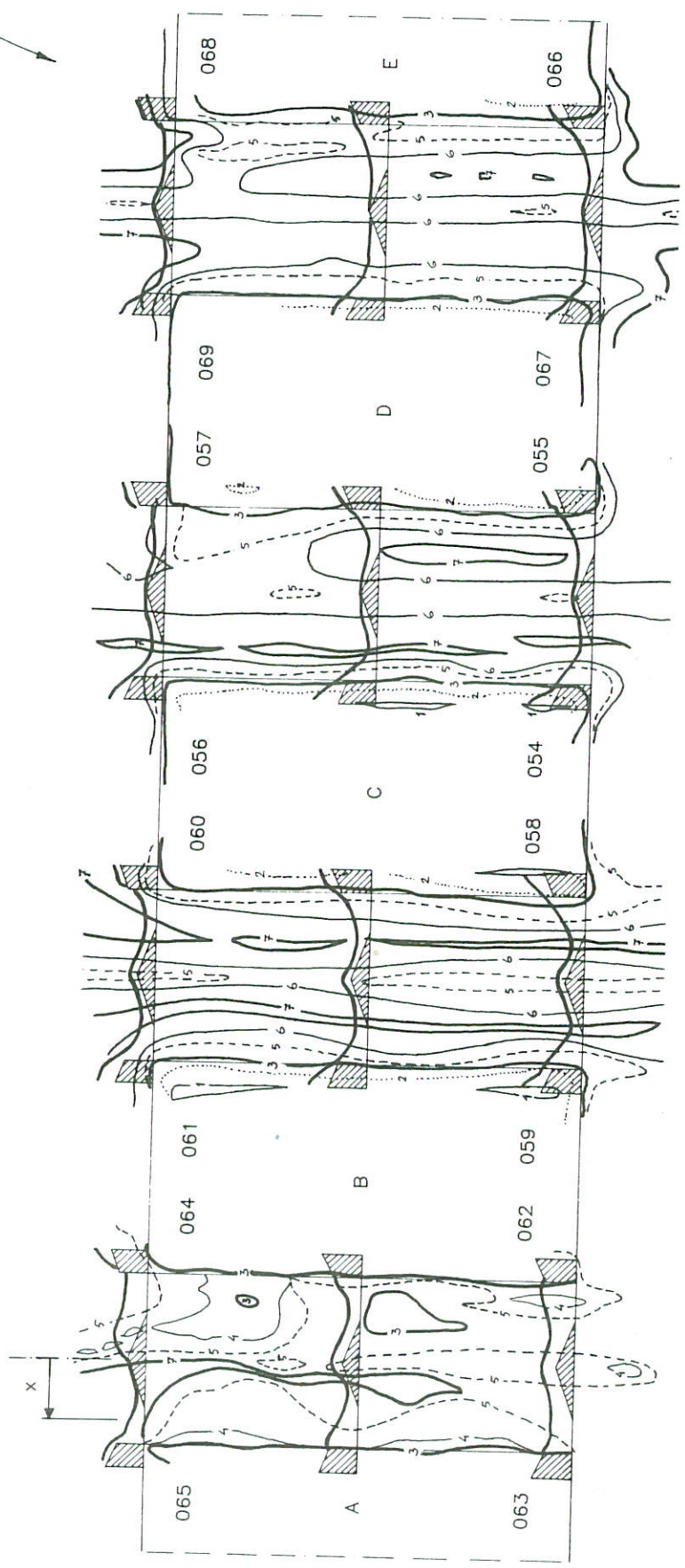
1.0 m/s
 21.5 m

+

1.0 m/s
 21.5 m

+

0.5 m/s
 21.5 m



verhalen
 $x = 5-11-5 \text{ m}$

+

verhaafafstand = 12 m
 verhaafsnelheid = 1.7 m/min
 schuifsnelheid = 0.5 m/min

verhalen
 $5-11-5 \text{ m}$

+

12 m
 1.7 m/min
 0.5 m/min

discreet verhalen
 $5, 8, 11 \text{ m}$

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

discreet verhalen
 $5, 8, 11 \text{ m}$

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

HOOGTELIJINGEN VAN INDIVIDUELE STORTEN
 TUSSEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
 054...069

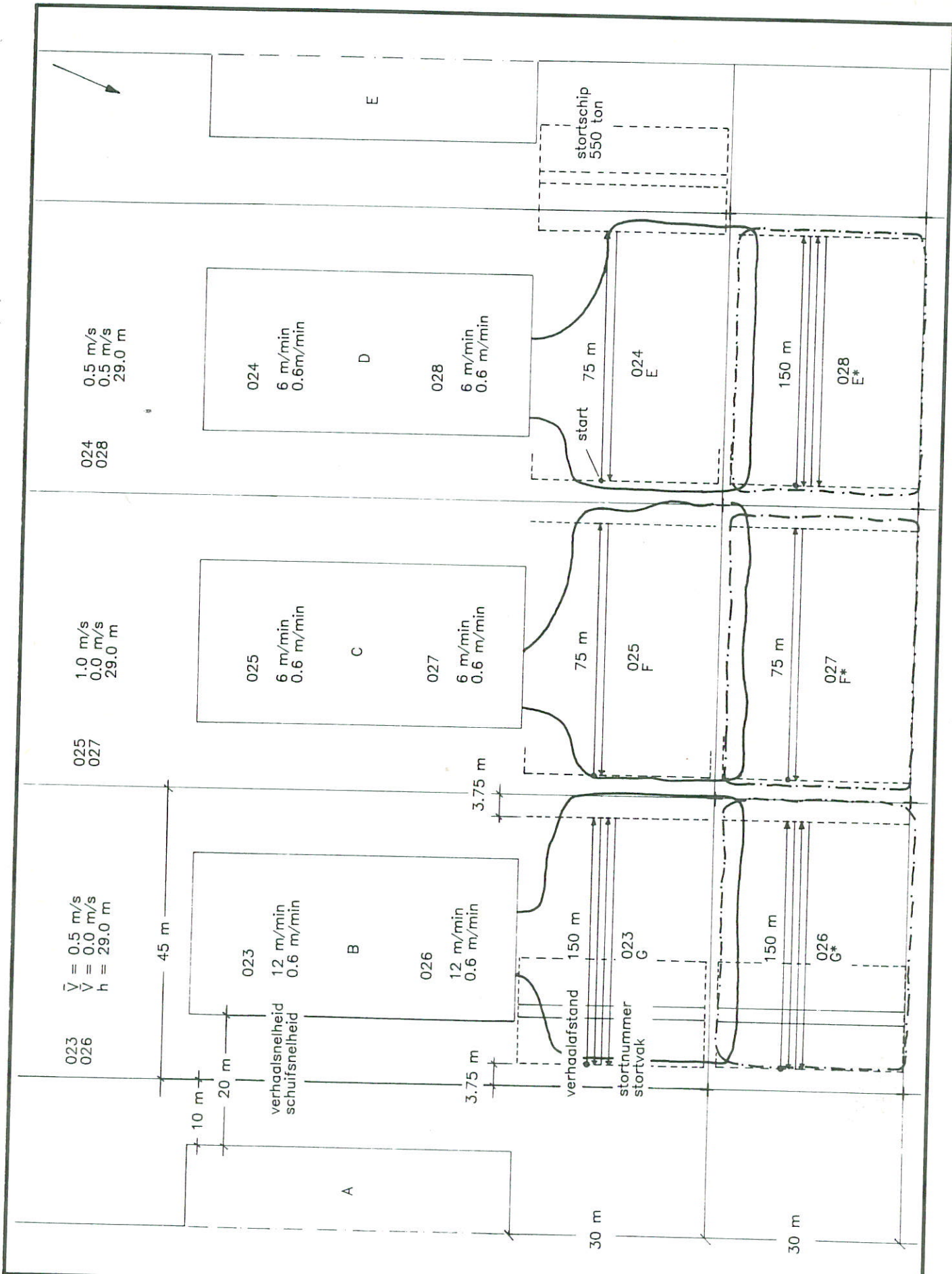
STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 10



BOVENAANZICHT UITVULLAAG BUITEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
023...028

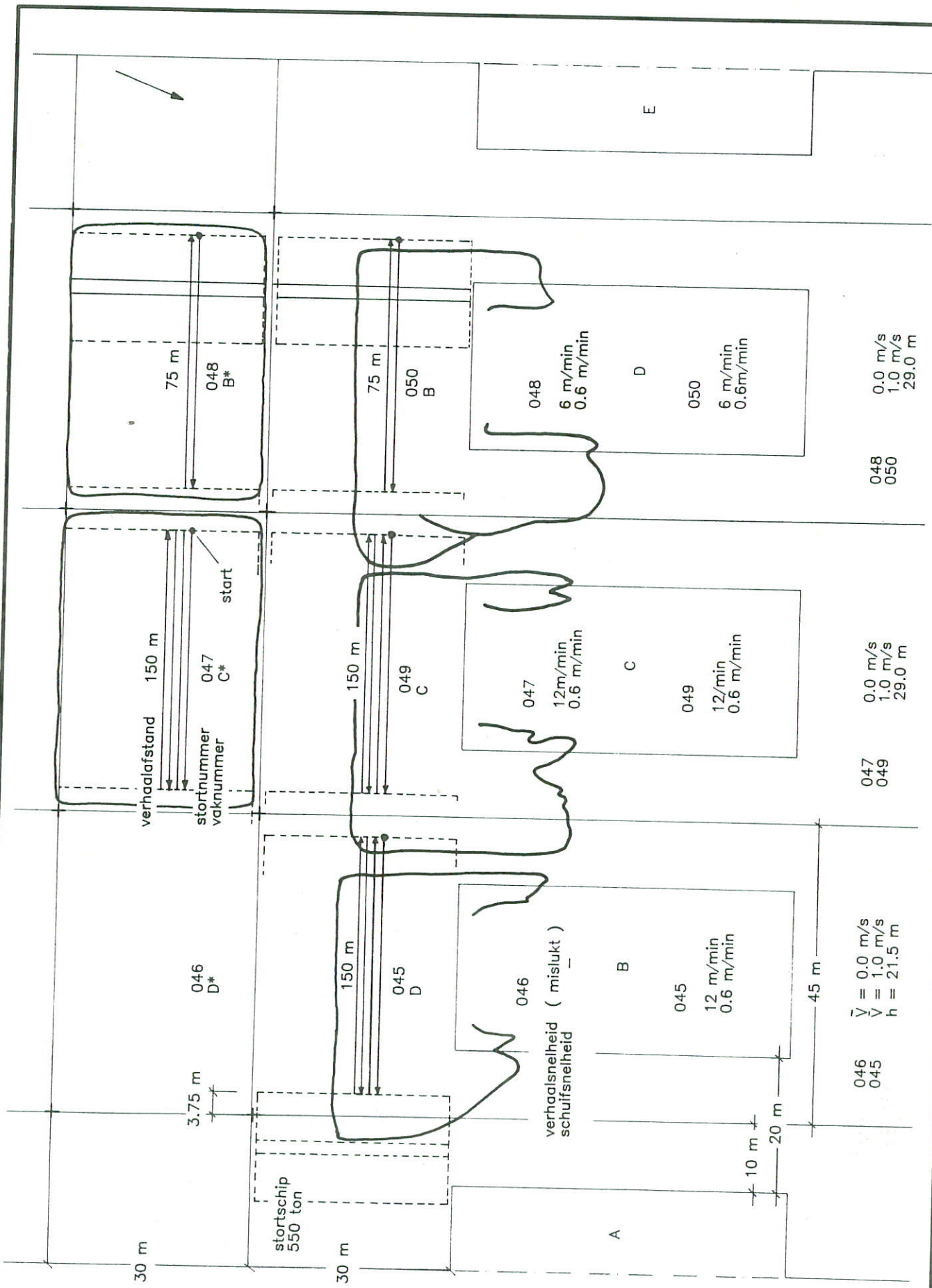
STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 11



BOVENAANZICHT UITVULLAAG BUITEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
045...050

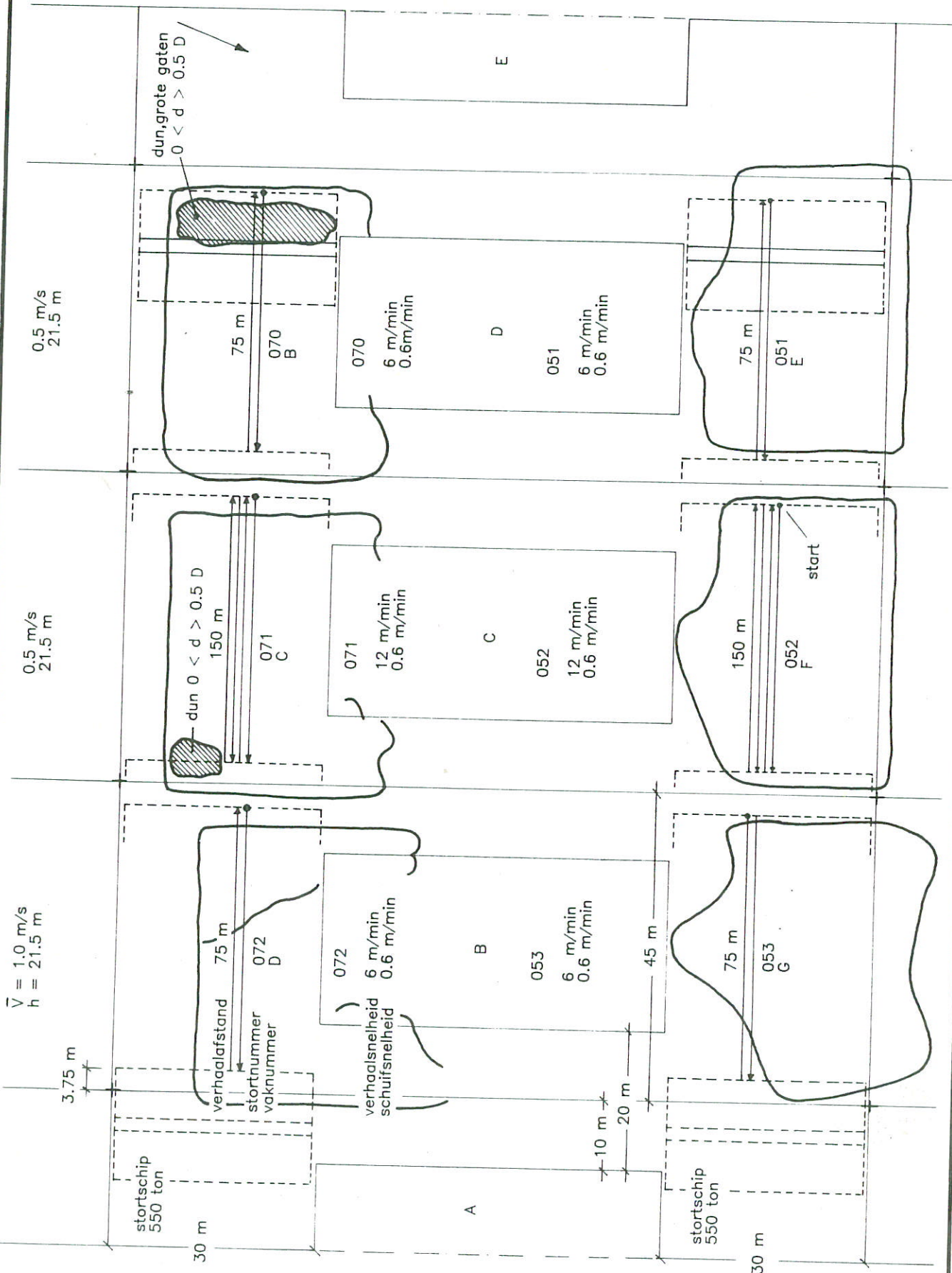
STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 12



BOVENAANZICHT UITVULLAAG BUITEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
051...053
070...072

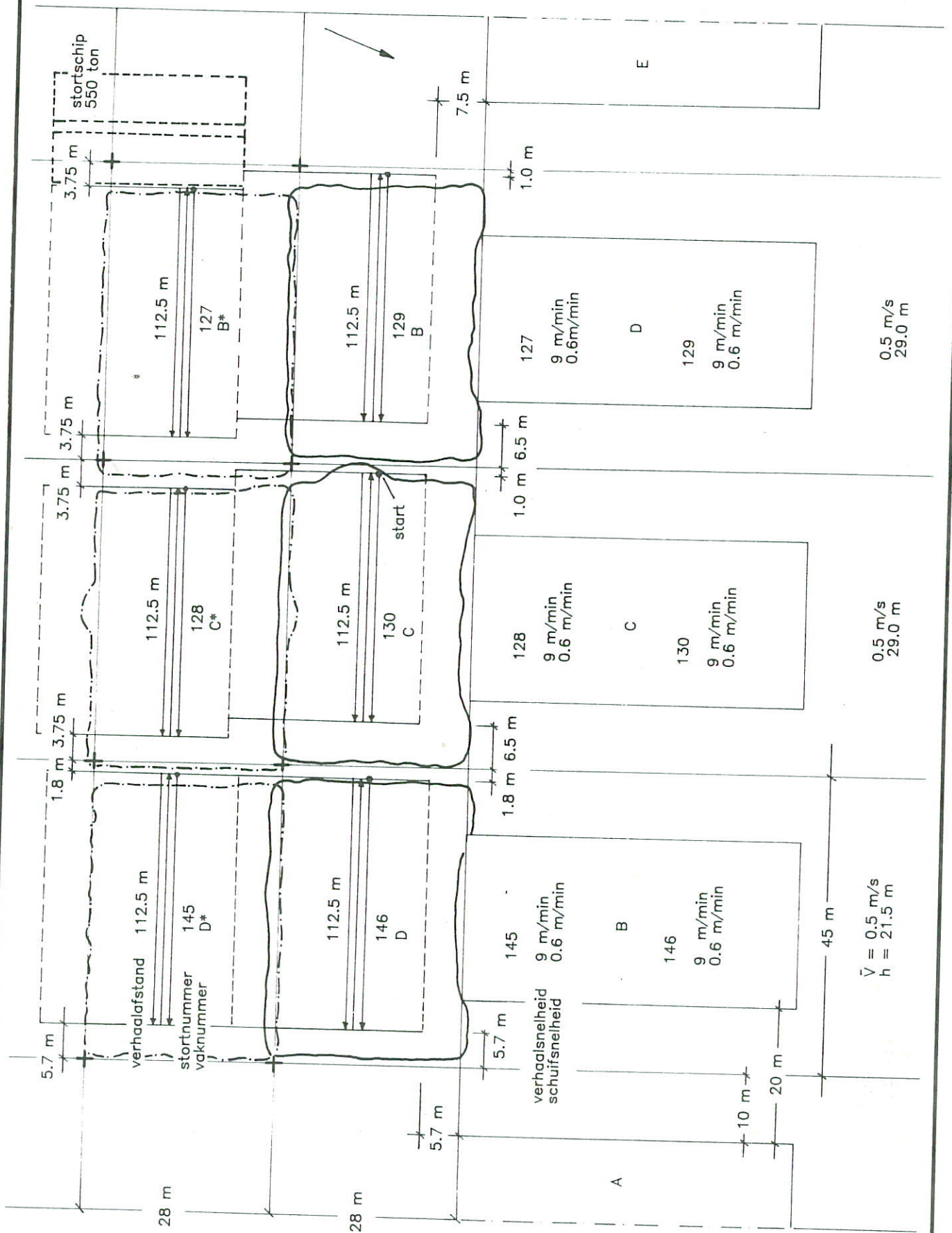
STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 13



BOVENAANZICHT UITVULLAAG BUITEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
127...130
145 en 146

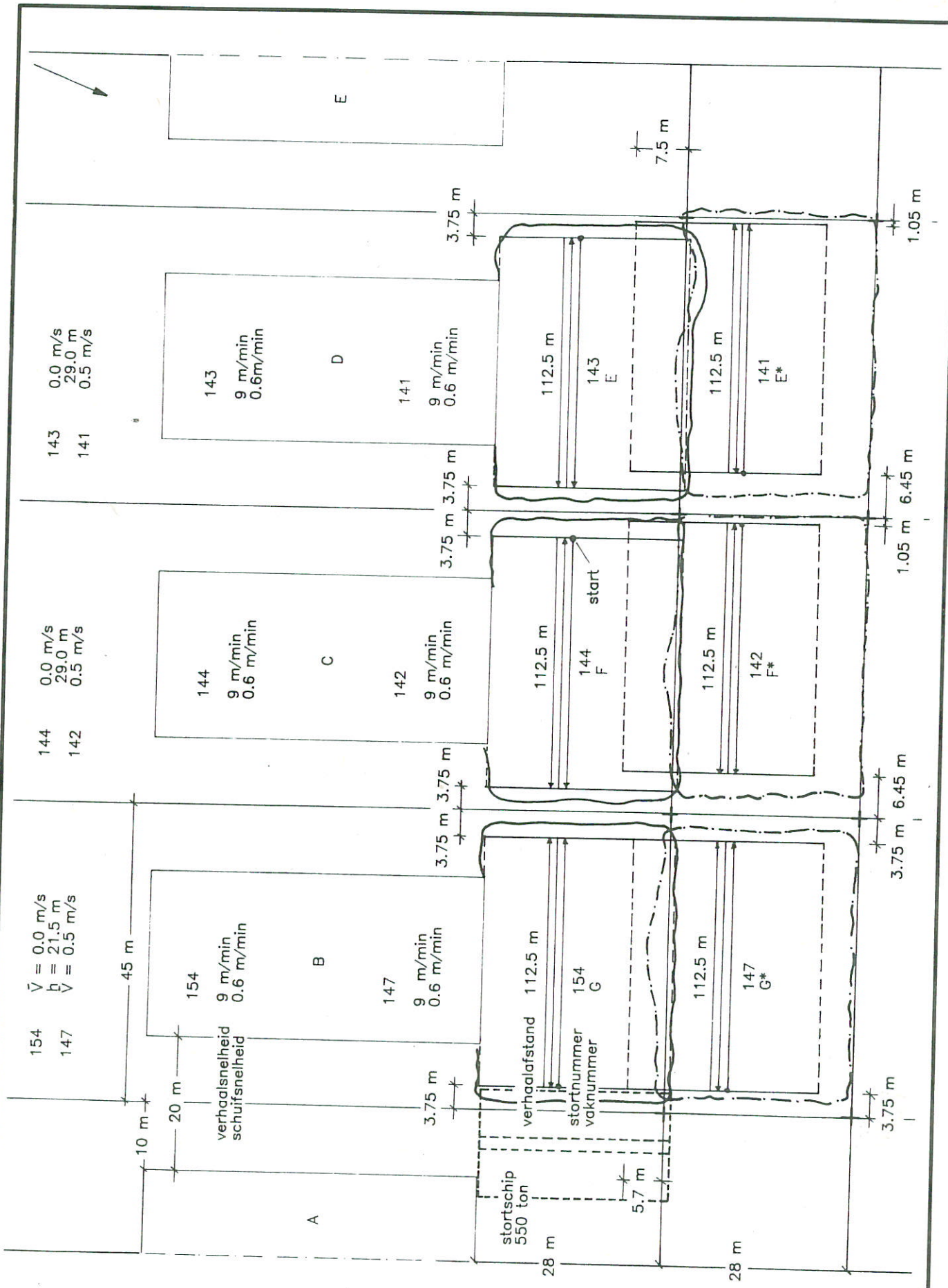
STEENSTORTER

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 14



BOVENAANZICHT UITVULLAAG BUITEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS 141...144 147 en 154	STEENSTORTER
---	--------------

UITVULLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 15

nivo 1 = 3.44 m t.o.v N.A.P. -29.0 m (21.5 m)

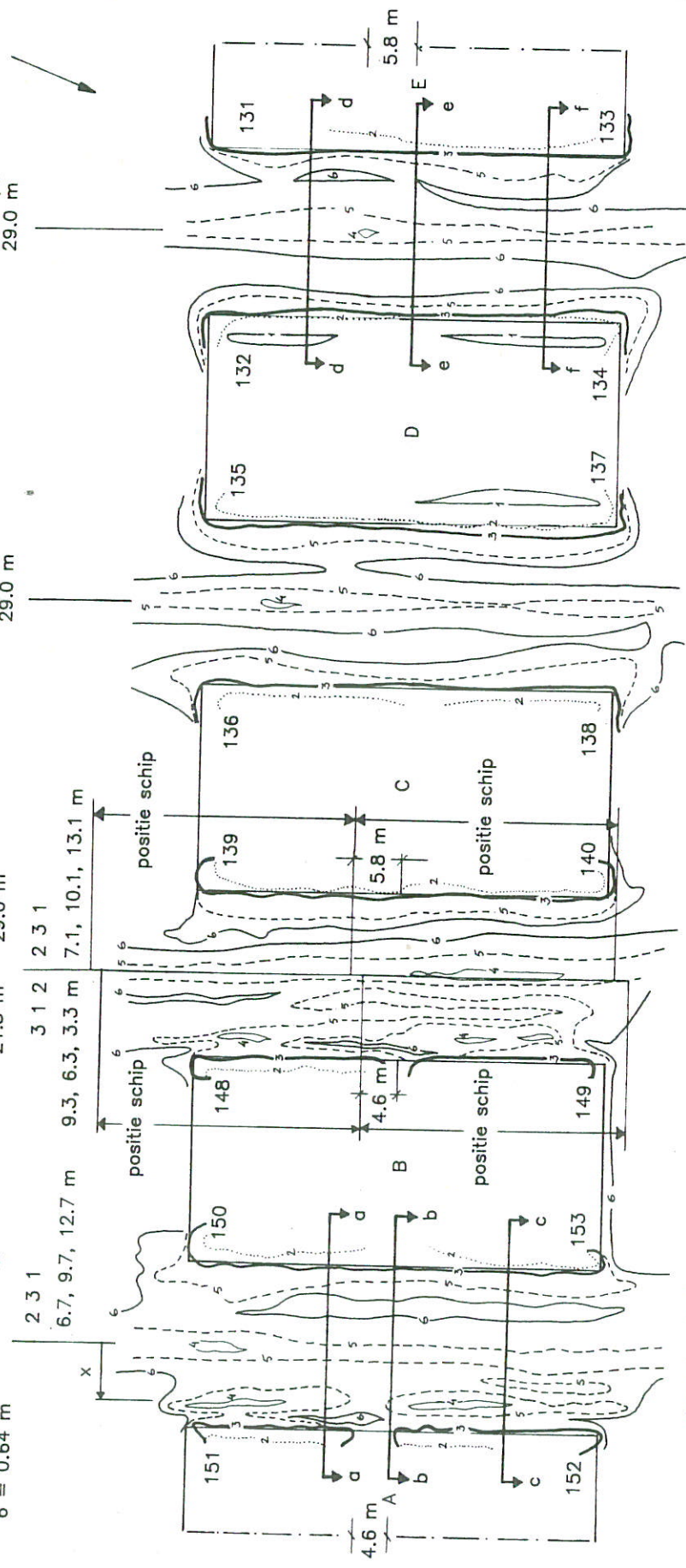
- 2 = 2.64 m
- 3 = 1.84 m
- 4 = 1.44 m
- 5 = 1.04 m
- 6 = 0.64 m

$\bar{V} = 0.5 \text{ m/s}$
 $h = 21.5 \text{ m}$

0.5 m/s
 21.5 m

0.5 m/s
 29.0 m

0.5 m/s
 29.0 m



discreet verhalen

discreet verhalen

discreet verhalen

discreet verhalen

stortvolgorde 1 3 2 | 2 3 1

x = 9.3, 6.3, 3.3 m | 5, 8, 11 m

x = 9.3, 6.3, 3.3 m | 5, 8, 11 m

x = 8.9, 5.9, 2.9 m

7.1, 10.1, 13.1 m

1/4 1/2 1/4 x 250 ton

x = 11, 8, 5 m | 5, 8, 11 m

+

verhaafafstand = 6 m
 verhaafsnijlheid = 0 m/min
 schuifsnijlheid = 0.5 m/min

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

+

6 m
 0 m/min
 0.5 m/min

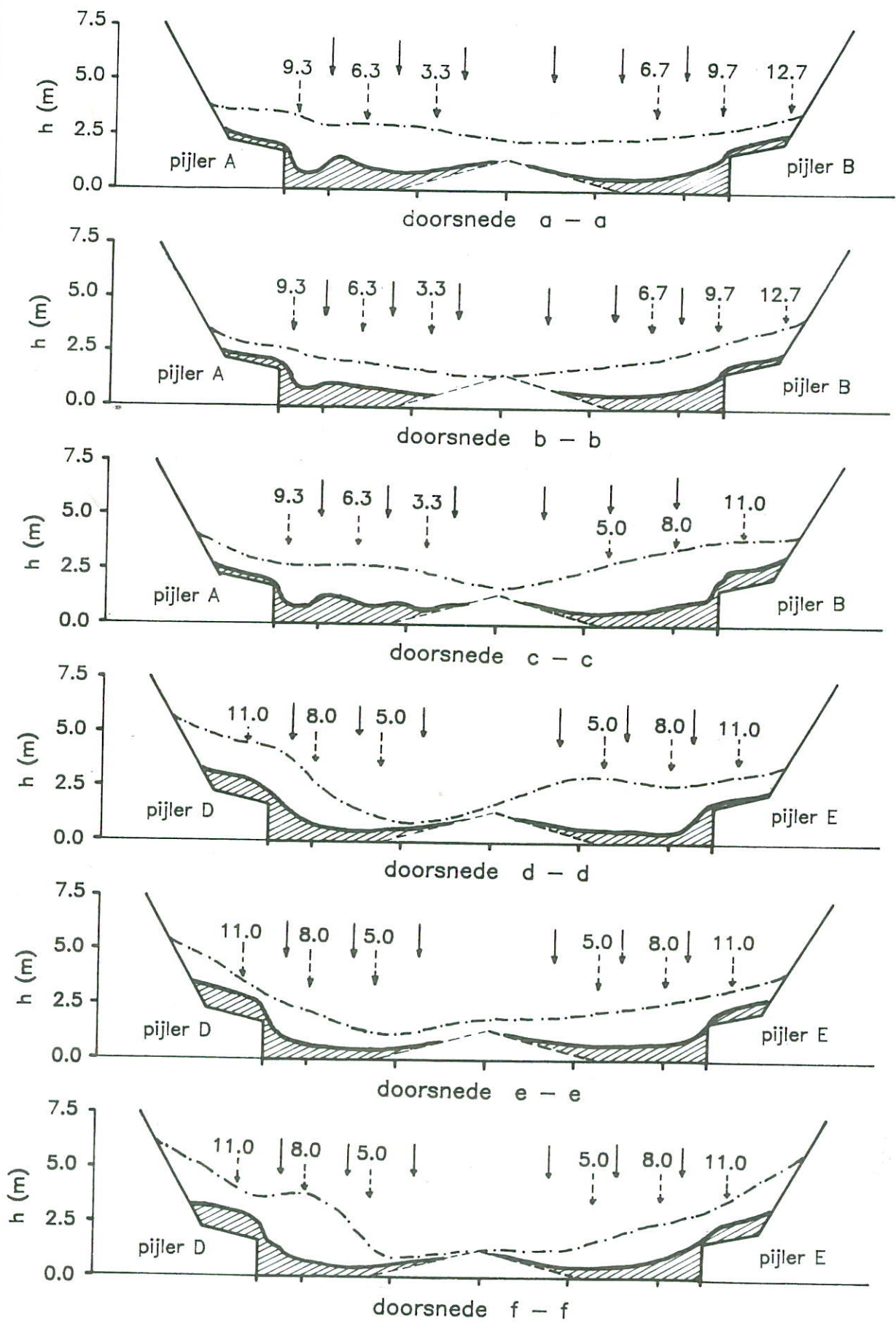
HOOGTELIKKING AFDEKLAAG UITVULLAAG

STORTNUMMERS
 131...152

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 16



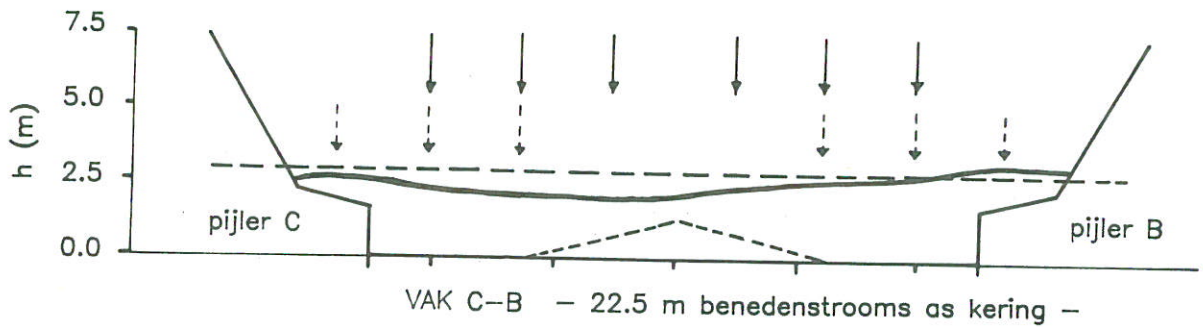
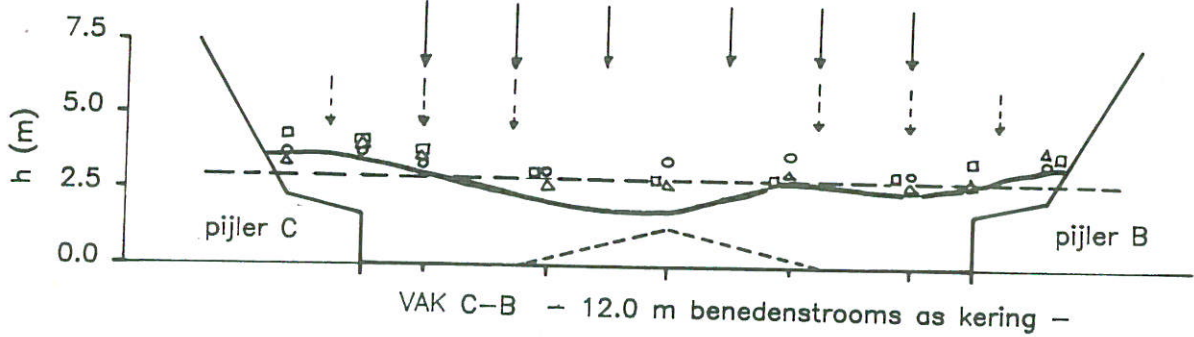
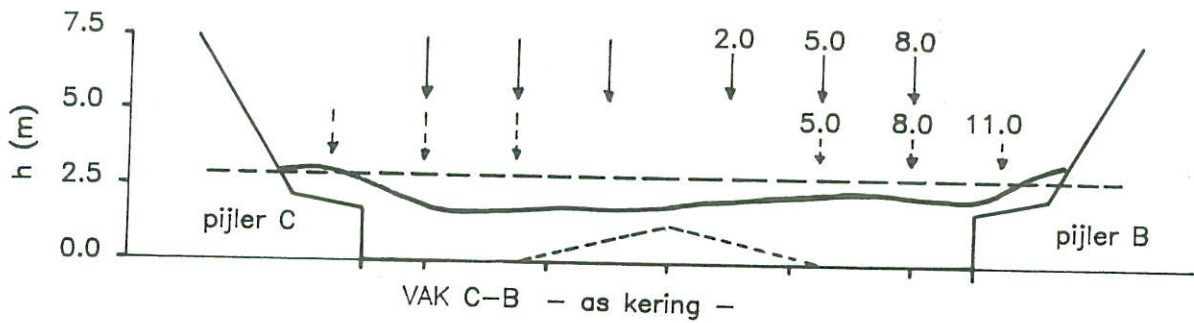
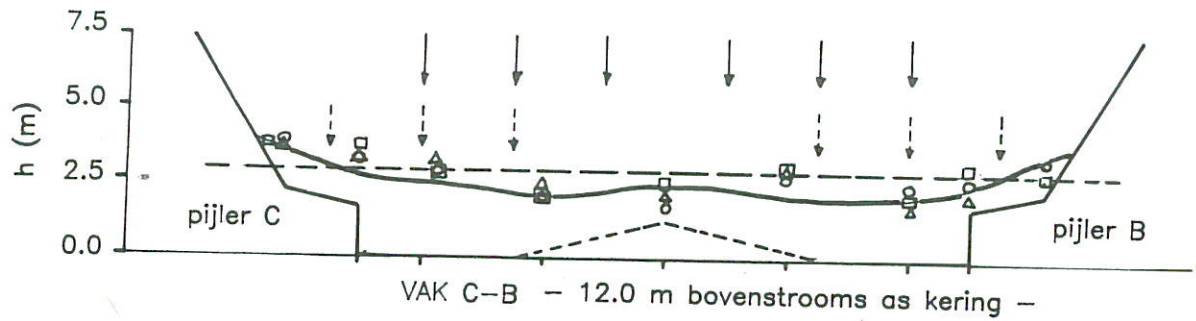
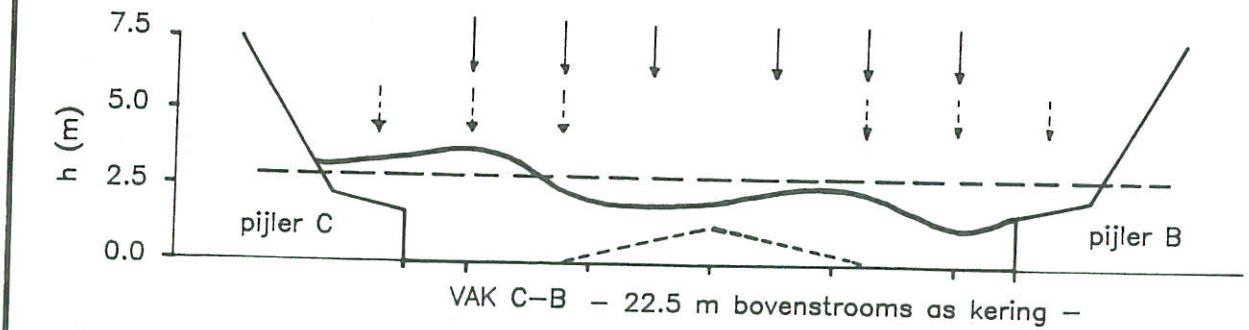
DWARSPROFIELEN UITVULLAAG EN AFDEKLAAG

STORTNUMMERS
131...152

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 17



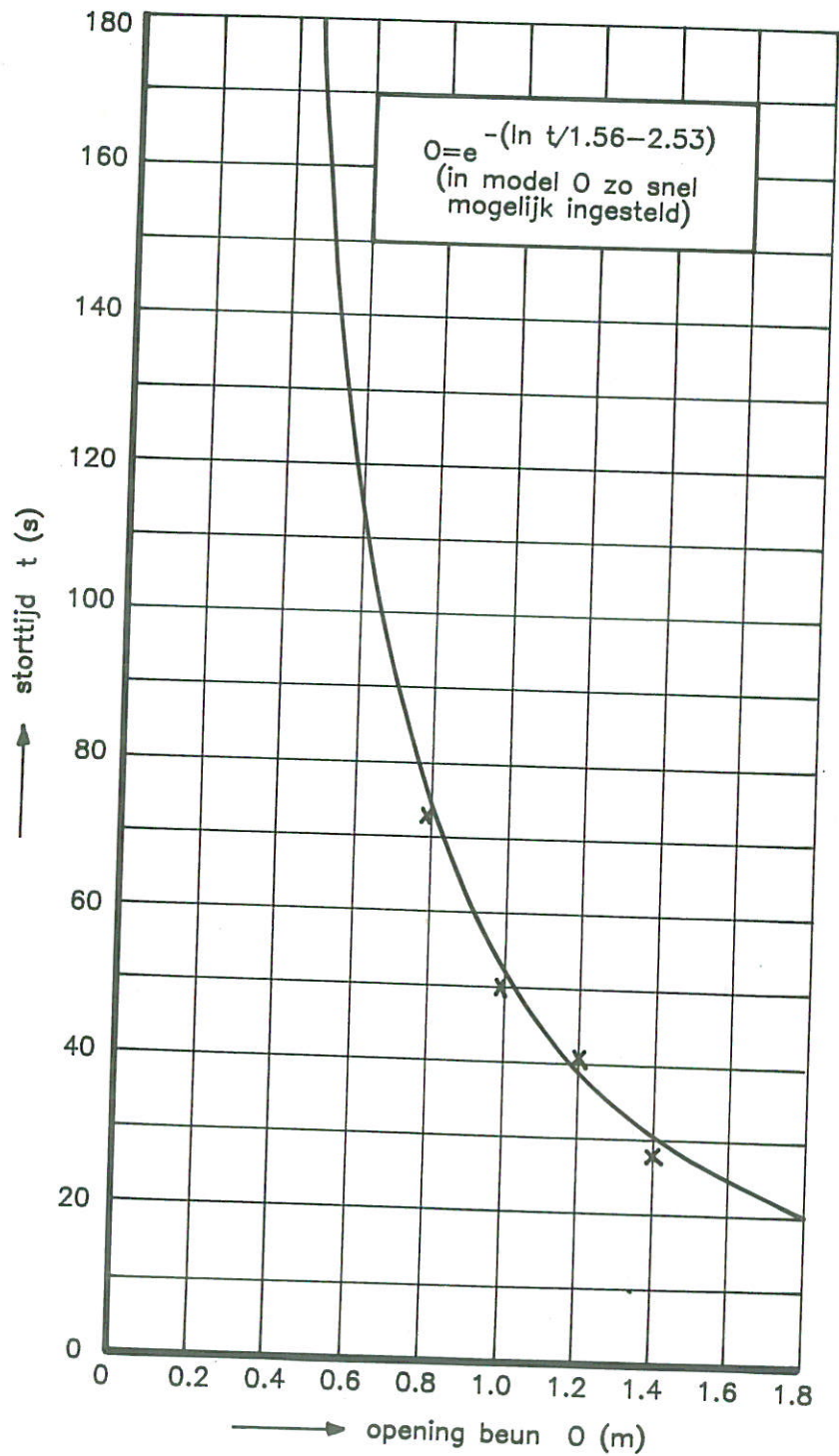
- VAK B-A
- △ VAK D-C
- VAK D-E

DWARSPROFIELEN UITVULLAAG EN AFDEKLAAG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 18



— M 1244 [3] fosforslakken
 x x M 1768 stortsteen 10-60 kg

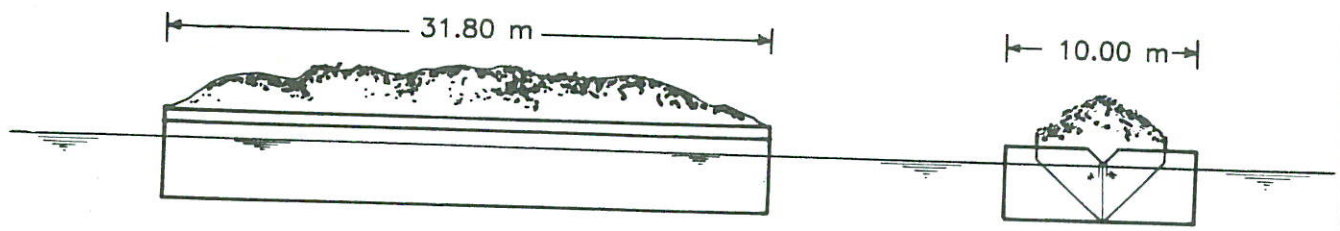
DE TIJD WAARIN DE MODELBEUN LEEG IS ALS
 FUNCTIE VAN DE BEUNOPENING

SPLIJTBAK

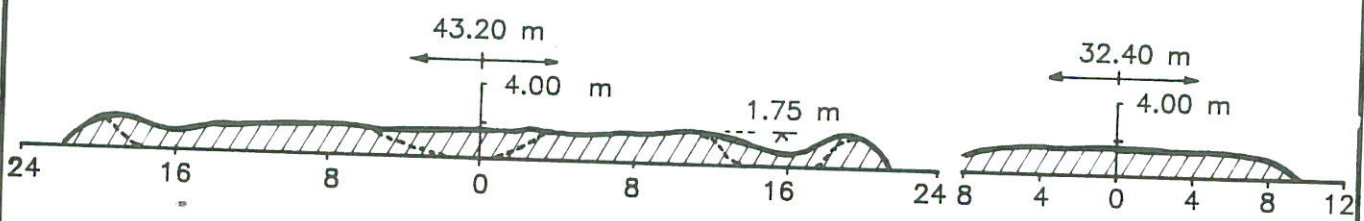
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

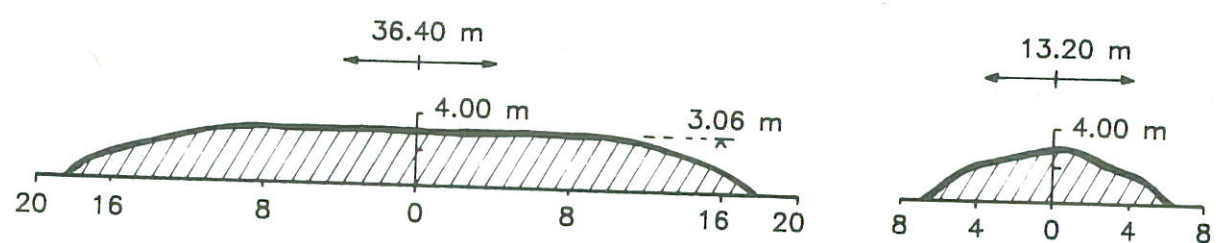
FIG. 19



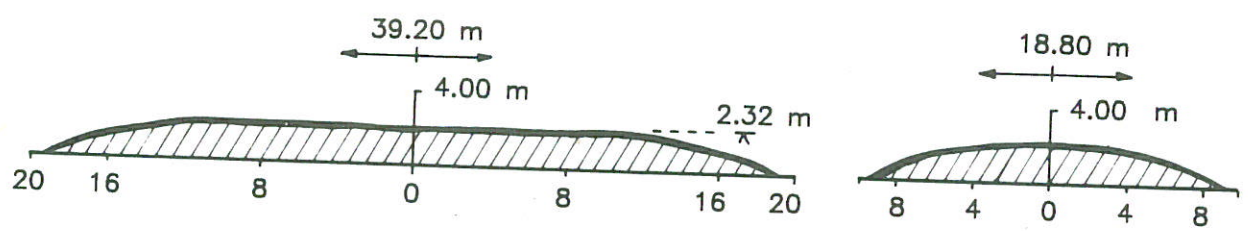
maten in meters prototype



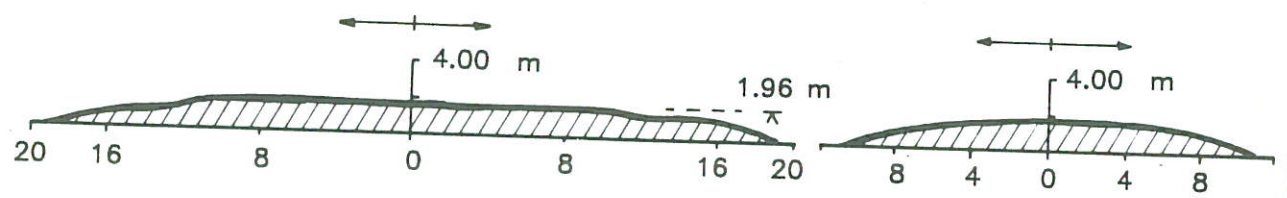
beunopening: 1.40 m openingstijd: zeer kort



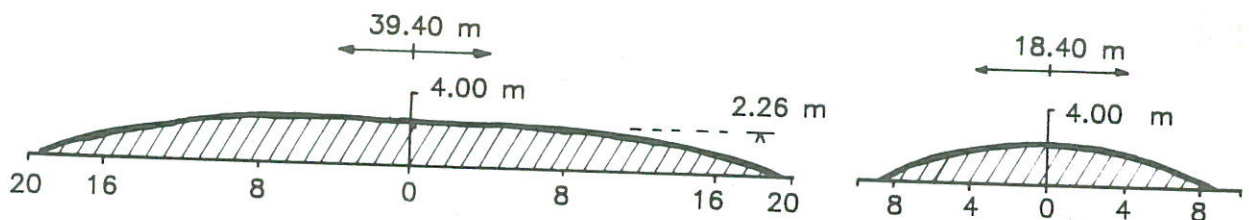
beunopening: 0.80 m openingstijd: zeer kort



beunopening: 1.00 m openingstijd: zeer kort



beunopening: 1.20 m openingstijd: zeer kort



beunopening: 1.20 m openingstijd: 9.5 sec.

GEOMETRIE VAN EEN INDIVIDUEEL STORT ALS
FUNKTIE VAN DE OPENINGSTIJD

SPLIJTBAK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 20

nivo 1 = 3.80 m t.o.v N.A.P. -29.0 m

2 = 3.00 m

3 = 2.20 m

4 = 1.40 m

5 = 0.60 m

6 = 0.00 m

stortnummer = 124
vaknummer = 20

0.5 m/s
29.0 m

1.0 m/s
29.0 m

1.0 m/s
29.0 m

0 m/s
29.0 m

0 m/s
29.0 m

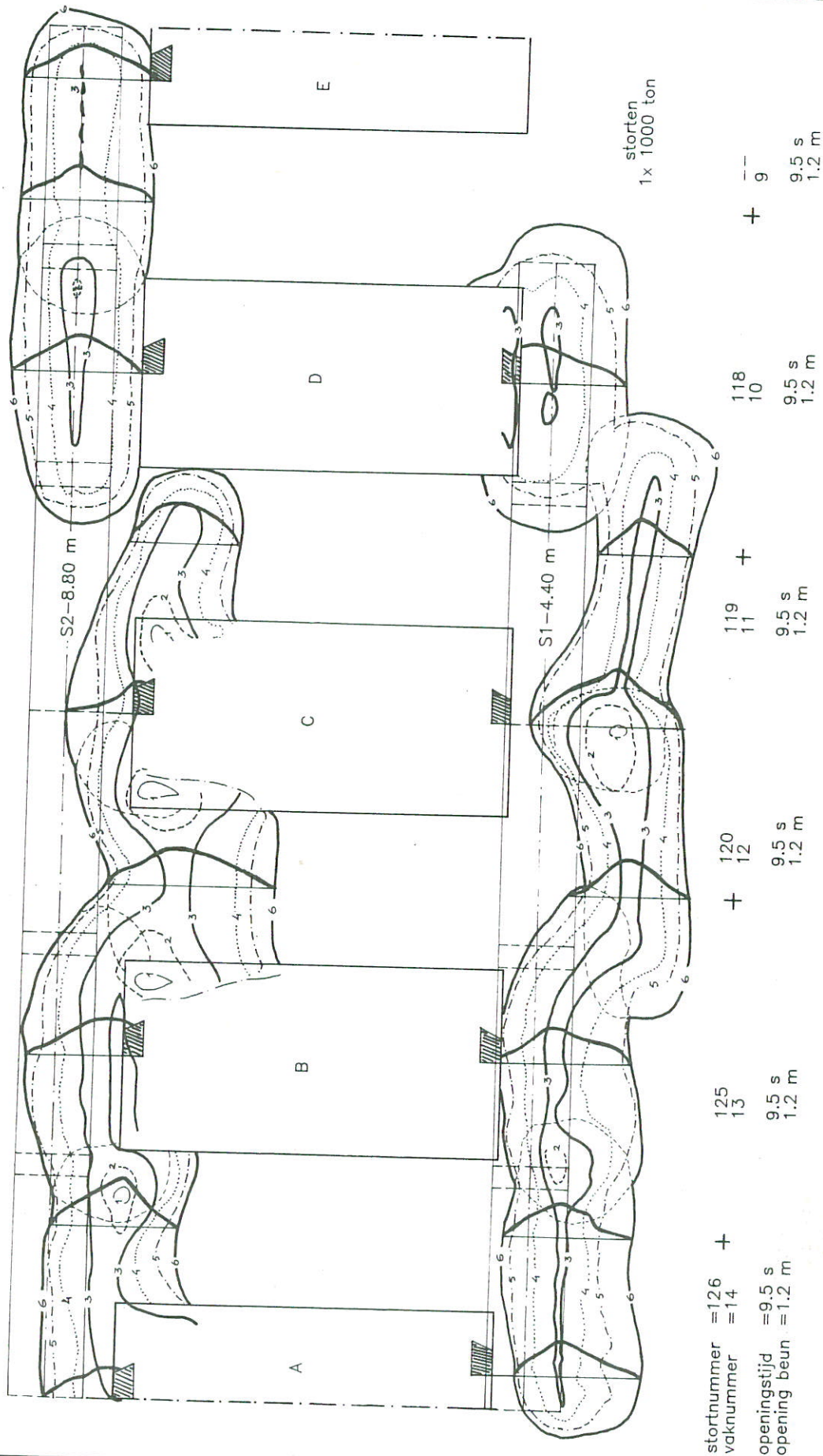
123
19

122
18

121
17

117
16

116
15



HOOGTELIJGINGEN VAN INDIVIDUELE STORTEN
BUITEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS
116...126

SPLIJTBAK

DREMPELKERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 21

nivo 1 = 4.70 m t.o.v N.A.P. -29.0 m (21.5 m)

- 2 = 3.90 m
- 3 = 3.10 m
- 4 = 2.30 m
- 5 = 1.50 m
- 6 = 0.00 m

+
 $\bar{v} = 0.0 \text{ m/s}$
 $h = 29.0 \text{ m}$

+
 0.5 m/s
 21.5 m

+
 1.0 m/s
 21.5 m

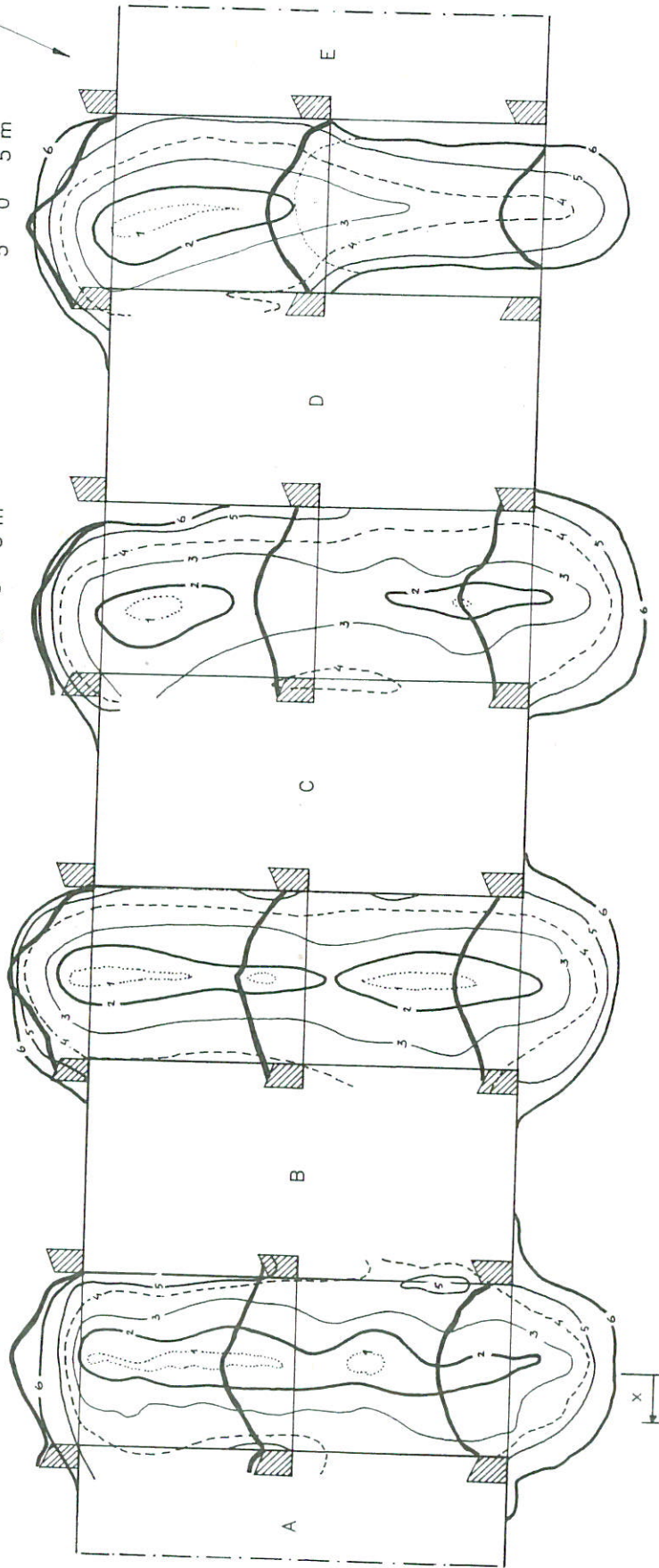
+
 $0.5 \text{ m/s (bovenstrooms)}$
 29.0 m
 $0.0 \text{ m/s (benedenstrooms)}$

stortnummer 110 111 109
 $x = 5 \ 0 \ 5 \text{ m}$

104 105 103
 $5 \ 0 \ 5 \text{ m}$

098 099 097
 $5 \ 0 \ 5 \text{ m}$

113 114 112
 $5 \ 0 \ 5 \text{ m}$



stortnummer 107 108 106
 $x = 5 \ 0 \ 5 \text{ m}$

+
 openingstijd = 9.5 s
 opening beun = 0.8 m

101 102 100
 $5 \ 0 \ 5 \text{ m}$

+
 9.5 s
 0.8 m

095 096 094
 $5 \ 0 \ 5 \text{ m}$

+
 9.5 s
 0.8 m

(3 x 1000 ton)

(1 x 1000 ton)

115
 0 m

+
 9.5 s
 0.8 m

HOOGTELIJINGEN VAN 3 STORTEN TUSSEN DE PIJLERS

STORTNUMMERS 094...115

SPLIJTBAK

DREMPELKERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 22

nivo 1 = 5.30 m t.o.v N.A.P. -29.0 m (21.5 m)

+
 2 = 4.50 m
 3 = 3.70 m
 4 = 2.90 m
 5 = 2.10 m
 6 = 1.30 m
 7 = 0.00 m

+
 $\bar{V} = 0$ m/s
 $h = 21.5$ m

stortnummer 092 093 091
 x = 5 0 5 m

+
 0.5 m/s
 29.0 m

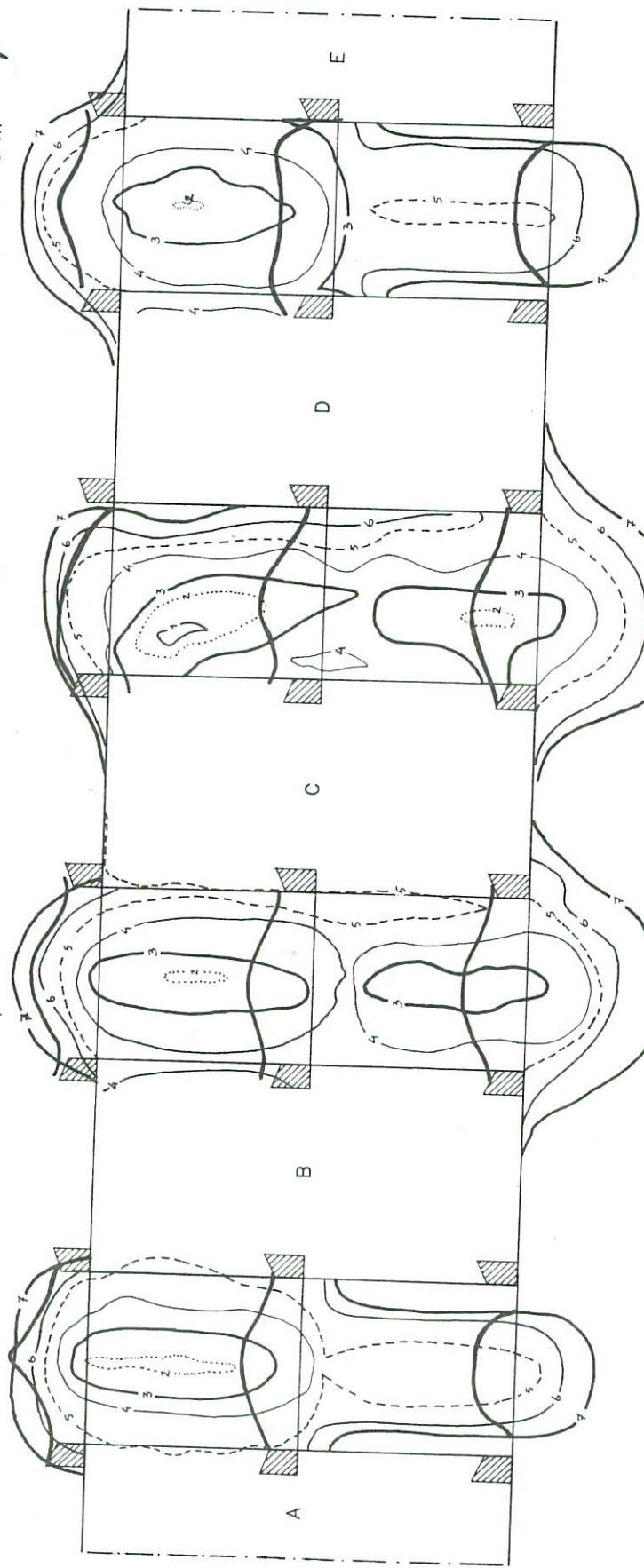
088 089 087
 5 0 5 m

+
 1.0 m/s
 29.0 m

082 083 081
 5 0 5 m

+
 0 m/s
 29.0 m

076 077 075
 5 0 5 m



stortnummer 090
 X = 0 m

+
 openingstijd = 9.5 s
 opening beùn = 1.2 m

085 086 084
 5 0 5 m

+
 9.5 s
 1.2 m

079 080 078
 5 0 5 m

+
 9.5 s
 1.2 m

(3 x 1000 ton)

(1 x 1000 ton)

074
 0 m

+
 9.5 s
 1.2 m

HOOGTELIJGINGEN VAN 3 STORTEN TUSSEN DE PIJLERS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

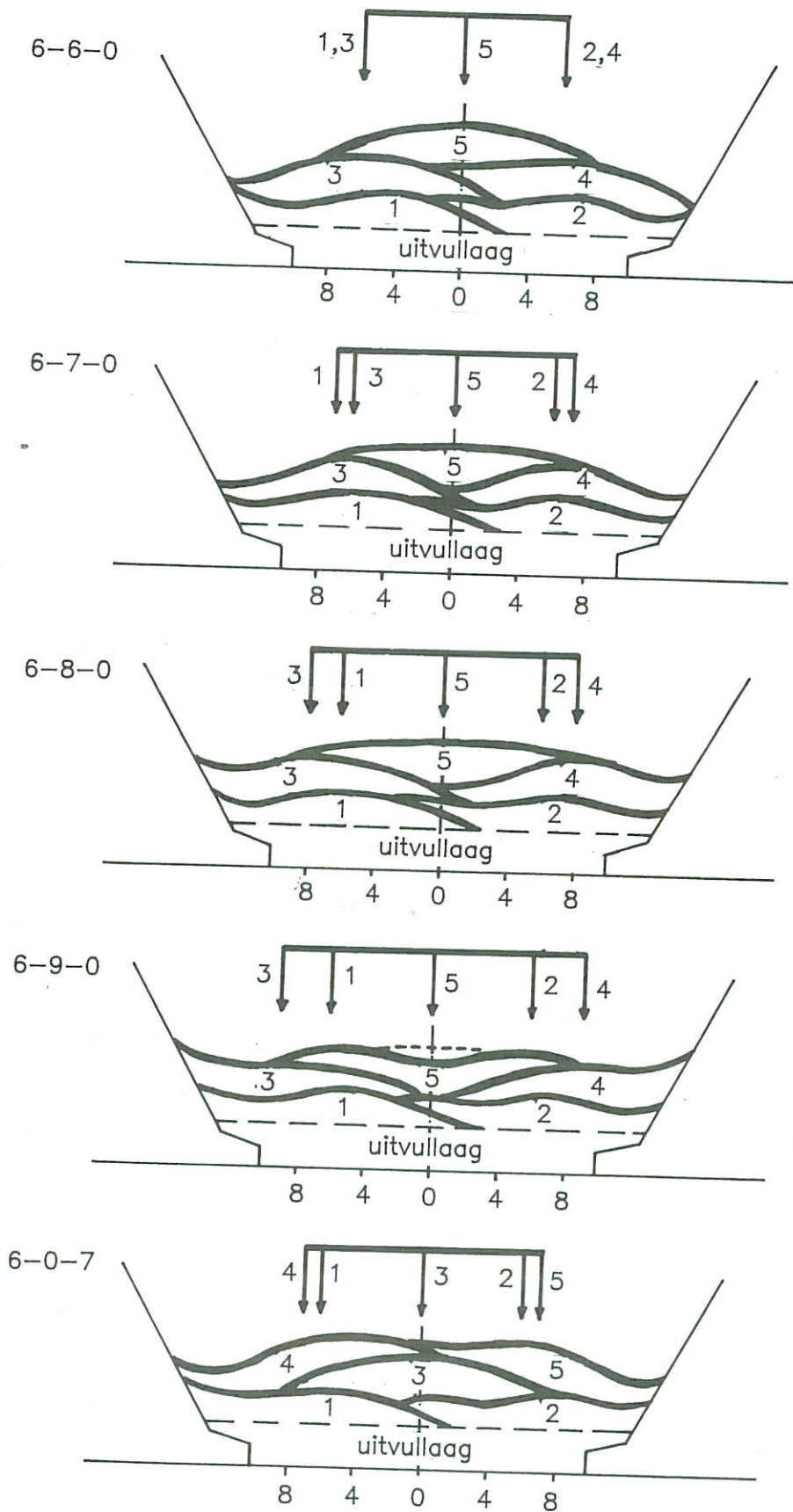
STORTNUMMERS 074...093

SPLIJTBAK

DREMPELKERN

M 1768

FIG. 23



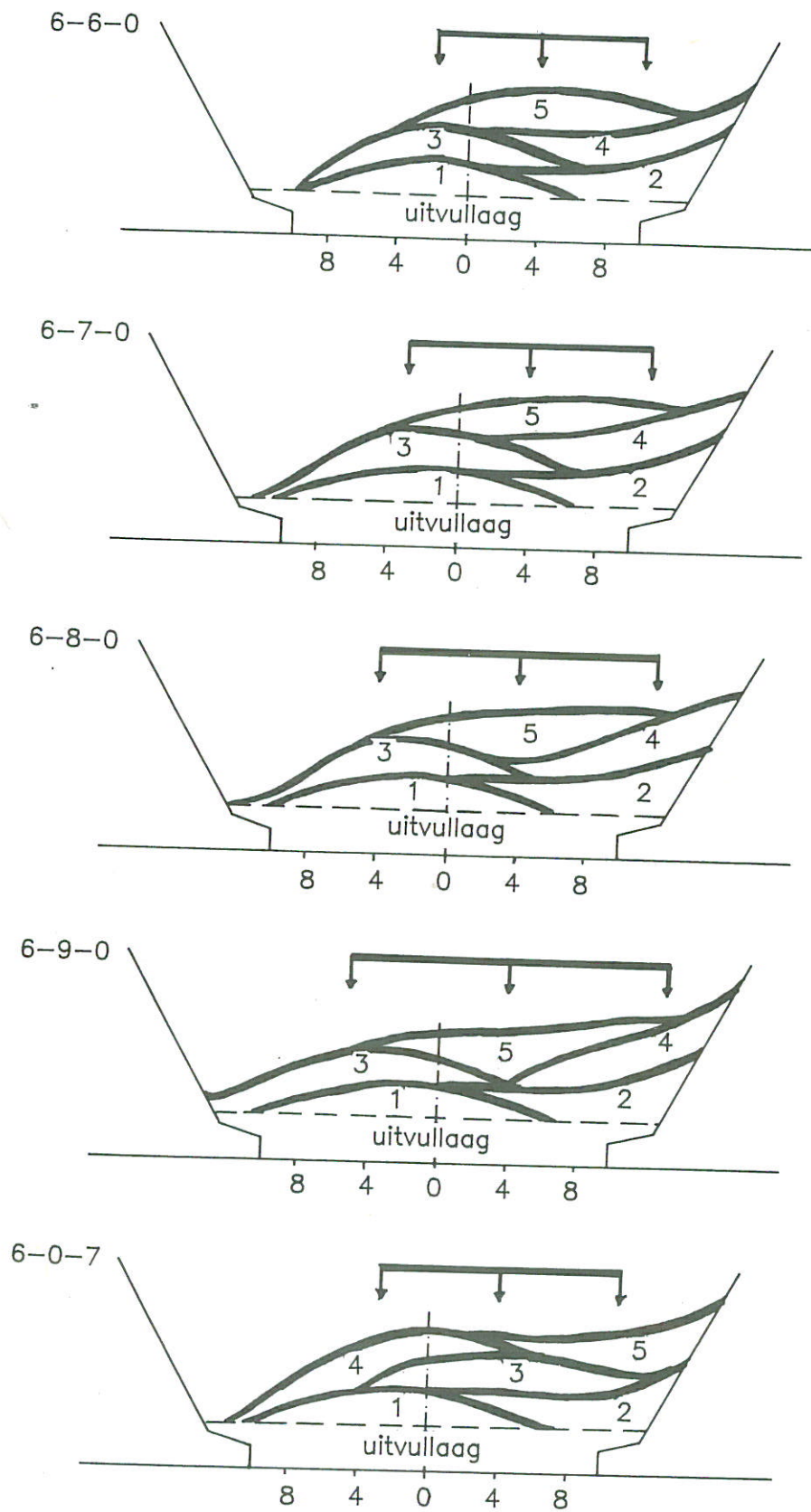
maten in meters prototype

DWARSPROFIELEN TUSSEN DE PIJLERS OP BASIS
VAN SUPERPOSITIE INDIVIDUELE STORTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 24



maten in meters prototype

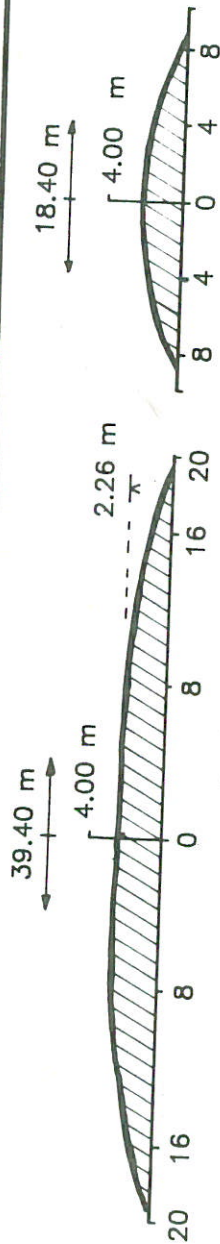
DWARSPROFIELEN TUSSEN DE PIJLERS OP BASIS
VAN SUPERPOSITIE INDIVIDUELE STORTEN

dwarsverschuiving 4 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

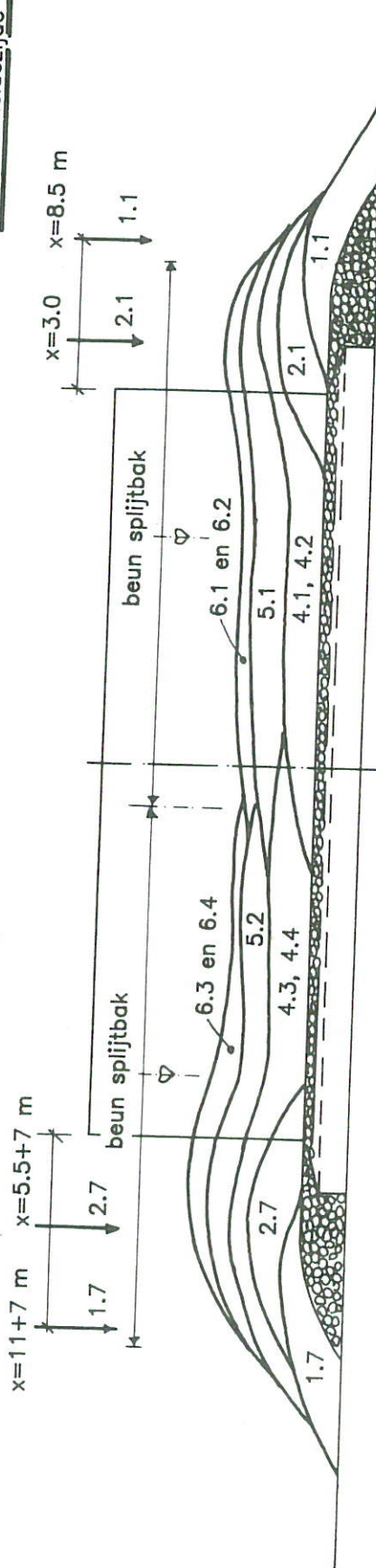
FIG. 25



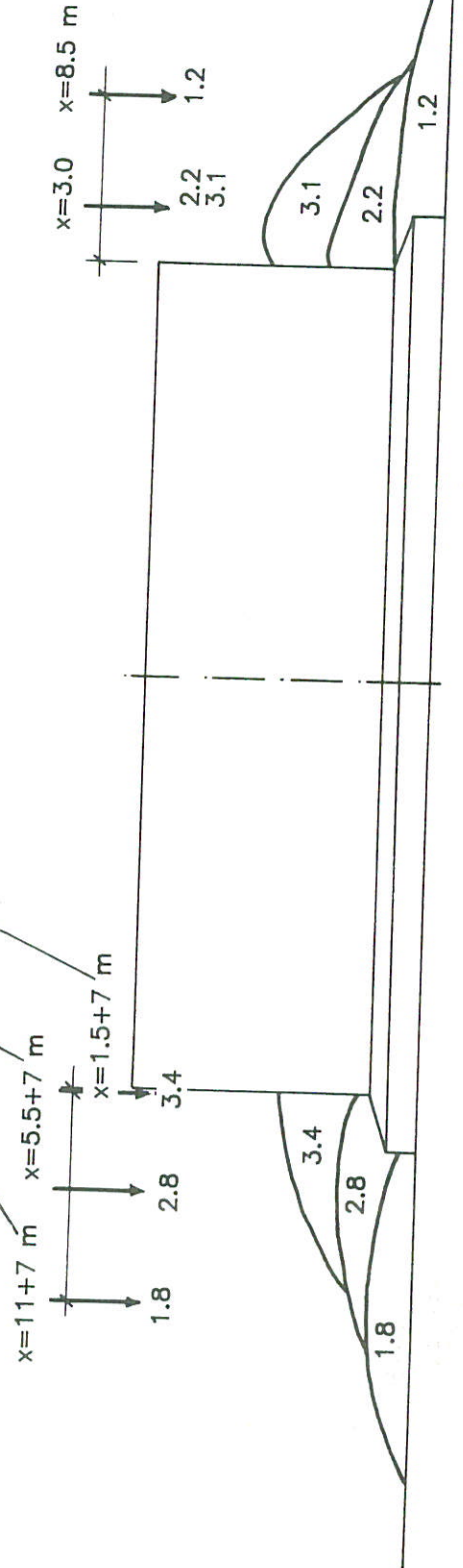
beunopening: 1.20 m openingstijd: 9.5 sec.

Zeezijde

Oosterscheldezijde



stroomsnelheidscorrecties



maten in meters prototype

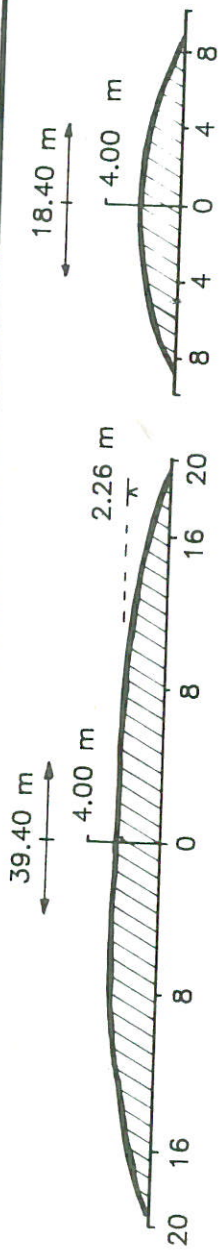
LANGSPROFIEL TUSSEN DE P'JLERS OP BASIS VAN SUPERPOSITIE INDIVIDUELE STORTEN

STORTSCHEMA I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

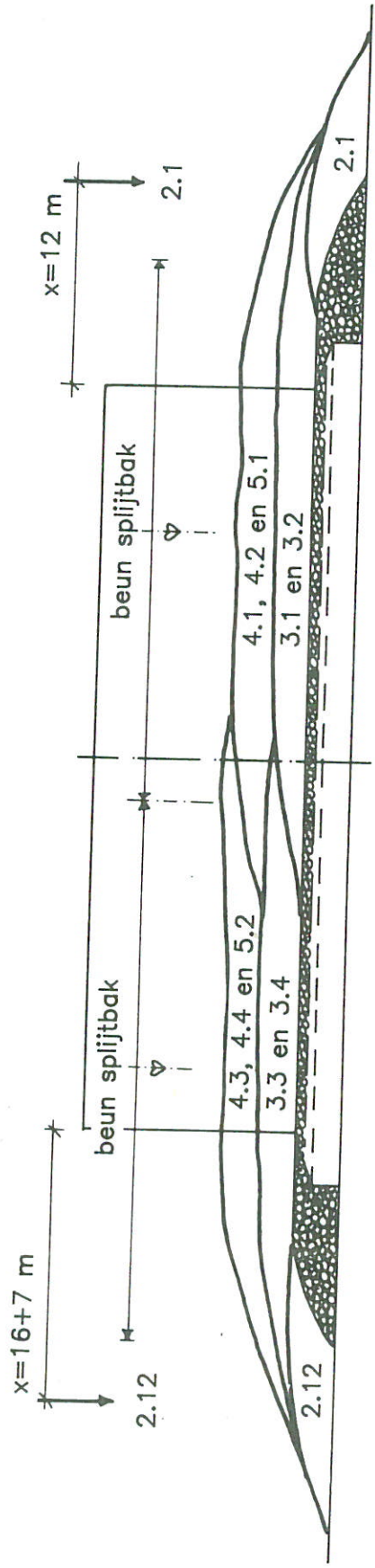
FIG. 26



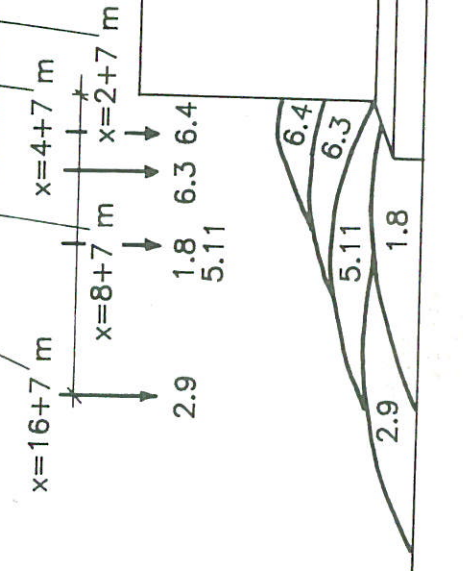
beunopening: 1.20 m openingstijd: 9.5 sec.

Zeezijde

Oosterscheidezijde



stroomsnelheidscorrecties



maten in meters prototype

LANGSPROFIEL TUSSEN DE P'JLERS OP BASIS VAN SUPERPOSITIE INDIVIDUELE STORTEN

STORTSCHEMA II

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 27

nivo 1 = 11.30 m t.o.v N.A.P. -29.0 m
 2 = 10.30 m
 3 = 9.50 m
 4 = 8.70 m
 5 = 7.90 m
 6 = 7.10 m
 7 = 6.30 m
 8 = 5.60 m
 9 = 4.80 m
 10 = 0.00 m

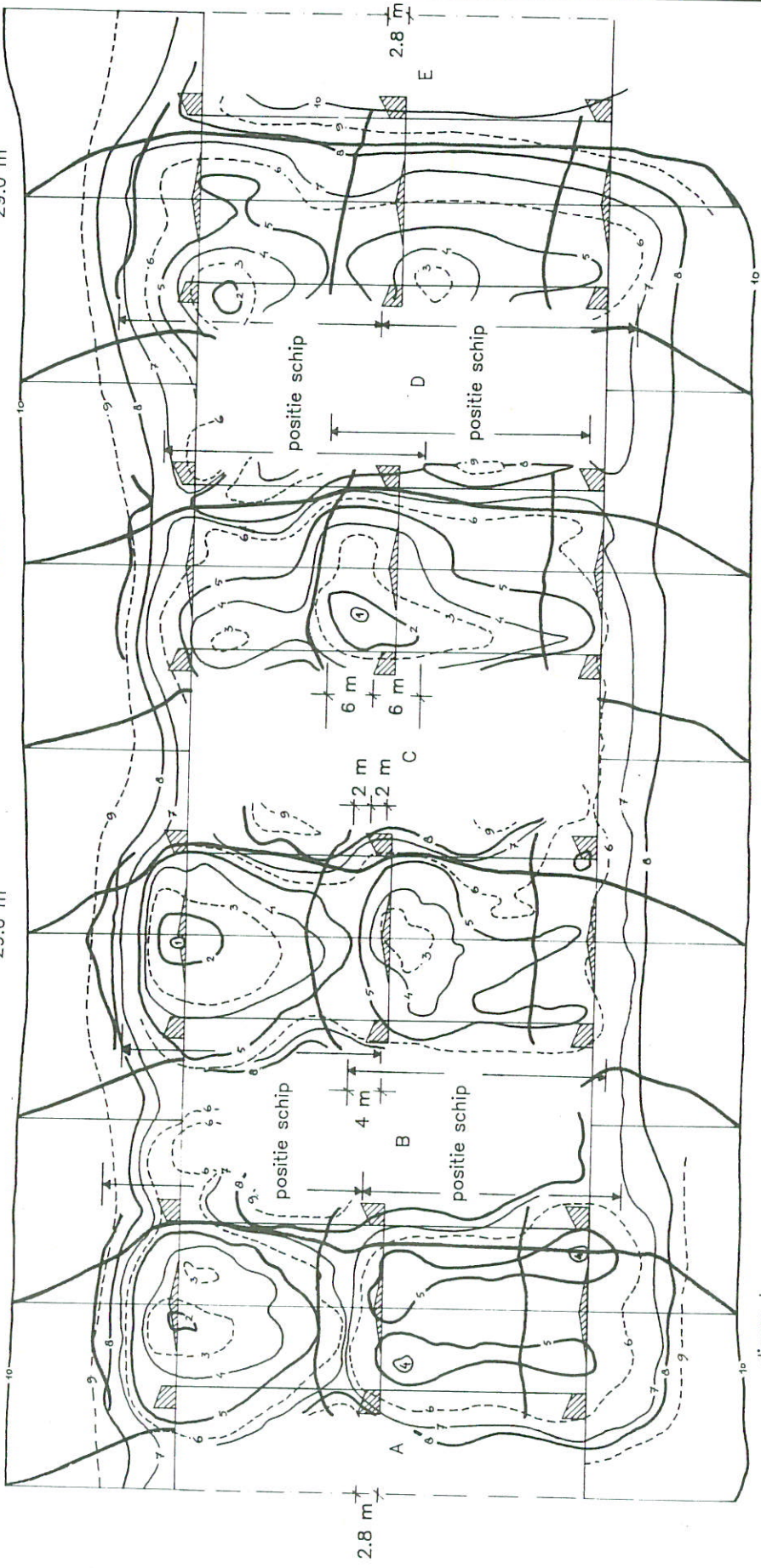
+ $\bar{V} = 1.0 \text{ m/s}$
 $h = 29.0 \text{ m}$

stortvolgorde = 3 2 5 1 4
 $\bar{V} = 1.0 \text{ m/s}$
 $h = 29.0 \text{ m}$

discreet
 $x = 6 \quad 0 \quad 6 \text{ m}$
 | | |
 +

+ 1.0 m/s
 29.0 m

+ 1.0 m/s
 29.0 m



discreet
 overlap = 0 m

$x = 7 \quad 6 \quad 0 \quad 6 \quad 7 \text{ m}$
 || | | |
 stortvolgorde 5 2 3 1 4

openingstijd = 9.5 s
 opening beun = 1.2 m

discreet
 4 m

8 6 0 6 8 m
 || | | |
 4 2 5 1 3

discreet
 12 m

7 6 0 6 7 m
 || | | |
 5 2 3 1 4

discreet
 0 m

9 6 0 6 9 m
 || | | |
 5 2 3 1 4

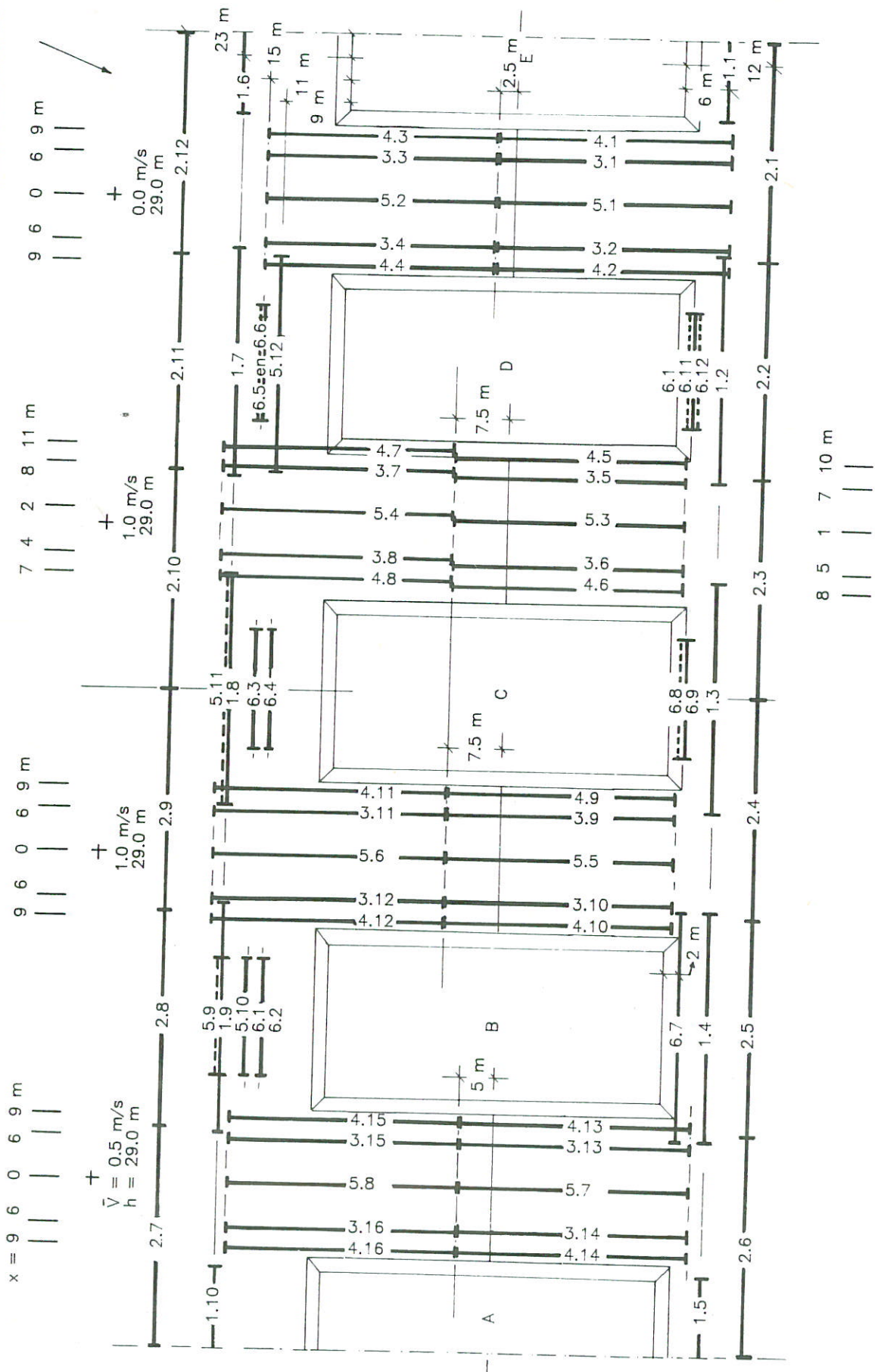
HOOGTELIKKING DREMPELKERN GESTORT VOLGENS STORTSCHEMA I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1768

FIG. 29

SPLIJTBAK



$\bar{V} = 0.0$ m/s
 $\bar{V} = 0.5$ m/s
 $\bar{V} = 1.0$ m/s

+
 stortnrs. 2.1 ... 1.5, 2.1 ... 2.6, 3.1 ... 3.4, 4.1 ... 4.4, 5.1, 5.2, 6.7 ... 6.12
 stortnrs. 1.6 ... 1.10, 2.7 ... 2.12, 3.13 ... 3.16, 4.13 ... 4.16, 5.7 ... 5.13, 6.1 ... 6.5
 stortnrs. 3.5 ... 3.12, 4.5 ... 4.12, 5.3 ... 5.6

OVERZICHT STORTSCHEMA II

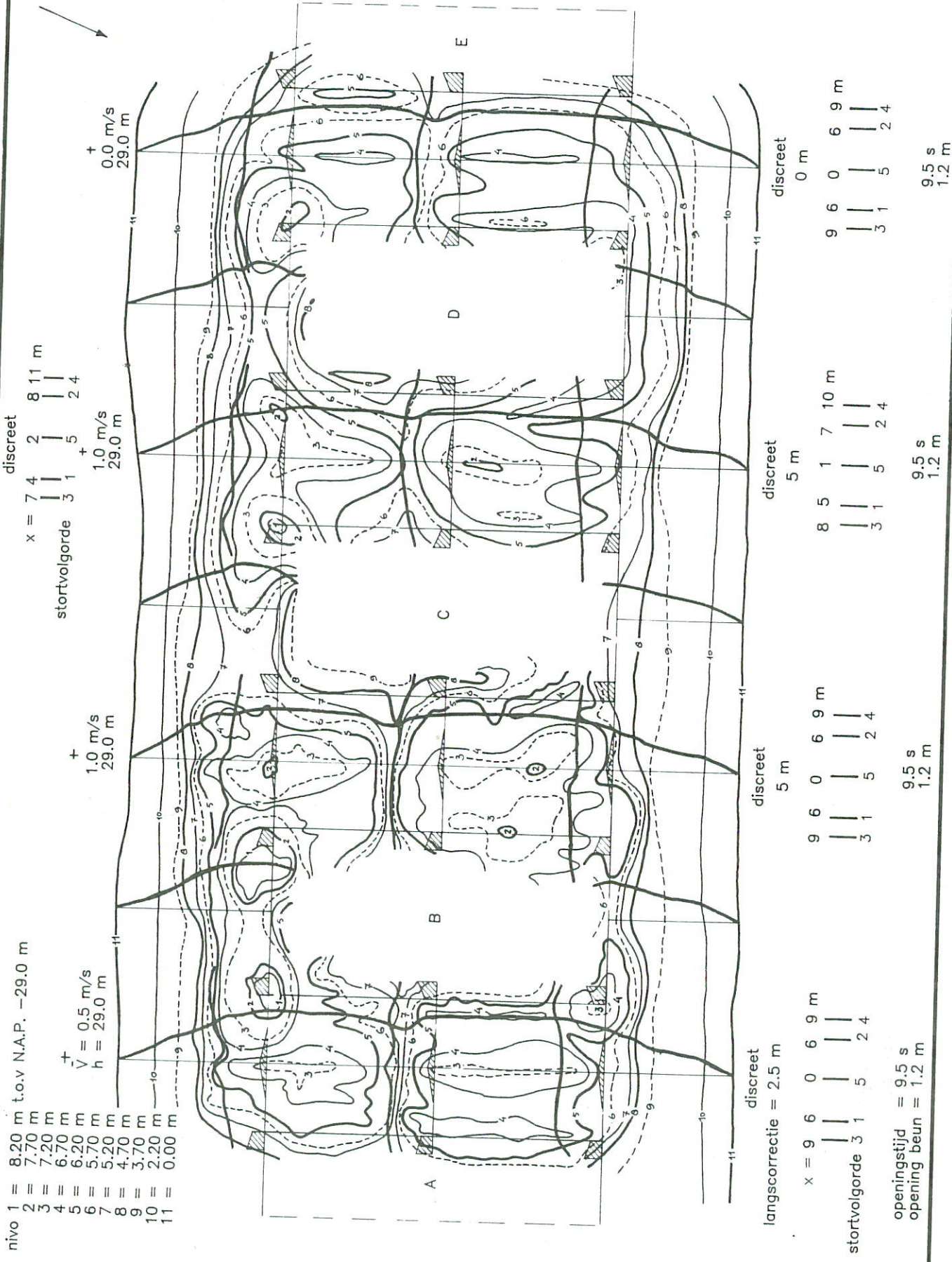
SPLUTBAK

DREMPELKERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

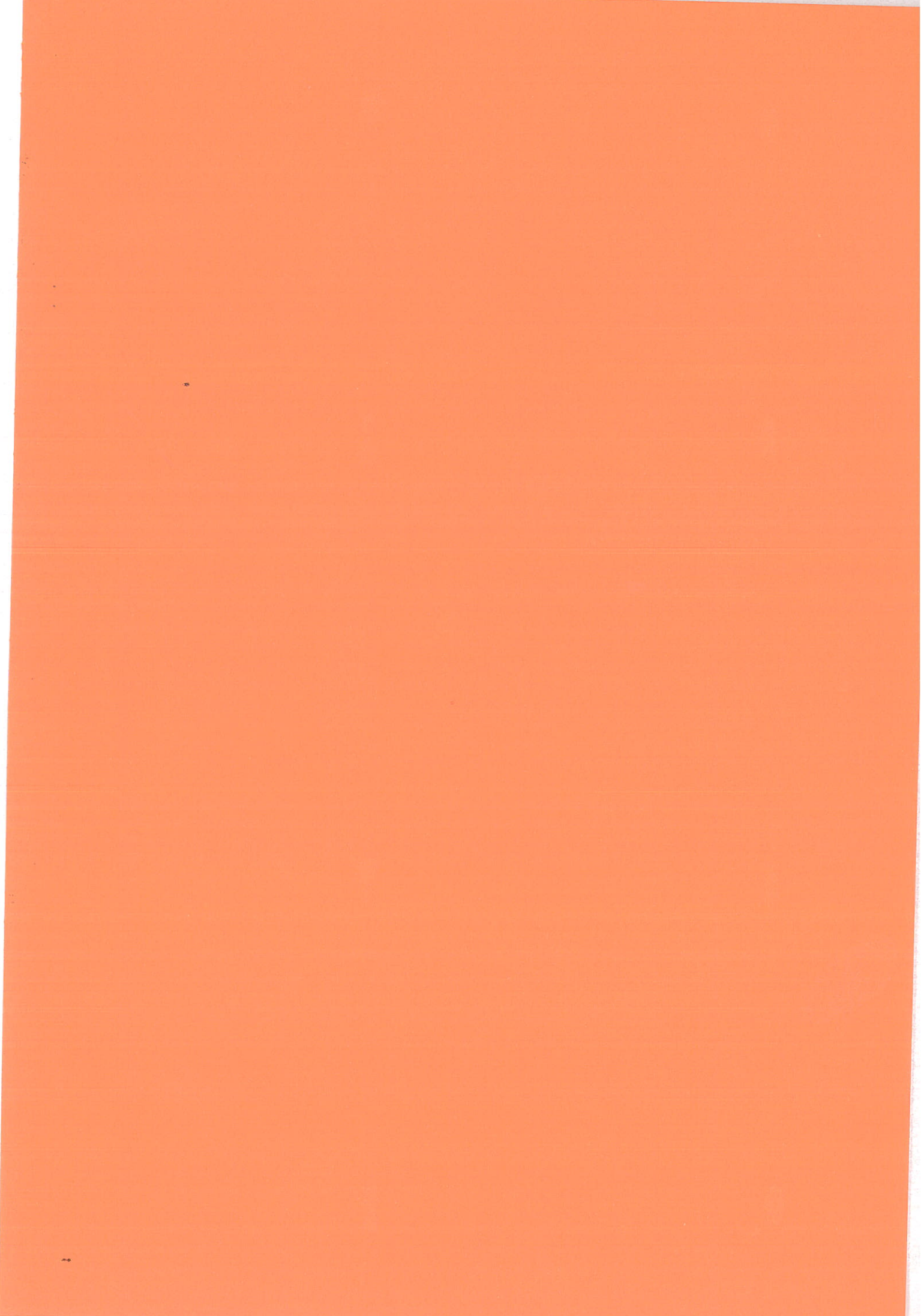
M 1768

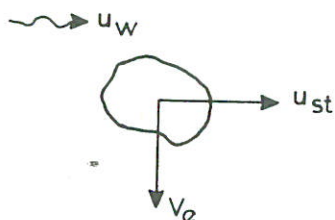
FIG. 30



HOOGTELIJGGING DREMPELKERN GESTORT VOLGENS STORTSCHEMA II

SPLUTBAK



Bijlage 1Horizontale snelheid van een steen in stromend water

De kracht, die in horizontale richting op de steen werkt, is:

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho_w \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot (u_{st} - u_w)^2 \quad (1)$$

$$\text{Volgens } F = m \cdot \frac{d u_{st}}{dt} = 1/6 \pi D^3 (\rho_s - \rho_w) \frac{d u_{st}}{dt} \quad (2)$$

Uit (1) en (2) volgt:

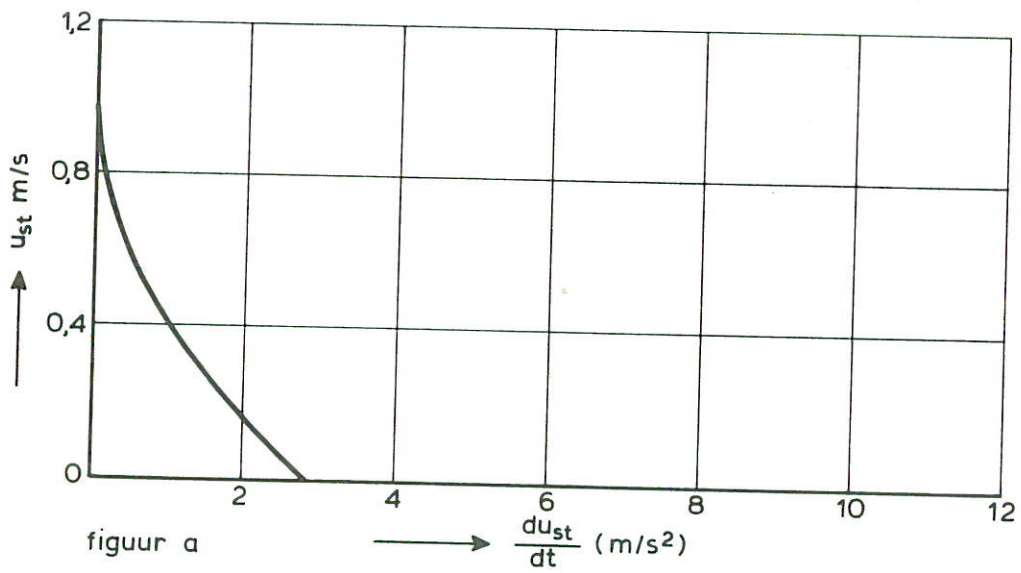
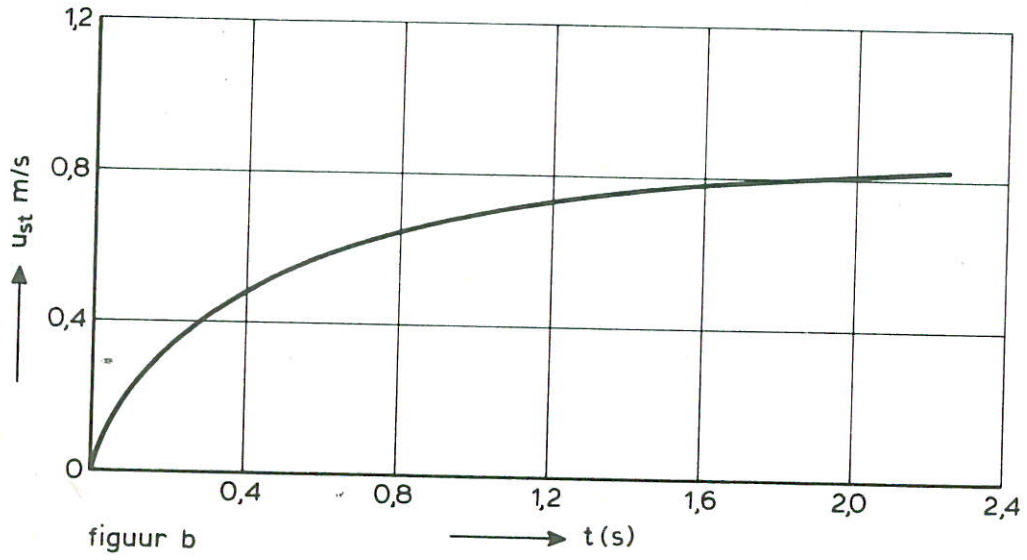
$$\frac{d u_{st}}{dt} = \frac{3}{4} \frac{C_D}{\Delta D} (u_{st} - u_w)^2 \quad (3)$$

$$\text{Stel } u_{st}(t_2) = u_{st}(t_1) + \frac{d u_{st}}{dt} \Delta t \quad (4)$$

Voor $u_w = 1,0$ m/s is (3) uitgezet in figuur a en (4) in figuur b.

Voor $\Delta D_b = 0,27$ m (5-40 kg) en $C_D = 1,0$.

Uit figuur b blijkt dat binnen 2 seconden de snelheid van de steen circa 0,8 maal de stroomsnelheid u_w bedraagt.



Bijlage 2Schatting invloed golven op baan van een individuele steen1^e Benadering

Aanname 1: De verticale snelheid van de steen $w_c = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\Delta g D}{C_D}}$ (1)

Aanname 2: horizontale snelheid van de steen $u_{st} = u_w$ (snelheid van het water) (2)

Aanname 3: De uitwijking van de steen volgt uit $\text{tg } \varphi = \frac{u_w}{w_c} = 0,85 \frac{u_w}{\sqrt{\Delta g D_b}}$ (3)

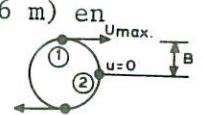
Berekening u_w

$$u_w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh [2\pi(z+d)/L]}{\cosh [2\pi d/L]} \cos \left(\frac{2\pi}{T} t \right) \quad (4)$$

Voor $z = 0$ (waterspiegel) geldt: $u_w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \cos \left(\frac{2\pi}{T} t \right)$. (5)

golfperiode	golflengte	$u_{\max} = \frac{H}{2} \frac{gT}{L}$		
		H = 0,5	H = 1,0 m	H = 1,5 m
T	L			
5	39	0,31	0,63	0,94
6	56,2	0,27	0,53	0,80
10	156	0,16	0,31	0,47

Situatie 1: golfhoogte $H = 0,5$ m, steensortering 5-40 kg ($\Delta D_b = 0,36$ m) en $u_w = u_{st} = 0,31$ m/s. Volgens (3) $\text{tg} \varphi = 0,45$ $u_w = 0,14$.
 verticale verplaatsing $B = H/2 = 0,25$ m
 horizontale verplaatsing steen $x = 0,25 \times 0,14 = 0,035$ m



Situatie 2: golfhoogte $H = 1,0$ m geeft $x = 0,12$ m

Situatie 3: golfhoogte $H = 1,5$ m geeft $x = 0,28$ m

Na punt 2 verandert de snelheid van richting en gaat de steen dus terug.

De verschuiving van het zwaartepunt van de steen zal dus minder zijn dan de hierboven gegeven waarden.



2^e benadering

Snelheid van de steen (horizontaal) kleiner dan de watersnelheid



$$F = 1/8 \pi D^2 C_D \rho_w u^2 = A u^2$$

$$F = M \frac{du_{st}}{dt}$$

$$A u^2 = \frac{1}{6} \pi D^3 (\rho_s - \rho_w) \frac{du_{st}}{dt}$$

$$\frac{du_{st}}{dt} = \frac{3}{4} \frac{C_D \rho_w}{D(\rho_s - \rho_w)} u^2 = K \cdot u^2$$

Met $u = \alpha \cos(kx + \omega t)$ en met $\alpha = \frac{H}{2} \frac{gT}{L}$

$$\frac{du_{st}}{dt} = K \cdot \alpha^2 \cos^2(\omega t)$$

Te beschouwen over een kwart periode

$$u_{st} = \int_{t=0}^{t=\frac{1}{4}T} k \cdot \alpha^2 \cos^2(\omega t) dt = \frac{K \alpha^2}{\omega} \left(\frac{1}{2} \omega t - \frac{1}{2} \sin \omega t \cos \omega t \right)$$

$$u_{st} = \frac{K \alpha^2}{\omega} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{T} - 0 \right) - \left(\frac{1}{2} \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} \right) \cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} - \frac{1}{2} \sin 0 \cos 0 \right) \right]$$

$$u_{st} = \frac{K \alpha^2}{2\pi} T \left(\frac{2\pi}{8} - 0 \right) = \frac{K \alpha^2 T}{8}$$

Over de periode $0 - \frac{1}{4} T$ is het gemiddelde van u_{st} :

$$\bar{u}_{st} = \frac{1}{T/4} \cdot \frac{K \alpha^2 T}{8} = \frac{K \alpha^2}{2}$$

Voor steen 5-40 kg bedraagt $K = 2,16$.

T	L	H = 0,5		H = 1,0 m		H = 1,5 m	
		α	u_{st}	α	u_{st}	α	u_{st}
5	39	0,31	0,09	0,63	0,43	0,94	0,95
6	56,2	0,27	0,08	0,53	0,30	0,80	0,70
10	156	0,16	0,03	0,31	0,11	0,47	0,24

De 2e benadering geeft duidelijk kleinere waarden voor u_{st} dan de 1e benadering en derhalve ook kleinere horizontale verplaatsingen.

Geconcludeerd wordt dat de invloed van golven op de horizontale verschuiving verwaarloosbaar klein is.

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands