

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

stroombestendigheid gabions

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

R 1795

december 1982

12.DEC.1982

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

stormvloedkering Oosterschelde

stroombestendigheid gabions

verslag modelonderzoek

R 1795

december 1982

INHOUD

	blz.
1. <u>Opdracht en doel van het onderzoek</u>	1
2. <u>Conclusies</u>	3
3. <u>Uitgangspunten bij het onderzoek</u>	4
3.1 Bepaling bodemschuifspanningen in de goot.....	4
3.2 Bepaling relatieve dichtheid gabions.....	5
4. <u>Opzet van het onderzoek</u>	7
4.1 Proefopstelling.....	7
4.2 Metingen.....	8
5. <u>Resultaten</u>	9
5.1 Modelresultaten.....	9
5.2 Waarden van ψ_{kr}	11
5.3 Kritieke stroomsnelheid gabions D = 0,5 m voor begin van ver- plaatsing.....	12

REFERENTIES

FIGUREN

- 1 Dwarsdoorsnede negatieve overlap
- 2 Stroomgoot te Lith
- 3 Proefopstelling
- 4 T1, Stroomsnelheden raai 12,5

TABEL

- 1 Overzicht verrichte proeven en resultaten

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

Stroombestendigheid gabions

1. Opdracht en doel van het onderzoek

Op sommige plaatsen in de Hammen en de Roompot is de toplaag van de negatieve overlap tussen 2 funderingsmatten, bestaande uit breuksteen 40-230 mm, onvoldoende stroombestendig bij de nadering van een pijlerfront. Als stroombestendige afdeklaag kunnen mogelijk gabions worden toegepast (zie figuur 1). Na het plaatsen van de pijlers zal de laag gabions dan worden afgedekt met stortsteen 60-300 kg of 300-1000 kg. Vervolgens zal het totale pakket worden verdicht met behulp van een trilplaat. Zoals uit figuur 1 blijkt, wordt niet alleen de laag breuksteen 40-230 mm afgedekt met de gabions, maar voor een deel ook de bovenkant van de funderingsmat. Na vertering van het bovenste kunststoffilter in de funderingsmat moet het vulmateriaal in de gabions ook als filter fungeren voor het grind 8-40 mm uit de funderingsmat. Het doel van het in dit verslag beschreven onderzoek is na te gaan of:

- a de gabions voldoende stroombestendig zijn;
- b of ze voldoende bescherming bieden aan het onderliggend materiaal (40-230 mm).

Ad a

De stroombestendigheid van de gabions wordt beoordeeld door het bepalen van de kritieke stroomsnelheid voor het begin van bewegen in de ongestoorde situatie, dus zonder de aanwezigheid van pijlers en dergelijke. Deze kritieke stroomsnelheid voor de gabions wordt vergeleken met de kritieke stroomsnelheid voor het begin van bewegen van breuksteen, waardoor kan worden nagegaan of de stroombestendigheid van de gabions evenals bij breuksteen bepaald wordt door de parameter ΔD (Δ = relatieve dichtheid en D een kenmerkende diameter van de breuksteensortering).

Ad b

Voor loskorrelige materialen is een laagdikte van 1,5 D doorgaans voldoende om de onderliggende laag te beschermen. Uit kosten oogpunt is een dunnere laag echter aantrekkelijk. De minimaal vereiste laagdikte zal in het onderzoek moeten worden bepaald, waarbij ook de invloed van een verhoogde turbulentie moet worden meegenomen.

De opzet van het onderzoek vond plaats in overleg met ir. M.R. van der Does de Bye van de Hoofdafdeling Waterloopkunde en ing. K.A. van de Hoek van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat. Een onderzoekvoorstel d.d. 27 april 1982 werd gehonoreerd met een schriftelijke opdracht voor het uitvoeren van het onderzoek d.d. 1 juni 1982 met kenmerk WT 1566. Het onderzoek maakt deel uit van projekt SVK, Pb3 code 175.4.17.311.10.

Het onderzoek, dat in de maanden april en mei 1982 in de stroomgoot bij de stuw te Lith (met een lengteschaal van 5) werd uitgevoerd, stond onder leiding van ing. K. van de Hoek van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Rijkswaterstaat en ir. J.L.M. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium. Bitumarin B.V. zorgde bij de uitvoering van het onderzoek voor personeel en materieel. Dit verslag werd samengesteld door ir. J.L.M. Konter.

2. Conclusies

1. De kritieke stroomsnelheid voor het begin van verplaatsing van kubusvormige gabions met een ribbe van 0,5 m, aangebracht in een laag met een dikte van 0,75 maal de ribbe bedraagt circa 9,7 m/s bij een waterdiepte van 20 m.
2. De stabiliteit van de in model toegepaste gabions bleek groter te zijn dan de stabiliteit van betonnen kubussen met overeenkomstige afmetingen.
3. Een laag gabions met een dikte van 0,75 maal de ribbe is voldoende om de onder de gabions liggende breuksteen 40-230 mm te beschermen tegen de overtrekkende stroom zolang de stroomsnelheden kleiner zijn dan de kritieke stroomsnelheden voor de gabions.

3. Uitgangspunten bij het onderzoek

3.1 Bepaling bodemschuifspanningen in de goot

De in het model toegepaste stroomsnelheden kunnen niet zonder meer via Froude-schaal worden vertaald naar de stroomsnelheden voor het prototype. Dit wordt veroorzaakt door de afwijkende waterdiepte, de aanwezigheid van de gootwanden, en de in lengterichting van de goot nog niet aangepaste snelheidsverticaal. Ten behoeve van een gefundeerde prognose voor het prototype is het daarom noodzakelijk uit te gaan van de op de gabions uitgeoefende schuifspanningen (of schuifspanningssnelheden).

Op grond van de resultaten van het onderzoek in een kleine stroomgoot naar het transport van zeegrind onder getijomstandigheden ten behoeve van de negatieve overlap (zie verslag modelonderzoek M 1681, [1]) is uitgegaan van de volgende relatie voor de bodemschuifspanning:

$$\tau_b = \rho_w g \frac{\bar{u}_{as}^2}{C^2}, \quad (1)$$

waarin:

τ_b	= bodemschuifspanning	(N/m ²)
ρ_w	= soortelijke dichtheid van het water	(kg/m ³)
g	= versnelling van de zwaartekracht	(m/s ²)
\bar{u}_{as}	= gemiddelde stroomsnelheid in de as	(m/s)
C	= Chézy-coëfficiënt = $18 \log \frac{12 h}{k}$	(m ^{1/2} /s)
h	= waterdiepte	(m)
k	= bodemruwheid ($\approx 2 D$)	(m)
D	= ribbe van een gabion, of $(M_{50}/\rho_s)^{1/3}$ voor stortsteen	(m)
M_{50}	= massa van een steen, overschreden door 50 (massa) procent van de stenen	(kg)
ρ_s	= dichtheid van de stenen	(kg/m ³)

De kritieke bodemschuifspanningssnelheid u_* kan met behulp van (1) worden geschreven als:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho_w}} = \frac{\bar{u}_{as}}{C} \sqrt{g} \quad (2)$$

Als dimensieloze parameter voor de bodemschuifspanningen wordt (onder andere door Shields) de parameter ψ ingevoerd, welke gedefiniëerd is als:

$$\psi = \frac{u_*^2}{\Delta g D} \quad (3)$$

waarin:

Δ = relatieve dichtheid van de bestortingen (-)

Bij eenparige stroming worden de condities voor begin van beweging of verplaatsing beschreven als:

$$\psi_{kr} = f(Re_*) \quad (4)$$

waarin:

$Re_* = \bar{u} \cdot D / \nu =$ getal van Reynolds (-)

ν = kinematische viscositeit van het water (m^2/s)

ψ_{kr} = kritieke dimensieloze bodemschuifspanningscoëfficiënt ($= u_{*kr}^2 / \Delta g D$)

Bij $Re_* > ca. 600$, waaraan als regel wordt voldaan als $D > ca. 4 \cdot 10^{-3}$ m wordt ψ_{kr} constant. Voor begin van verplaatsen van stortsteen geldt $\psi_{kr} = 0.04$. Met behulp van het onderhavige onderzoek kan ψ_{kr} voor gabions bepaald worden, waarna met (2) en (3) de kritieke stroomsnelheid voor begin van verplaatsen bij een eenparige stroming berekend kan worden voor overeenkomstige situaties in het prototype. In paragraaf 5.1 zijn de modelresultaten beschreven, waaruit de waarden van ψ_{kr} in paragraaf 5.2 zijn bepaald.

3.2 Bepaling relatieve dichtheid gabions

Uitgangspunt bij het onderzoek was de beoordeling van de stroombestendigheid van de gabions in termen van ΔD waarbij D vastligt en Δ dient te worden afgeleid.

De relatieve dichtheid van stenen is gedefiniëerd als:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (5)$$

Voor gabions moet rekening worden gehouden met de holle ruimte tussen de stenen.

$$\Delta = \frac{(1-\epsilon)(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \quad (6)$$

waarin

ε = holtepercentage (-)

Voor een betonnen kubus ($\varepsilon = 0$) gaat (6) over in (5).

Het holtepercentage van de gabions kan worden bepaald met:

$$(1-\varepsilon)\rho_s D^3 = \rho_1 D^3 = M \tag{7}$$

waarin:

M = massa van een gabion (kg)

ρ_1 = dichtheid van een gabion = $(1-\varepsilon)\rho_s$ (kg/m³)

Het holtepercentage werd proefondervindelijk bepaald. De gabions met een ribbe $D = 0,062$ m bleken een massa te bezitten van 0,42 kg en het grind 8-40 mm in de gabions een dichtheid van 2600 kg/m³. Uitgaande van deze waarden volgt met behulp van (7) een holtepercentage van 32% en met behulp van (6) een relatieve dichtheid $\Delta = 1,08$.

De gabions met een ribbe van 0,10 m bleken een massa te bezitten van 1,76 kg, zodat met behulp van (6) en (7) eveneens een holtepercentage van 32% en een relatieve dichtheid $\Delta = 1,08$ voor deze gabions volgt.

4. Opzet van het onderzoek

4.1 Proefopstelling

Een overzicht van de proefopstelling in de stroomgoot te Lith is gegeven in de figuren 2 en 3. Voor toepassing in het prototype wordt gedacht aan kubusvormige gabions met een ribbe van 0,5 m. De vulling bestaat uit breuksteen 40-230 mm² en een omhullingsmateriaal bestaat uit gaas met rechthoekige mazen van 50x38 mm en een draaddikte van 1,6 mm. Deze gabions in het model hebben een ribbe van 0,10 m ($n_1 = 5$). De vulling bestaat uit grind 8-40 mm en het omhullingsmateriaal bestaat uit gaas met mazen 12x12 mm² met een draaddikte van 0,65 mm. Ook werden gabions gebruikt met een ribbe van 0,062 m met overigens hetzelfde vullings- en verpakkingsmateriaal.

Het netto-proefvak heeft afmetingen van 4x1 m² (zie figuur 3). De randen, 0,5 m breed langs de gootwanden, bestaan uit stenen met ongeveer dezelfde afmetingen en ruwheid als de verschaalde gabions. Voor en achter het proefvak werd eveneens met behulp van deze stenen over een afstand van respectievelijk 8 en 5 m de ruwheid van de bodem aan die van de gabions aangepast met behulp van staalslakken 40-160 mm. In de lengte werd het proefvak in 5 vakken verdeeld (vak 1 en 2 met een afmeting van 0,5 x 1 m² en de vakken 3, 4 en 5 met afmetingen van 1 x 1 m²). De gabions in deze vakken en het onderliggende grind werden in verschillende kleuren gespoten om schade na uitvoering van de stroomproef in beeld te kunnen brengen.

De gabions werden gestort in een waterlaag van 0,5 m volgens een zodanig plotsysteem, dat het gewenste aantal gabions per m² ($= (1-\epsilon) \cdot \text{laagdikte/volume van een gabion}$) werd bereikt.

Teneinde de invloed van verhoogde stroomsnelheden en turbulenties na te gaan op de filterwerking van de laag gabions werd bij de proeven T2 en T3 een paal met diameter van 0,3 m ter plaatse van raai 10 (zie figuur 3) verticaal in de goot geplaatst.

Om de stabiliteit van de gabions te kunnen vergelijken met de stabiliteit van massieve elementen met gelijke vorm werden ook betonnen kubussen onderzocht T5 ($D = 0,083 \text{ m}$, $\rho_s = 2728 \text{ kg/m}^3$) en T7 ($D = 0,060 \text{ m}$, $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$).

4.2 Metingen

De stroomsnelheid werd tijdens de proeven in stappen van 0,25 m/s vanaf 2,0 m/s opgevoerd. Elke ingestelde stroomsnelheid werd gedurende een periode van ongeveer 20 minuten constant gehouden, waarna de goot werd drooggezet om de eventueel opgetreden schade visueel waar te nemen en in kaart te brengen. Met deze werkwijze kan alleen het begin van verplaatsing worden waargenomen. Tijdens de proeven zijn de gabions niet te zien, zodat begin van beweging niet kan worden waargenomen.

De stroomsnelheden werden gemeten met een Ott-molen op 3 verschillende plaatsen (raai 7,5, 10 en 12,5, zie figuur 3) in het midden van de goot, op afstanden van 0,3 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,6 m en 2,5 m vanaf de bodem. Bij enkele proeven werden ook in de breedterichting van de goot snelheidsverticalen gemeten. Tijdens de proeven werd met behulp van een baak globaal de waterstand (en verhanglijn) gemeten.

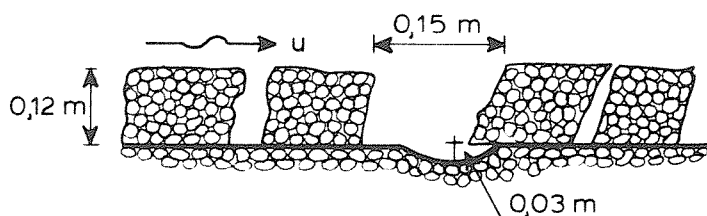
Indien de maximaal in de goot instelbare stroomsnelheid (3,4 à 3,7 m/s) werd bereikt zonder dat er een duidelijk waarneembare verplaatsing van de gabions werd waargenomen, werd de maximaal in de goot instelbare stroomsnelheid gedurende langere tijd gehandhaafd.

5. Resultaten

5.1 Modelresultaten

T1, T4 gabions $D = 0,10$ m ($\rho_1 = 1760$ kg/m²)

Bij proef T1 en reproductieproef T4 werden per m² 49 gabions met afmetingen $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ m³ (model) gestort om een laagdikte te verkrijgen van gemiddeld $0,075$ m. Het storten vond plaats bij een waterdiepte van $0,6$ m. Na het storten werd de goot drooggezet om de uitgangssituatie van de gabions vast te leggen. Tengevolge van het nog niet optimaal werken van het stortstelsel lagen bij proef T1 de gabions niet gelijkmatig verdeeld. De gabions die teveel gestapeld lagen, werden met de hand zodanig verplaatst, dat bij het begin van de proef geen gaten in de laag gabions aanwezig waren groter dan de afmetingen van 1 gabion (in model $0,1$ m). Bij proef T4 was deze correctie niet noodzakelijk. Uit tabel 1 blijkt dat de stroomsnelheid in stappen werd opgevoerd tot de maximaal in de goot instelbare stroomsnelheid van $3,3$ m/s. In figuur 4 zijn de in raai 12,5 gemeten snelheidsverticalen weergegeven. Bij proef T1 ontstond bij stroomsnelheden groter dan $2,5$ m/s een verplaatsing van de gabions die boven de laag uitstaken. De gabions bleken enigszins in de stroomrichting te vervormen. Bij de onderliggende laag $8-40$ mm (model) werd bij een stroomsnelheid van $3,3$ m/s een geringe verplaatsing waargenomen. De bovenkant van deze laag was niet meer egaal van kleur en voor een enkele geïsoleerd liggende gabion was een kuultje in het grind $8-40$ mm ontstaan van circa $0,03$ m.



Bij de reproductieproef T3 werd bij een stroomsnelheid van $3,3$ m/s zowel aan de gabions als aan de onderliggende laag $8-40$ mm geen schade waargenomen. Wel werd schade geconstateerd aan de staalslakken ($\Delta D = 0,17$ m) welke naast het proefvak als ruwheid waren aangebracht.

T2, T3, gabions $D = 0,1$ m $\rho_1 = 1760$ kg/m², rondom paal

Bij de proeven T2 en T3 werd in het midden van het proefvak ter plaatse van raai 10 een paal aangebracht met een diameter van $0,3$ m. Ten gevolge van deze

paal ontstaan plaatselijk hogere stroomsnelheden en turbulenties. Uit [2] is bekend dat de kritieke stroomsnelheid voor begin van bewegen van stortsteen rondom een paal ongeveer de helft is van de kritieke stroomsnelheid bij een eenparige stroming. Bij proef T2 was de laagdikte $0,75 D$ (49 gabions per m^2). Aan de voorzijde van de paal ontstond bij een aanstroomsnelheid van $2,1$ m/s schade aan de gabions en de onderliggende laag $8-40$ mm. De maximale kuildiepte in de laag $8-40$ mm bedroeg $0,1$ m. De gabions waren in de kuil bijgezakt. Bij een stroomsnelheid van $2,3$ m/s was de kuildiepte door uitspoeling van het grind $8-40$ mm door de laag gabions toegenomen tot $0,2$ m. Bovendien waren er weer 2 gabions uit hun vak verplaatst (zie tabel 1).

In proef T3 werd een laagdikte van $1,5 D$ onderzocht (98 gabions/ m^2). De gabions aan de voorzijde van de paal begonnen te verplaatsen bij een aanstroomsnelheid van $2,5$ m/s terwijl bij een aanstroomsnelheid van $2,9$ m/s ook grind tussen de gabions werd weggezogen. De kuildiepte na 15 min. bedroeg $0,06$ m en na 45 minuten stromen $0,15$ m. De gabions zakten bij in de kuil. Tengevolge van de paal ontstonden benedenstrooms van de paal verhoogde stroomsnelheden en turbulenties, die echter geen verplaatsing van grind $8-40$ mm door de $1,5 D$ dikke laag gabions veroorzaakten.

Uit de proeven T2 en T3 blijkt dat een laag gabions met een dikte van $0,75$ maal de ribbe voldoende is, om de onder de gabions liggende laag (breuksteen $40-230$ mm (prototype)) te beschermen tegen de overtrekkende stroom, zolang de stroomsnelheden ervan kleiner zijn dan de kritieke stroomsnelheid voor de gabions. De kritieke stroomsnelheid voor begin van verplaatsen is bij eenparige stroming volgens [2] en proef T2 $\bar{u}_{kr} = 2 \cdot 2,1 = 4,2$ m/s.

T5, kubussen met een ribbe van $0,083$ m ($\rho_s = 2728$ kg/ m^3)

Kubussen met een ribbe van $0,083$ m en een dichtheid van 2728 kg/ m^3 ($\Delta D = 0,14$ m) bleken nog stabiel te zijn bij een maximaal in de goot instelbare stroomsnelheid van $3,4$ m/s. De laagdikte bij deze proef was $0,75 D$ (64 kubussen/ m^2)

T6, gabions ($D = 0,062$ m, $\rho_g = 1760$ kg/ m^3)

De kritieke stroomsnelheid voor begin van verplaatsen van gabions met $D = 0,062$ m is volgens proef T6 circa $3,4$ m/s. Gedurende in totaal circa 75 minuten is met een stroomsnelheid van circa $3,3$ m/s gestroomd zonder dat een duidelijke verplaatsing werd waargenomen. Binnen het vak waren de gabions wel iets verschoven.

T7, kubussen (D = 0,06 m, $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$)

Ondanks de grotere massa van de kubussen bleken ze instabieler te zijn dan gabions met een D = 0,062 m. Bij een stroomsnelheid van $\bar{u} = 2,1 \text{ m/s}$ werd plaatselijk een verschuiving (0,05 m) van de kubussen geconstateerd, bij een stroomsnelheid van $\bar{u} = 2,3 \text{ m/s}$ plaatselijk een verschuiving van 0,10 m. Door deze verschuivingen ontstonden ruimten tussen de kubussen van circa 0,10 m. Desondanks werd geen verplaatsing van het onderliggend grind geconstateerd tot een stroomsnelheid van 2,6 m/s. Bij een stroomsnelheid van 2,8 m/s bezweek de gehele laag kubussen.

5.2 Waarden van ψ_{kr}

Uitgaande van de proefresultaten T1...T7 zijn de waarden van ψ_{kr} berekend en vermeld in onderstaande tabel.

elementen	D (m)	Δ (-)	\bar{u}_{kr} (m/s)	h (m)	C $\text{m}^{1/2}/\text{s}$	ψ_{kr}
gabions	0,100	1,08	4,2	2,2	38,2	0,11
gabions	0,062	1,08	3,4	1,7	39,9	0,11
kubussen	0,083	1,73	> 3,3	1,7	37,6	> 0,054
kubussen	0,060	1,50	2,6	2,1	41,8	0,043
staalslakken	0,080	2,40	3,3	1,7	37,9	0,040
60-300 kg	0,400	1,75	4,1	1,2	22,9	0,045

Tabel Kritieke stroomsnelheden en waarden van ψ_{kr}

Doordat bij proef T4 ook de staalslakken begonnen te verplaatsen kon ook de waarde van ψ_{kr} voor de staalslakken berekend worden. Ook van een in het verleden in de stroomgoot uitgevoerde stabiliteitsproef voor stortsteen 60-300 kg is de ψ_{kr} -waarde berekend en in de tabel opgenomen.

Uit de tabel blijkt dat de gabions ondanks een kleinere relatieve dichtheid een aanmerkelijk hogere ψ -waarde hebben dan de overige elementen. Gezien het verschil in ψ_{kr} tussen de kubusvormige gabions en de betonnen kubussen kan deze hogere ψ -waarde niet worden toegeschreven aan de vorm van de gabions.

Een mogelijke verklaring voor de hogere ψ_{kr} van de gabions zou kunnen zijn dat de gabions de mogelijkheid hebben tot het vervormen in de stroomrichting, waardoor de sleepkracht op de gabion zou kunnen verminderen. Ook kan een

vermindering van de liftkracht zijn opgetreden door de waterdoorlatendheid van de gabions. De mazen in het gaas waren ongeveer gelijk aan de steendiameter. Hierdoor vond tijdens de proeven met hoge stroomsnelheden enige uitspoeling van kleine steentjes plaats. Het is daarom niet ondenkbaar dat het bovenste deel van de gabions relatief waterdoorlatend werd waardoor over- en onderdrukken, die de stabiliteit verminderen, werden genivelleerd.

Proeven met relatief waterdoorlatende katoenen zakjes gevuld met graniet schilfers [3] gaven een geringere stabiliteit voor deze zakjes als betonnen kubussen met dezelfde afmetingen. De zakjes hadden een diameter van 0,053 m en een lengte van 0,090 m en waren gevuld met graniet schilfers met gemiddelde afmetingen van $0,020 \times 0,0125 \times 0,0074 \text{ m}^3$ ($\Delta = 0,80$). Dit onderzoek werd vergeleken met proeven van het Hydraulics Research Station Wallingford [4]. Onderzocht werd de invloed van de waterdoorlatendheid van het omhulsel en de vulgingsgraad van de gabions (87-100%). Er werd geen significant verschil gevonden tussen de verschillende proeven. Opmerkelijk is dat zowel uit [3] als uit [4] bleek dat de stabiliteit van gabions in een bodemverdediging of in een dam aanmerkelijk hoger is dan de stabiliteit van een individuele gabion. Volgens [3] en [4] zou een individuele gabion met een $D = 0,5 \text{ m}$ en $\Delta = 0,94$ zijn stabiliteit verliezen bij circa 1,5 m/s en een individuele betonnen kubus ($D = 0,5 \text{ m}$, $\Delta = 1,1$) bij circa 2,8 m/s. Dit is aanmerkelijk lager dan op grond van de onderhavige proeven mag worden verwacht voor gabions en betonnen kubussen in een stortebed (respectievelijk 9,7 m/s en 6,7 m/s, zie paragraaf 5.3).

5.3 Kritieke stroomsnelheid gabions ($D = 0,5 \text{ m}$)

De kritieke stroomsnelheid voor begin van verplaatsing van gabions bij een eenparige stroming volgt uit (2) en (3)

$$\bar{u}_{kr} = \frac{C}{\sqrt{g}} u_{*kr} \quad (8)$$

Uitgaande van $\psi_{kr} = 0,11$, een waterdiepte van 20 m, $C_{prot} \approx 43 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, $\Delta_{prot} = (1-0,43) \cdot 1,65 = 0,94$, $D = 0,5 \text{ m}$ volgt met (3): $u_{*kr} = 0,71 \text{ m/s}$ en met (8): $\bar{u}_{kr} = 9,7 \text{ m/s}$. Bij deze stroomsnelheid bleek een laagdikte van de gabions van $0,75 D$ voldoende te zijn om de onderliggende laag (40-230 mm) tegen erosie te beschermen.

Opgemerkt wordt dat bij deze berekeningen is uitgegaan van een holtepercentage van de gabions van 43 %, terwijl bij de modelgabions een holtepercentage van 32% werd gemeten. Het verdient aanbeveling het holtepercentage van de gabions in het prototype te bepalen, en zonodig in verband daarmee de kritieke stroomsnelheid te corrigeren.

REFERENTIES

- 1 AKKERMAN, G.J.
Stormvloedkering Oosterschelde, negatieve overlap fundatiebedmatten;
transport van zeegrind onder getijomstandigheden
verslag modelonderzoek M 1681
Delft, Waterloopkundig Laboratorium, september 1981

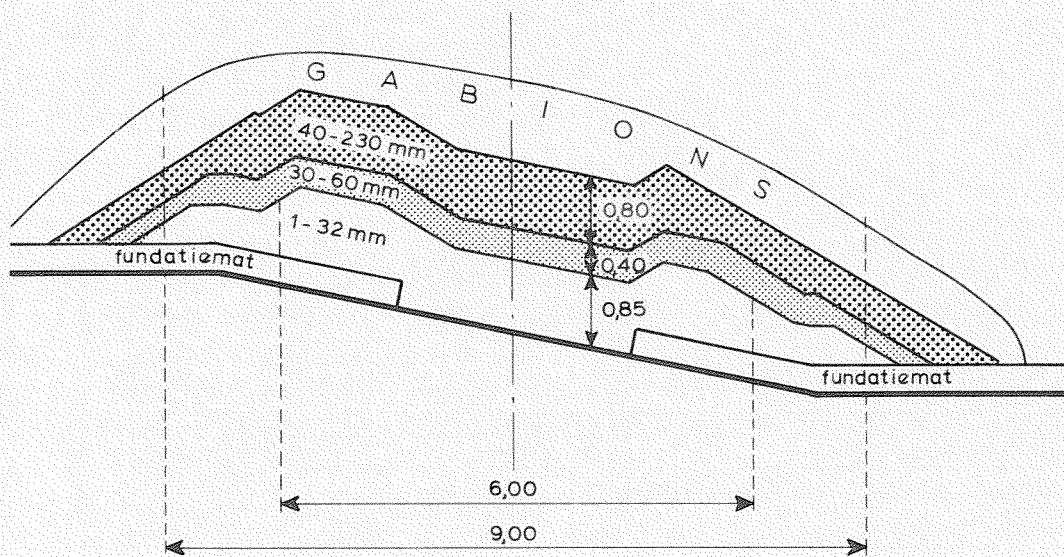
- 2 BREUSERS, H.N.C., NICOLLET, G., SHEN, H.W.
Local scour around cylindrical piers
Journ. of Hydr. Research, 15, no. 3 1977

- 3 ALLEN, J.D.
An investigation of the stability of bed materials in a stream of water
Journ. of the Institution of civil engineers, no. 5 1941-42

- 4 Hydraulics Research Station Wallingford
Tidal Barrier, stability of blocks and gabions
Hydraulics Research 1968 p. 35

proef nr.	D (m)	Δ	massa kg	laagdikte (m)	\bar{u} (m/s)	h (m)	aantal verplaat- ste gabions (cumulatief)	schade 40-230 mm	opmerkingen
T1	0,10	1,08	1,76	0,075	1,88	2,21	1	-	
					2,04	2,19	1	-	
					2,18	2,14	2	-	
					2,54	1,98	4	-	
					2,77	1,88	7	-	
					3,04	1,82	7	-	
					3,35	1,68	7	x	
T2 (paal)	0,10	1,08	1,76	0,075	1,9	2,29	-	-	rondom paal 0,10 m erosie rondom paal 0,20 m erosie
					2,1	2,23	4	x	
					2,3	2,04	6	x	
T3 (paal)	0,10	1,08	1,76	0,15	1,8	2,30	-	-	begin verplaatsing 40-230 mm rondom paal 0,06 m erosie rondom paal 0,15 m erosie
					2,0	2,22	-	x	
					2,4	2,12	4	-	
					2,5	2,04	13	-	
					2,9	1,81	14	x	
	-	-	25	x					
T4	0,10	1,08	1,76	0,075	1,84	2,29	-	-	1 staalslak verplaatst 1 staalslak verplaatst 13 staalslakken verplaatst
					2,02	2,25	-	-	
					2,31	2,07	-	-	
					2,48	2,00	-	-	
					2,84	1,84	-	x	
					3,04	1,78	-	x	
					3,24	1,70	-	x	
	3,24	1,69	-	-					
T5	0,083 beton	1,73	1,56	0,062	1,91	2,31	-	-	begin verplaatsing transport staalslakken
					2,09	2,24	-	-	
					2,35	2,19	-	-	
					2,60	2,10	-	-	
					2,81	2,03	-	-	
					3,03	1,94	-	-	
					3,26	1,85	-	x	
					3,40	1,68	-	-	
T6	0,062	1,08	0,42	0,045	1,64	2,20	*	-	verschuiving gabions in het vak 2 rijen verschoven geen verdere verplaatsing gabions schade 40-230 mm, waar stenen weg zijn
					1,86	2,16	*	-	
					2,07	2,06	1	-	
					2,36	2,04	2	-	
					2,64	1,90	3	-	
					2,81	1,84	4	-	
					2,99	1,74	5	-	
					3,15	1,72	5*	-	
					3,19	1,74	5*	x	
T7	0,060	1,50	0,54	0,045	1,8	2,31	-	-	verschuiving 5 cm in het vak verschuiving 10 cm in het vak bezwijken
					2,1	2,21	x	-	
					2,3	2,16	x	-	
					2,6	2,09	6	-	
					2,8	2,02	-	-	

Tabel 1 Overzicht verrichte proeven en resultaten

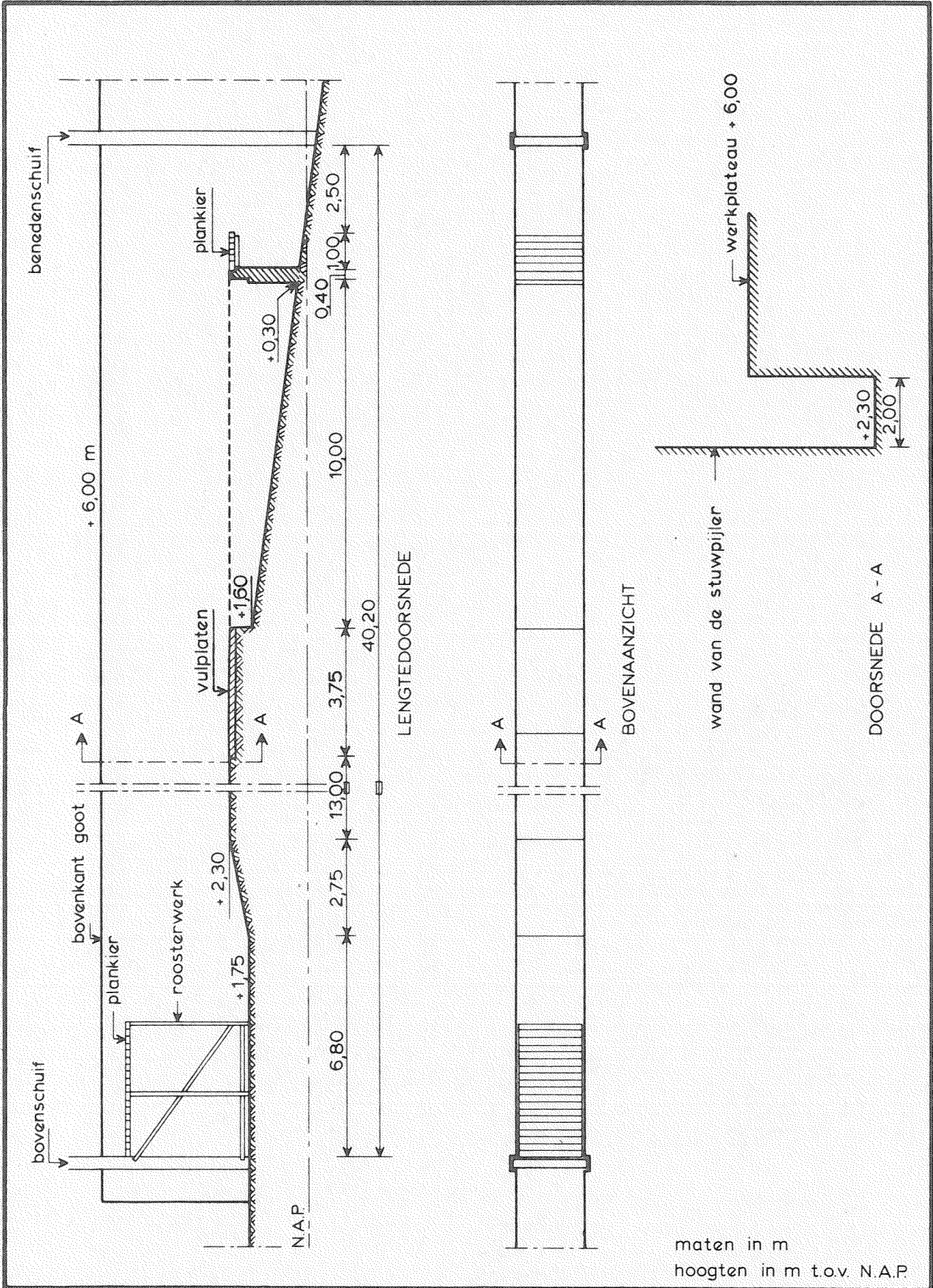


DWARSDOORSNEDE NEGATIEVE OVERLAP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1795

FIG. 1



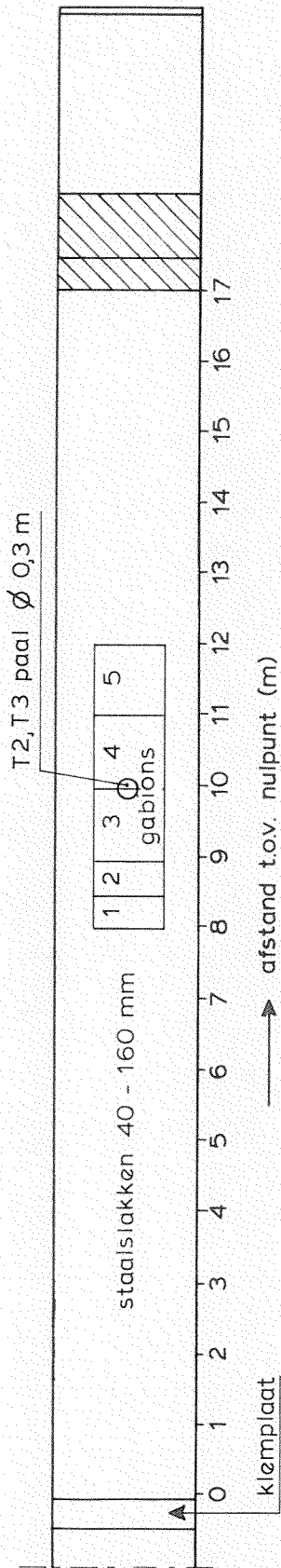
STROOMGOOT TE LITH

SCHAAL 1:150

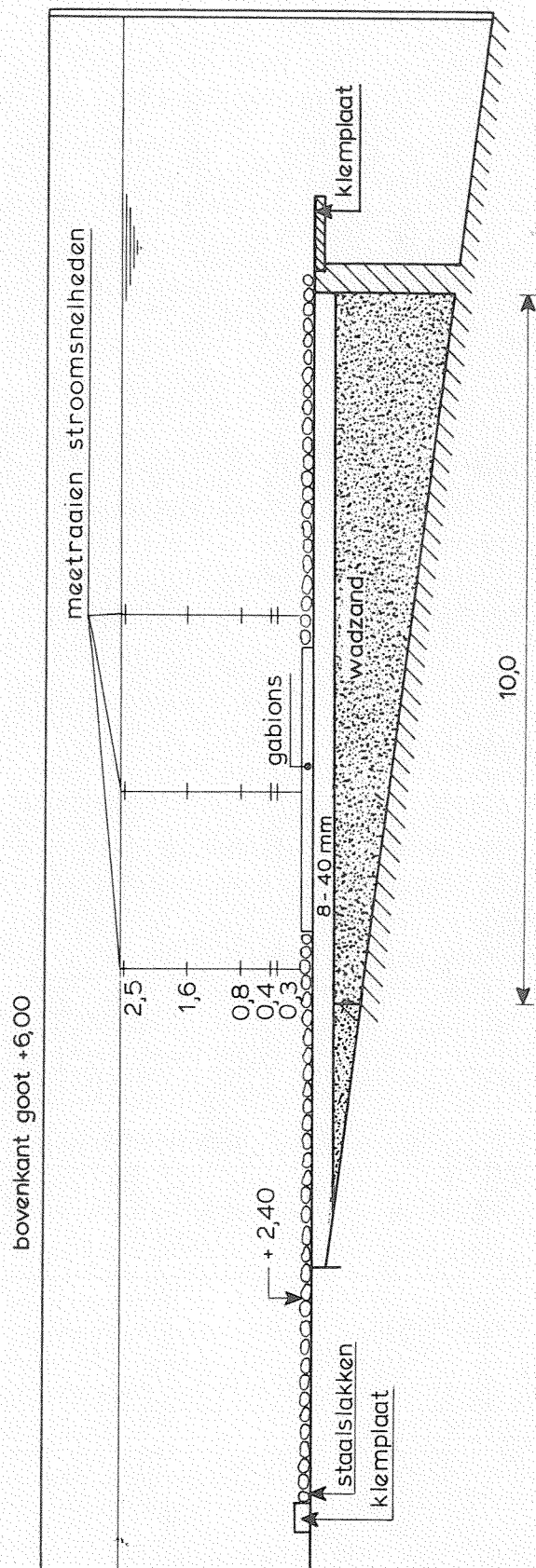
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1795

FIG. 2



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P

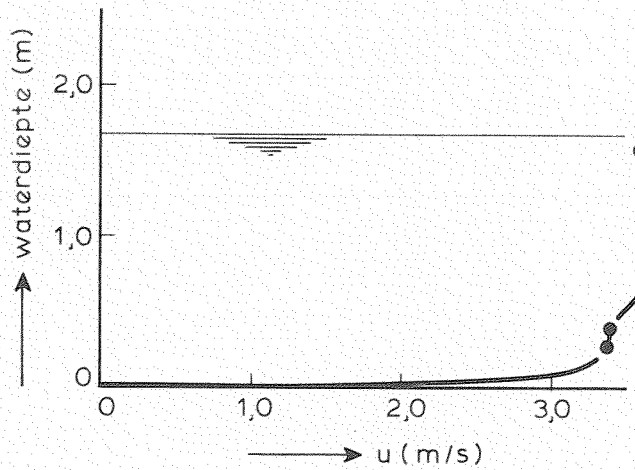
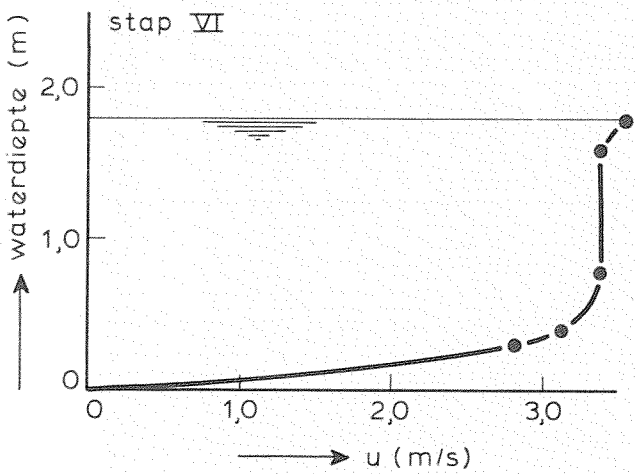
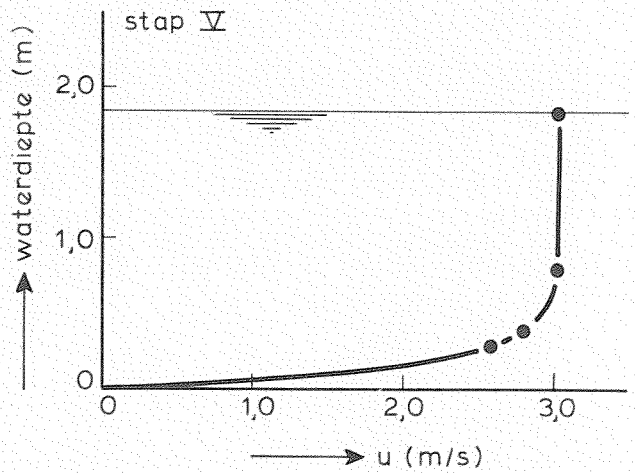
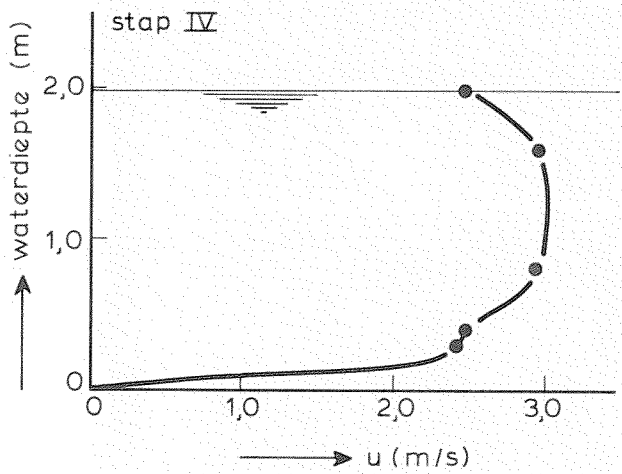
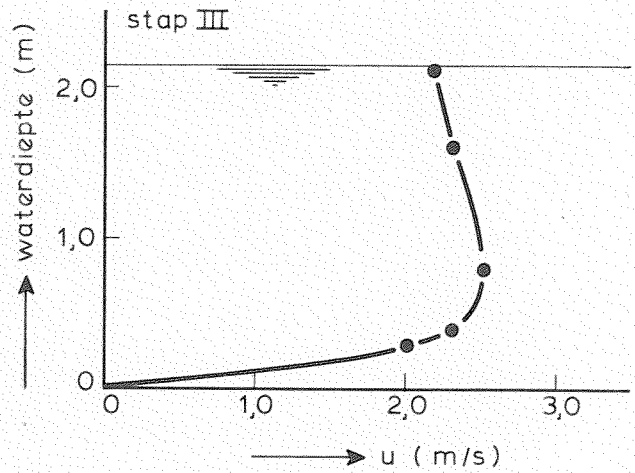
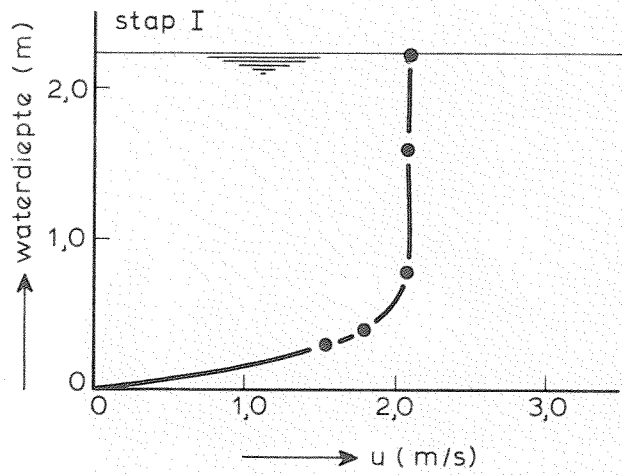
PROEFOPSTELLING

SCHAAL 1:100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1795

FIG. 3



STROOMSNELHEDEN RAAI 12,5

T 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1795

FIG. 4

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands