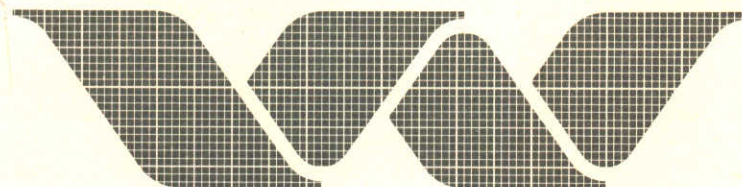


R 460-XI / R 1431



DOK

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

stabiliteit van de randen van bodemverdedigingen

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

R 460-XI / R 1431

april 1984

R0460_11



bibliotheek
postbus 177 - 2600 MH Delft
waterloopkundig laboratorium/WL

BB

WL

EXPL



R0003032

stormvloedkering Oosterschelde

stabiliteit van de randen van bodemverdedigingen

verslag modelonderzoek

R 460-XI / R 1431

april 1984

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Probleemanalyse</u>	2
2.1 Factoren die de stabiliteit van randen van zinkstukken bepalen.....	2
2.2 Overzicht onderzochte zinkstukken en er mee uitgevoerde proeven.....	3
3. <u>Conclusies</u>	6
4. <u>Proefopstelling en uitvoering van de proeven</u>	8
5. <u>Resultaten</u>	9
5.1 Zoolstuk.....	9
5.1.1 Zoolstuk bestort met fosforslakken.....	9
5.1.2 Zoolstuk bestort met stortsteen 10-80 kg.....	10
5.1.3 Zoolstuk met rietwiepen en grindbestorting.....	10
5.2 Blokkenmat.....	11
5.3 Steenasfaltmat.....	12
5.4 Grindworstenmat.....	13
6. <u>Analyse van de resultaten</u>	14

REFERENTIES

TABELLEN

1. Overzicht proeven en resultaten zoolstuk.
2. Overzicht proeven en resultaten betonblokkenmat.
3. Overzicht proeven en resultaten steenasfaltmat.
4. Overzicht proeven en resultaten grindworstenmat.

FIGUREN

- 1 Stroomgoot te Lith
- 2 Wiepenpatroon zoolstukken
- 3 Proef 73-22, meetresultaten, overlap zoolstuk (bestorting fosforslakken 650, 1850, 2000 kN/m²)
- 4 Proef 73-22, proefverloop en drukverschil over de rand
- 5 Proef 73-23, meetresultaten overlap zoolstuk (bestorting fosforslakken 2000 kN/m²)
- 6 Proef 73-33, proefverloop en drukverschil over de rand
- 7 Proef 73-24, meetresultaten zoolstuk aangestroomd vanuit ontgrondingskuil
- 8 Proef 73-24, proefverloop en drukverschil over de rand
- 9 Blokkenpatroon blokkenmat
- 10 Proefopstelling blokkenmat
- 11 Proef 74- 3, meetresultaten overlap onbestorte blokkenmatten
- 12 Proef 74- 3, proefverloop en drukverschil over de rand
- 13 Proef 73-16, meetresultaten onbestorte blokkenmat vanuit ontgrondingskuil
- 14 Proef 73-16, proefverloop en drukverschil over de rand
- 15 Proef 73-14, meetresultaten overlap bestorte blokkenmat
- 16 Proef 73-14, proefverloop en drukverschil over de rand
- 17 Proef 73-15, meetresultaten overlap bestorte blokkenmat op staalslakken
- 18 Proef 73-15, proefverloop en drukverschil over de rand
- 19 Proef T1, T2, T3 (R 1431), blokkenpatroon postzegelmat
- 20 Proef T4, T5 (R 1431), blokkenpatroon postzegelmat
- 21 Proef T1 ... T5, meetresultaten
- 22 Proef 73-17, meetresultaten overlap steenasfaltmat
- 23 Proef 73-17, proefverloop en drukverschil aan de rand
- 24 Proef 73-17 (herhaling) meetresultaten overlap steenasfaltmat
- 25 Proef 73-17 (herhaling) proefverloop en drukverschil over de rand
- 26 Proef 73-18, meetresultaten steenasfaltmat aangestroomd vanuit ontgrondingskuil
- 27 Proef 73-18, proefverloop en drukverschil over de rand
- 28 Proef 73-19, meetresultaten steenasfaltmat met scharnier, aangestroomd vanuit ontgrondingskuil
- 29 Proef 73-19, proefverloop en drukverschil over de rand

Stabiliteit van de randen van bodemverdedigingen

1. Inleiding

Bij het onderzoek naar de stabiliteit van randen van bodemverdedigingen beschreven in de verslagen R 460-III en IV is gebleken dat de vorm van de rand, met andere woorden de geometrie, van het zinkstuk van grote invloed is op de stabiliteit. Naar aanleiding hiervan werden zogenaamde omklapproeven verricht voor een nadere uitwerking van het ontwerp van een aantal in ontwikkeling zijnde nieuwe zinkstukken.

Het doel van de proeven was het bepalen van de kritieke stroomsnelheid waarbij de rand van het zinkstuk, dat met een overlap op een ander zinkstuk ligt, omklapt. Ook werd de stabiliteit van een vrij op het zand liggende zijrand onderzocht bij een stroming loodrecht op deze zijrand.

De volgende in ontwikkeling zijnde zinkstukken werden onderzocht:

- A. Zoolstuk.
- B. Betonblokkenmat.
- C. Steenasfaltmat.
- D. Grindworstenmat.

Het onderzoek in de Stroomgoot te Lith, dat plaatsvond in de periode van juli 1973 tot en met mei 1974, werd in nauw overleg tussen de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden (ing. K.A.G. Mouw) en het Waterloopkundig Laboratorium (ing. H. Derks en ing. S. Maat) uitgevoerd. De firma Bitumarin B.V. verzorgde de inzet van personeel, materieel en materiaal (steenasfaltmat).

De firma A.C.Z. verzorgde vervaardiging van de zoolstukken en de betonblokkenmat, en de firma Zinckon verzorgde de vervaardiging van de grindworstenmat. Het verslag is samengesteld door ir. J.L.M. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium.

De late verschijning van het verslag wordt veroorzaakt doordat ten tijde van het onderzoek de verslaggeving werd uitgesteld om capaciteitsredenen. De resultaten van het onderzoek zijn inmiddels gebruikt voor de verdere ontwikkeling van de verschillende typen zinkstukken. Later werd alsnog opdracht ontvangen voor de verdere afwerking van het verslag.

2. Probleemanalyse

2.1 Factoren die de stabiliteit van randen van zinkstukken bepalen

Tengevolge van de verstoring in het stroombeeld door de rand van het zinkstuk ontstaan onderdrukken aan het bovenliggend deel direkt benedenstrooms van de rand, die de rand doen oplichten als het gewicht van de rand te gering is.

De grootte van de onderdrukken blijkt afhankelijk te zijn van:

1. de stroomsnelheid
2. de hoek tussen de stroomrichting en de rand
3. de vorm van de rand
4. de doorlatendheid van de rand
5. de waterdiepte
6. de oorspronkelijke helling van de bodem.

Factoren die het oplichten van de rand tegengaan zijn:

7. het eigengewicht van het zinkstuk
8. de mechanische eigenschappen van het zinkstuk.

ad 1 Uit voorgaand onderzoek (verslag R 460-IV, [1]) is gebleken dat de drukverschillen aan de rand evenredig zijn met het kwadraat van de aanstroomsnelheid.

ad 2 Bij het onderzoek naar de stabiliteit van de rand van asfaltslabben (M 1724 [6]) werd geconstateerd dat het drukverschil P_α bij scheve aanstroming kan worden berekend door het drukverschil bij loodrechte aanstroming (P_L) te vermenigvuldigen met het kwadraat van de sinus van de hoek tussen aanstroomrichting en de rand van de asfaltslab

$$(P_\alpha = P_L \sin^2 \alpha) .$$

Bij de in dit verslag beschreven proeven werd de zijrand van het zinkstuk alleen loodrecht aangestroomd.

ad 3 en 4 De vorm en waterdoorlatendheid van de rand zijn van grote invloed op de resulterende drukkrachten.

Met name niet-afgestorte of niet-verzwaarde gedeelten van de rand met een beperkte waterdoorlatendheid, kunnen bij lage stroomsnelheid al instabiel worden en daardoor bij het verzwaarde deel instabiliteit inluiden. Aangenomen mag worden dat een hoekige vormgeving ook grotere drukverschillen zal geven dan een geleidelijker overgang. Het grotere drukverschil kan echter worden gecompenseerd door het grotere eigen-

gewicht van de rand, of door een eventueel grotere porositeit van de rand.

- ad 5 Indien de stroming de rand van het zinkstuk treft vanuit een ontgrondingskuil, zullen tengevolge van sterkere kromming van stroomlijnen grotere drukverschillen over de rand ontstaan (zie verslag R 460-IV [1]).
- ad 6 De invloed van de waterdiepte op de proefresultaten werd niet in de stroomgoot te Lith onderzocht. De bij het onderzoek ingestelde waterdiepten zijn circa 0,1 van de waterdiepten in het prototype (Oosterschelde). Hierdoor zal de profielvernauwing in de stroomgoot groter zijn dan in het prototype. In de stroomgoot zal derhalve boven de oneffenheid bij de slab een versnellingsgebied optreden dat afwijkt van dat in het prototype. Met name na het begin van instabiliteitsverlies geeft de stroomgoot een te ongunstig beeld.
- ad 7 Uit het voorafgaand onderzoek naar de stabiliteit van randen van bodemverdedigingen is een relatie afgeleid tussen het eigengewicht van de rand en de maatgevende stroomsnelheid. De invloed van de vorm van de rand (type zinkstuk) wordt in deze relatie via een geometriecoëfficiënt β in rekening gebracht.
- ad 8 De stijfheid van het zinkstuk kan meewerken om de rand aan de bodem te houden. Uit het onderzoek M 1724 [6] is gebleken dat de grootste drukverschillen direkt benedenstrooms van de eigenlijke rand optreden. Indien de lengte van bijvoorbeeld een betonblok in stromingsrichting groter is dan de hoogte van het blok dan werkt de extra lengte mee om de rand aan de grond te houden.

2.2 Overzicht onderzochte zinkstukken en er mee uitgevoerde proeven

De volgende zinkstukken werden beproefd:

- A. Zoolstuk.
- B. Betonblokkenmat.
- C. Steenasfaltmat.
- D. Grindworstenmat.

ad A Zoolstuk

Een zoolstuk bestaat uit een geotextiel (polypropeen mat, 750 g/m²), waarop een enkel roosterwerk wiepen is bevestigd. Dit roosterwerk

bestaat uit 3 lagen wiepen met een diameter van 0,1 m. De onderlinge afstand van de wiepen in het roosterwerk bedraagt 1,0 m. Om het geotextiel tijdens afstorten te beschermen, is tussen de onderste wiepen een laag rijshout aangebracht (zie figuur 2).

De lengterichting van de proefstukken in de goot kwam overeen met de dwarsrichting van de normale zoolstukken, terwijl de kopse kanten van de proefstukken op dezelfde wijze werden uitgevoerd als de zijkanten van de zoolstukken.

Bij de proeven 73-9 ... 73-12 was het wiepenpatroon niet geheel in overeenstemming met het prototype. Bij een wiepafstand van 1,0 m zouden in een 2,0 m brede goot 2 wiepen per laag ingebouwd moeten worden (zie figuur 2b) in plaats van 3 (zie figuur 2a). De stijfheid van het zinkstuk is bij de proeven 73-9 ... 73-12 iets te groot geweest.

Een overzicht van de uitgevoerde proeven en resultaten met de zoolstukken is weergegeven in tabel 1. Onderzocht werden de stabiliteit van een overlapconstructie en de stabiliteit van een vrij op het zand liggende zijrand. Gevariëerd werden de verdeling en de zwaarte van de bestorting bestaande uit fosforslakken, stortsteen 10-80 kg of grind 30-100 mm.

ad B Betonblokkenmat

Bij de betonblokkenmat bestaat de ballast op het geotextiel (polypropeen mat 1200 g/m^2) uit betonblokken welke in een bepaald patroon zijn aangebracht (zie figuur 10). De hoogte van de blokken bedraagt 0,17 m. Het blokkenpatroon van de proefstukken in de goot is zodanig dat de zijrand van de blokkenmat loodrecht wordt aangestroomd (zie figuur 11). Het gewicht van de blokkenmat bedraagt (boven water) 2000 N/m^2 . Na het afzinken wordt de blokkenmat bestort met 2000 N/m^2 staalslakken 40-160 mm.

Een overzicht van de uitgevoerde proeven is weergegeven in tabel 2. Hierin zijn ook de proeven voor de zogenaamde postzegelmat opgenomen (proef T1 ... T5). De postzegelmat is een blokkenmat die een losgestort fundatiebed (zee grind 0-32 mm) van de pijlers van de stormvloedkering Oosterschelde tegen erosie zou moeten beschermen.

In eerste instantie werden hiertoe enkele proeven uitgevoerd met bestaande blokkenmatten met enkele wijzigingen in het patroon van de blokken aan de rand (zie tabel 2). In verband met opschoningseisen en

dergelijke moest dit patroon gewijzigd worden en zouden de blokken afmetingen krijgen van $0,98 \times 0,11 \times 0,09 \text{ m}^3$ waarbij aan de rand beton met een hoge dichtheid zou worden toegepast. Dit blokkenpatroon werd helaas niet meer onderzocht omdat het alternatief van het losgestorte funderingsbed bij het ontwerp van de stormvloedkering werd verlaten ten gunste van de geprefabriceerde funderingsmatten.

ad C Steenasfaltmat

De steenasfaltmat bestaat uit een geotextiel (polypropeen mat 750 g/m^2), die als drager fungeert, met daarop een laag steentjes ($D_{50} = 0,03 \text{ m}$), die met asfaltbitumen aan elkaar gekit zijn. De mat is voorzien van een wapening van staaldraad.

De richting van de wapening en het geotextiel in de goot waren zodanig dat de zijrand van de steenasfaltmat loodrecht werden aangestroomd. Het gewicht van de steenasfaltmat boven water was 2500 N/m^2 , de dikte van de steenasfaltmat was bij de proeven $0,12 \text{ m}$. Tabel 3 geeft een overzicht van de verrichte proeven met de steenasfaltmat.

ad D Grindworstenmat

De grindworstenmat bestaat uit een geotextiel (polypropeen mat, 750 g/m^2), waarop met grind gevulde zakken (worsten) van $0,5 \text{ m}$ breed en 5 m lang zijn bevestigd. Het gewicht van een dergelijke grindworst bedraagt boven water 10.000 N . De grindworstenmat weegt derhalve 4000 N/m^2 . De omtrek van een zak bedraagt ca. $1,5 \text{ m}$. Een volledig gevulde zak heeft een diameter van $1/\pi = 0,48 \text{ m}$, en een volume $1/4 \cdot \pi \cdot (0,32)^2 \cdot 0,5 = 0,9 \text{ m}^3$. Bij een poriëngehalte van $0,4$ weegt een volledig gevulde zak $0,6 \cdot 2,650 \cdot 10 \cdot 0,9 = 14.300 \text{ N}$. Bij het eerder genoemde gewicht bedraagt de vullingsgraad derhalve $10.000/14.300 = 0,7$. Tabel 4 geeft een overzicht van de verrichte proeven met de grindworstenmat. De grindworstenmat werd beproefd met de worsten zowel evenwijdig als loodrecht op de stromingsrichting.

3. Conclusies

1. Het instabiel worden van de rand van de bodemverdediging kan worden verklaard uit de optredende drukverdeling over de rand. Er ontstaat een verschil in druk aan de bovenzijde en de onderzijde van de verdediging. De resulterende drukkrachten zijn omhoog gericht.
2. Het aan de rand optredende en voor de stabiliteit maatgevende drukverschil is evenredig met het kwadraat van de gemiddelde stroomsnelheid. De rand verliest zijn stabiliteit als het drukverschil groter wordt dan het gewicht onder water per oppervlakte-eenheid of uitgewerkt in formulevorm:

$$\beta \cdot \frac{1}{2} \rho_w u^2 > (1-\epsilon)(\rho_s - \rho_w) g d \quad (10)$$

3. Voor de omstandigheden van de stroomgoot te Lith werden de volgende waarden van de coëfficiënt β gevonden (zie ook tabel 1 ... 4).

type zinkstuk	β overlap	β aanstroming vanuit ontgrondingskuil
zoolstuk (200 kg/m ²)	0,5	1,0
blokkenmat (niet bestort)	0,5	0,9 à 1,0
steenafaltmat	0,5	1,0
grindworstenmat	1,0	1,7

Bij toepassing van formule (10) voor prototype-omstandigheden dient met de invloeden genoemd in [4] rekening te worden gehouden.

4. De grootte van de coëfficiënt β wordt beïnvloed door:
 - de waterdoorlatendheid van de rand van het zinkstuk
 - de geometrie van de rand van het zinkstuk en onderliggende bodem
 - de vorm van de snelheidsvertikaal
 - de mechanische eigenschappen van de rand.
5. Indien de rand van het zinkstuk wordt bestort, is de stabiliteit van de bestorting maatgevend voor de stabiliteit van de rand van het zinkstuk. Voorzichtigheid is echter geboden als de zinkstukken niet goed op elkaar aansluiten, waardoor de stromingsdruk onder het geotextiel kan komen.

6. Buiten het zinkstuk uitstekende stroken materiaal met een beperkt doorlaatvermogen welke niet bestort zijn, kunnen door de waterbeweging tegen de voorzijde van het zinkstuk worden gedrukt en daardoor de stabiliteit van het zinkstuk ongunstig beïnvloeden.
7. De relatief geringe stabiliteit van de grindworstenmat (hoge β) wordt waarschijnlijk veroorzaakt door intern transport van grind in de worsten.

4. Proefopstelling en uitvoering van de proeven

Een overzicht van de proefopstelling in de stroomgoot te Lith is weergegeven in figuur 1. De overlapconstructie werd aangebracht boven het verdiepte gedeelte van de goot. Het verdiepte gedeelte werd tot het vereiste niveau opgevuld met Oosterschelde-zand ($D_{50} = 135 \cdot 10^{-6}$ m). Langs de zijranden van de goot werden stroken geotextiel ingegraven (zie figuur 1) ter vermijding van randeffekten.

Ter plaatse van de overlapconstructie, of de rand van het zinkstuk aansluitend aan een zandbed, werden stijgbuizen ingebouwd, waardoor tijdens de proeven een globale indruk van het stijghoogteverloop kon worden verkregen. Deze stijgbuizen werden hoofdzakelijk gebruikt om tijdens de proeven te kunnen constateren (door een plotselinge toe- of afname van de stijghoogte), dat er een wijziging in de positie van de rand van het zinkstuk was opgetreden. Een nauwkeurige bepaling van het drukverloop vereist een zeer groot aantal stijgbuizen, terwijl bovendien de schommelingen van de waterstand in de goot een betrouwbare meting onmogelijk maken. Voor meer gedetailleerde metingen van het drukverloop rondom de rand van een zinkstuk wordt verwezen naar het verslag R 460-IV [1].

Tijdens de proeven werd de stroomsnelheid in stappen opgevoerd. Als referentieraai voor de stroomsnelheid werd het begin van het verdiepte gedeelte gekozen, ofwel circa 2,5 m bovenstrooms van de rand van de overlap. Bij proeven met een ontgrondingskuil werd in een raai op 0,5 m bovenstrooms van het verdiepte gedeelte gemeten. De stroomsnelheden werden met behulp van een Ottmolen gemeten.

5. Resultaten

5.1 Zoolstuk

5.1.1 Zoolstuk bestort met fosforslakken

De kritieke stroomsnelheden waarbij het zoolstuk omklapt, zijn weergegeven in tabel 1. Op de figuren 3 en 5 is het waterstands- en drukverloop weergegeven van de proeven 73-22 en 73-23. Het proefverloop en het drukverschil over de rand is weergegeven in de figuren 4 en 6.

Uit de proeven 73-9, 73-10, 73-22 en 73-23 blijkt dat de stabiliteit van de zijrand sterk afhankelijk is van de hoeveelheid bestorting op de rand. Zonder bestorting op het eerste vak (1 m vanaf de rand) verliest de constructie reeds bij een stroomsnelheid van 0,6 m/s zijn stabiliteit (proef 73-9). Waarschijnlijk is bij nog lagere stroomsnelheden het 1° vak omhooggekomen, waardoor de stroming onder de relatief waterdichte zool kon komen en daardoor al bij een stroomsnelheid van 0,6 m/s volledige instabiliteit kon veroorzaken.

Bij de proeven 73-10 en 73-23 werd de rand van het zoolstuk geheel bestort met 2000 N/m^2 fosforslakken. Instabiliteit werd geconstateerd bij een stroomsnelheid van 2,4 m/s. Het, op het moment van instabiel worden, gemeten drukverschil over de overlap (gemeten op 0,10 m van de rand) bedroeg bij proef 73-10, 0,18 mwk en bij proef 73-23 0,22 mwk (zie figuur 6).

Het gewicht van het zoolstuk bestort met 2000 N/m^2 fosforslakken bedraagt onder water (uitgedrukt in m waterkolom) 0,13 m. Een gedeelte van het drukverschil ($0,18 - 0,13 = 0,05$ mwk) wordt waarschijnlijk niet gecompenseerd door het eigen gewicht maar door de stijfheid van het zoolstuk.

Uit een vergelijking van de resultaten van proef 73-10 (3 wiepen/2 m, zie hoofdstuk 2.2) en 73-23 (2 wiepen/2 m) volgt dat de invloed van de iets te grote stijfheid bij de proeven 73-9 ... 73-12 te verwaarlozen is.

Bij de proeven 73-12, 73-24 en 73-25 werd de rand van het zoolstuk aangestroomd vanuit een ontgrondingskuil met een diepte van circa 0,5 m (zie figuur 7). Bij proef 73-12 was de rand van het zinkstuk over een afstand van circa 0,10 m in de ontgrondingskuil gezakt. Dit geeft een verklaring voor de relatief hoge stroomsnelheid waarbij instabiliteit optrad. Door het over de rand zakken van het zoolstuk kon de stroming niet onder het relatief waterdichte geotextiel komen.

Het is voor de stabiliteit van het zinkstuk derhalve van belang dat het zinkstuk bij kan zakken als er ondermijning optreedt.

5.1.2 Zoolstuk bestort met stortsteen 10-80 kg

De stabiliteit van de randen van zoolstukken bestort met stortsteen 10-80 kg is ongeveer gelijk aan de stabiliteit van de randen van zoolstukken bestort met fosforslakken. Dit is te verklaren door te bedenken dat het gewicht aan de rand hetzelfde is, en de rand eerder instabiel wordt dan de fosforslakken en de stortsteen 10-80 kg. De verschillen in gemeten kritieke stroomsnelheden (zie tabel 1) bij fosforslakken en stortsteen 10-80 kg kunnen worden toegeschreven aan spreiding.

5.1.3 Zoolstuk met rietwiepen en grindbestorting

Bij proef 73-26 werd het zoolstuk met rietwiepen bestort met grind 30-100 mm (1° vak 650 N/m², 2° vak 1850 N/m², 3° vak en verder 2000 N/m²). Het riet dient in dit zoolstuk ter vervanging van het wilgenhout.

De kritieke stroomsnelheid, waarbij de rand omklapte, bedroeg 1,7 m/s. Daarna werd in proef 73-27 het zoolstuk bestort met 2000 N/m² grind 30-100 mm. Bovendien werd bovenstrooms van de overlap een bestorting aangebracht van grind 30-100 mm, waarvan het gewicht over 3 m afloopt van 2000 tot 0 N/m². Tot een stroomsnelheid van 2,7 m/s bleef de overlap stabiel. Bij deze stroomsnelheid was het grindtransport hoorbaar. Volgens het criterium van Shields ($\psi = 0,05$) bedraagt de kritieke stroomsnelheid voor grind 30-100 mm bij een waterdiepte van 2 m circa 2,4 m/s. Na 10 minuten stromen met een gemiddelde stroomsnelheid van 2,85 m/s klapte het zoolstuk om. Blijkbaar is dit gebeurd nadat er voldoende grind was getransporteerd. Indien de rand van het zoolstuk volledig is afgestort, is de stabiliteit van het grind maatgevend voor de stabiliteit van het zoolstuk. Het berekenen van β (zie hoofdstuk 6) is dan ook weinig zinvol.

In proef 73-28 werd de stabiliteit van een zoolstuk met rietwiepen aansluitend op een zandbed onderzocht. Het zoolstuk was bestort met 2000 N/m² grind 30-100 mm. Bovenstrooms hiervan was over een afstand van 6 m een in gewichtshoeveelheid van 2000 naar 0 N/m² verlopende bestorting grind 30-100 mm aangebracht. Bij een stroomsnelheid van 2,4 m/s was het grindtransport tegen

de benedenstroomse schuif hoorbaar. Bij een stroomsnelheid van 2,5 m/s werd het zoolstuk instabiel. Bovenstrooms van het zoolstuk was onder het grind 30-100 mm zand getransporteerd.

5.2 Blokkenmat (figuur 10)

De stabiliteit van de zijrand van een onbestorte blokkenmat is onderzocht in de proeven 74-02 en 74-03. De kritieke stroomsnelheden blijken 2,1 à 2,25 m/s te zijn (tabel 2). Het drukverschil over de rand bij begin van stabiliteit bedraagt circa 0,12 mwk (zie figuur 12), hetgeen gelijk is aan het gewicht van de blokkenmat onder water, uitgedrukt in m waterkolom. Bij proef 73-13 werd het bovenliggende deel van de blokkenmat instabiel bij een stroomsnelheid van circa 3,1 m/s. Vermoedelijk is bij het opvoeren van de stroomsnelheid de voorste rij betonblokken omgeklapt en op de tweede rij terechtgekomen. Een verdubbeling van het gewicht geeft een $\sqrt{2}$ maal zo grote kritieke stroomsnelheid.

Bij de aanstroming vanuit een ontgrondingskuil (zie figuren 13 en 14) bedraagt de kritieke stroomsnelheid voor stabiliteitsverlies van een onbestorte blokkenmat circa 1,6 m/s. In de eerste proef trad bij een stroomsnelheid van 1,6 m/s een wijziging in het stroombeeld op. De mat klapte echter niet om. De voorste blokken zakten weg in de ontgrondingskuil waardoor de overgang tussen kuil en mat geleidelijker werd. De stroomsnelheid werd daarna geleidelijk in 5 minuten opgevoerd tot 2,3 m/s. Hierna werd de goot drooggezet. De voorste blokken bleken circa 0,3 m in het zand te zijn gezakt. Bij een herhalingsproef klapte het voorste deel van de mat wel om bij een stroomsnelheid van 1,6 m/s.

De stabiliteit van de zijrand van een blokkenmat bestort met staalslakken met een gewicht van 2000 N/m^2 werd onderzocht in de proeven 73-14 en 73-15 (zie figuren 15...18). Bij de maximaal in de stroomgoot instelbare stroomsnelheid van 3,2 m/s was de zijrand stabiel, wel werden er een aantal staalslakken verplaatst, waardoor een geleidelijker overgang ontstond (zie figuur 15). Omdat bij deze proef alles stabiel bleef, werden onder de voorste betonblokken van de bovenliggende mat enige staalslakken met een diameter van circa 0,15 m gelegd (zie figuur 17).

Deze situatie zou kunnen optreden indien een blokkenmat op een reeds bestorte blokkenmat zou worden afgezonken.

De bestorte zijrand werd nu instabiel bij een stroomsnelheid van 2,4 m/s.

Bij de proeven T1 ... T5 ten behoeve van de postzegelmat (R 1431) werd de invloed van een verzwaarde rand (extra blokken aan de rand, zie figuren 19 en 20) onderzocht.

Bij proef T1, T2 en T3 werd een kritieke stroomsnelheid van 1,85 à 2,0 m/s gevonden.

Bij proef T4 werd het blok in langsrichting aangestroomd (zie figuur 20). De kritieke stroomsnelheid bedroeg bij deze aanstroomrichting 2,4 m/s voor de blokkenmat op een vlakke bodem bestaande uit zeegrind en 2,1 m/s bij de blokkenmat of een ophoging van zeegrind met een helling van 1:10 (T5).

Bij stroomsnelheden van circa 2,0 m/s ontstond transport van grind. Hieruit zou kunnen worden afgeleid dat bij langdurig stromen met een stroomsnelheid van 2,1 m/s ook bij proef T4 stabiliteitsverlies van de blokkenmat zou ontstaan. De stabiliteit van het grind is voor deze situatie maatgevend voor de stabiliteit van de rand van de blokkenmat.

Uit een vergelijking van T1, T2, T3, T4 en T5 volgt dat de stijfheid van de rand belangrijk is voor de stabiliteit (zie hoofdstuk 6).

5.3 Steenasfaltmat (zie figuren 22, 24, 26 en 28)

Een langsdoorsnede van de verschillende proefopstellingen is weergegeven op de figuren 22, 24, 26 en 28. Eveneens is op deze figuren het waterstands- en drukverloop weergegeven op het moment dat de constructie instabiel wordt. Uit de figuren 23 en 25 blijkt dat de overlapconstructie instabiel wordt bij 2,4 à 2,5 m/s (zie ook tabel 3). Het gemeten drukverschil over de bovenliggende asfaltslab bedraagt bij begin van instabiliteit circa 0,15 mwk. Het gewicht onder water (uitgedrukt in m waterkolom) van de asfaltslab bedraagt 0,13 m. Het verschil kan worden toegeschreven aan de stijfheid van de steenasfaltmat.

Bij een aanstroming vanuit een ontgrondingskuil werd de steenasfaltmat instabiel bij een stroomsnelheid van 1,7 m/s (zie figuur 27). Bij een herhalingsproef werd op 1,5 m van de voorkant van de steenasfaltmat een "scharnier" gemaakt (zie figuur 28). Dit is een sleuf in het steenasfalt. De bedoeling hiervan is na te gaan of na het instabiel worden van de rand alleen de eerste 1,5 m omklapt of dat het geheel omhoogkomt. Bij een stroomsnelheid van 1,65 m/s werd de mat instabiel, het scharnier werkte niet en de

steenafalt klapte in zijn geheel om.

5.4 Grindworstenmat

Bij de eerste proeven werden de worsten in langsricting van de goot gelegd. De kritieke stroomsnelheid waarbij de mat omklapte, bedroeg bij proef 74-04 1,85 m/s en bij proef 74-05 2,3 m/s (zie tabel 4). Bij proef 74-05 lagen de worsten wat vlakker en was het gewicht in de worst zo gelijkmatig mogelijk verdeeld.

Bij een aanstroming vanuit een ontgrondingskuil klapte de mat om bij een stroomsnelheid van 1,70 m/s.

Bij de tweede serie proeven werden de worsten dwars op de stroomrichting gelegd. Bij een aanstroming vanuit de ontgrondingskuil klapte de grindworstenmat om bij een stroomsnelheid van 1,7 m/s (proef 74-08) à 2,0 m/s (proef 74-09).



proef 74 - 08 en 74 - 09



proef 74 - 10

Bij proef 74-10 werden de worsten tegen de stromingsrichting ingelegd. Dit heeft geen invloed op de kritieke stroomsnelheid. Bij proef 74-10 klapte de mat om bij een stroomsnelheid van 2,0 m/s.

Bij de derde serie proeven werd de overlapconstructie onderzocht. Stabiliteitsverlies ontstond bij een stroomsnelheid van 2,3 m/s (worsten met de stroom mee) en 2,1 m /s (worsten tegen de stromingsrichting in).

6. Analyse van de resultaten

Uit de proeven kan worden afgeleid dat het zinkstuk zijn stabiliteit verliest als het drukverschil over de rand ongeveer gelijk is aan het gewicht van het zinkstuk onder water per eenheid van oppervlak. Het gewicht van het zinkstuk onder water wordt als volgt berekend.

Het gewicht van het zinkstuk boven water per eenheid van oppervlak is G (N/m^2)

$$G = (1-\varepsilon) \rho_s \cdot g \cdot d. \quad (1)$$

waarin:

ε	= holtepercentage van de bestorting	(-)
ρ_s	= dichtheid van de bestorting	(kg/m^3)
d	= laagdikte van de bestorting	(m)
g	= versnelling van de zwaartekracht	(m/s^2)

Onder water bedraagt het gewicht van de bestorting per oppervlakte eenheid G_0

$$G_0 = (1-\varepsilon)(\rho_s - \rho_w) g \cdot d \quad (2)$$

waarin:

ρ_w	= dichtheid van het water	(kg/m^3)
----------	---------------------------	--------------

Na enig omwerken volgt:

$$G_0 = \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} \right) \quad (3)$$

Het verschil in piëzometrisch niveau langs de rand van de bodemverdediging tussen boven- en onderzijde is volgens R 460-IV.

$$\Delta p = \int_1^2 \frac{\rho_w u^2}{r} dn \quad (4)$$

waarin:

$1,2$	= punten langs de normaal n bij respectievelijk het oppervlak en de bodemverdediging	
u	= lokale stroomsnelheid	(m/s)
r	= kromtestraal	(m)

In een willekeurig punt in de vertikaal kan de lokale stroomsnelheid u worden uitgedrukt in de gemiddelde stroomsnelheid in de vertikaal \bar{u} , volgens $u = (1 + \delta) \bar{u}$, waarbij de grootte van δ afhankelijk is van de plaats in de vertikaal en van de vorm van de vertikaal. Voor (4) kan dan worden geschreven:

$$\Delta p = \rho_w \bar{u}^2 \int_1^2 \frac{(1+\delta)^2}{r} dn \quad (5)$$

Indien wordt aangenomen dat het stroombeeld voor de verschillende onderzochte toestanden in Lith niet veel verschilt, dan heeft de integraal:

$$\int_1^2 \frac{(1+\delta)^2}{r} dn \quad (6)$$

voor de verschillende situaties dezelfde waarde. Indien de waarde gesteld wordt op $\frac{1}{2} C_L$, dan gaat (5) over in:

$$\Delta p = \frac{1}{2} C_L \rho_w \bar{u}^2 \quad (7)$$

Bij verandering van geometrie van de rand zal de kromming van de stroomlijnen veranderen en daarmee ook de waarde van C_L . Ook bij een sterk afwijkende vorm van de snelheidsvertikaal heeft C_L een andere waarde.

De liftkracht zal, wanneer het eigengewicht van de bodemverdediging niet voldoende is, de rand enigszins omhoog tillen waardoor de stroming met stroomsnelheid u_s onder de slab kan komen, en er een stuwdruk ontstaat ter grootte van:

$$\Delta p_s = \frac{1}{2} C_D \rho_w u_s^2 \quad (8)$$

Volgens de proevenserie beschreven in het verslag R 460-IV is de resulterende belasting over de omhooggekomen rand gelijkmatig verdeeld (zie R 460-IV, figuur 19) en neemt deze druk toe naarmate de rand meer omhoog komt (zie R 460-IV, figuur 18). In deze situatie verandert dus ook C_D en/of C_L .

Voor de proeven in Lith worden de relaties (7) en (8) gecombineerd tot

$$(\Delta p)_{kr} = \frac{1}{2} \beta \rho_w \bar{u}_{kr}^2 \quad (9)$$

waarin:

\bar{u}_{kr} = gemiddelde stroomsnelheid waarbij de mat omklapt (m/s)
 β = coëfficiënt afhankelijk van vorm en doorlatendheid van de bodemverdediging en het lokale stroombeeld.

De bodemverdediging verliest zijn stabiliteit indien het drukverschil over de rand gelijk is aan het gewicht onder water per eenheid van oppervlak (2) zodat

$$\frac{1}{2} \beta \rho_w \bar{u}_{kr}^2 = (1-\epsilon)(\rho_s - \rho_w) g d \quad (10)$$

of verder uitgewerkt

$$\beta \frac{\bar{u}_{kr}^2}{2g} = (1-\epsilon) \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) d \quad (11)$$

Voor de steenasfaltmat ($\epsilon = 0$) gaat (11) over in

$$\beta \frac{\bar{u}_{kr}^2}{2g} = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot d \quad (12)$$

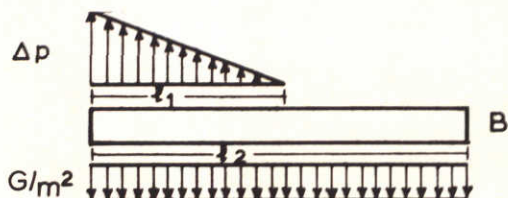
Bij de volledig bestorte rand van de zoolstukken is $\beta = 0,5$ voor de overlap en $\beta = 1,0$ voor de aanstroming vanuit een ontgrondingskuil. Bij een gelijkmatig verlopende bestorting is de kromming van de stroomlijnen wat minder hetgeen tot uitdrukking komt in $\beta = 0,3$ voor de overlap en $\beta = 0,6$ voor de aanstroming vanuit de ontgrondingskuil.

Bij de niet bestorte blokkenmatten (gewicht boven water 2000 N/m^2 , gelijkmatig verdeeld) bedraagt $\beta = 0,5$ voor de overlap en $\beta = 0,85$ voor de aanstroming vanuit de ontgrondingskuil. Bij de proeven met de postzegelmat liggend op een gladde betonbodem of op een vlakke ondergrond van zeegrind wordt $\beta = 1,0$ gevonden. Indien de blokken in lengterichting worden aangestroomd bedraagt $\beta = 0,6$ bij een blokkenmat liggend op een vlakke ondergrond en $\beta = 0,8$ bij een blokkenmat liggend op een ophoging.

De stabiliteit van de blokken die in lengterichting worden aangestroomd, is dus gunstiger dan de blokken die in dwarsrichting worden aangestroomd (lagere β , ofwel hogere kritieke stroomsnelheid). Met behulp van het gemeten drukverloop (zie figuur 21) kan hier een verklaring voor worden gegeven. Uit figuur 21 blijkt dat de grootste drukverschillen optreden bij de rand.

Benedenstrooms van de rand neemt het drukverschil af.

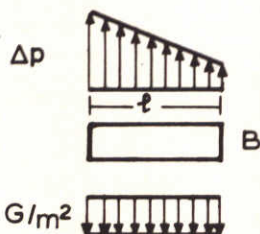
Bij het blok dat in lengterichting wordt aangestroomd is het drukverschil niet over de gehele lengte van het blok aanwezig. Bij stabiliteitsverlies zal het blok echter wel om B kantelen.



Uit $\Sigma M_B = 0$ volgt:

$$\frac{1}{2} \cdot \Delta p \cdot l_1 \left(l_2 - \frac{2}{3} l_1 \right) = \frac{G}{\rho_s} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot l_2 \cdot \frac{1}{2} l_2 \quad (13)$$

Voor het blok dat in dwarsrichting wordt aangestroomd, ontstaat de volgende situatie:



Uit ΣM_B volgt:

$$\frac{1}{3} \cdot \Delta p \cdot l \cdot \frac{1}{2} l + \frac{2}{3} \Delta p \cdot \frac{1}{2} l \cdot \frac{2}{3} l = \frac{G}{\rho_s} \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \cdot l \cdot \frac{1}{2} l \quad (14)$$

Uit de relatie tussen stroomsnelheid en stijghoogteverschil aan de rand (zie figuur 21) volgt:

$$\Delta p = 0,8 \frac{u^2}{2g} \quad (15)$$

Combinatie van (13) en (15) geeft met $G = 3100 \text{ N/m}^2$ (tabel 2), $\rho_s = 2250 \text{ kg/m}^3$, $l_2 = 0,883 \text{ m}$ en $l_1 = 0,50 \text{ m}$ een kritieke stroomsnelheid van $u = 3,3 \text{ m/s}$. Combinatie van (14) en (15) geeft met $G = 3000 \text{ N/m}^2$, $\rho_s = 2250 \text{ kg/m}^3$ en $l = 0,333 \text{ m}$ een kritieke stroomsnelheid van $1,9 \text{ m/s}$ voor de blokken die in dwarsrichting worden aangestroomd. Dit is goed in overeenstemming met de in T1, T2 en T3 gemeten kritieke stroomsnelheid.

Bij proef T4 wordt een kritieke stroomsnelheid van $2,4 \text{ m/s}$ gevonden in plaats

van 3,3 m/s volgens de berekening. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het transport van grind bij stroomsnelheden groter dan 2,1 m/s. De stroming kon hierdoor onder de mat komen, waardoor het drukverschil (figuur 21) sterker toenam dan uit (15) volgt. Op het moment dat de mat zijn stabiliteit verloor, bedroeg het drukverschil circa 0,45 m. Uitgaande van (15) wordt bij $u = 3,3$ m/s een $\Delta p = 0,45$ m berekend. Voor deze situatie is de stabiliteit van het grind dus ook maatgevend voor de stabiliteit van de blokkenmat.

Dit is naar verwachting ook het geval voor een met staalslakken bestorte blokkenmat (proef 73-14). Door de aanwezigheid van de staalslakken voor de rand van de mat wordt de overgang geleidelijker en daardoor wordt ook het drukverschil aan de rand kleiner. Bovendien treedt het maximale drukverschil nu op boven de poreuze staalslakken en niet bij de rand.

Het karakteriseren van de stabiliteit van de rand door de coëfficiënt β geldt dan ook alleen voor de in Lith onderzochte situatie en is alleen nuttig om de verschillende bodemverdedigingsconstructies onderling te vergelijken.

Bij de volledig bestorte rand van de zoolstukken is $\beta = 0,5$ voor de overlap en $\beta = 1,0$ voor de aanstroming vanuit een ontgrondingskuil. Bij een gelijkmatig verlopende bestorting is de kromming van stroomlijnen wat minder hetgeen tot uitdrukking komt in $\beta = 0,3$ voor de overlap en $\beta = 0,6$ voor de aanstroming vanuit de ontgrondingskuil. Indien de rand wordt bestort met grind 30-100 mm blijkt het bestortingsmateriaal maatgevend te zijn voor de stabiliteit van de rand.

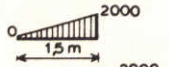
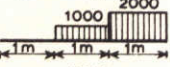
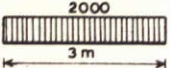
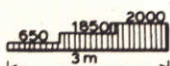
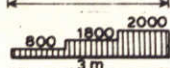
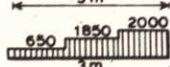

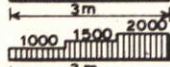
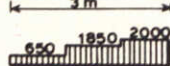
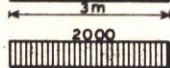


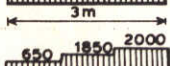

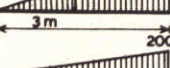
De zijranden van de steenasfaltmat geven een $\beta = 0,5$ voor de overlap en $\beta = 1,0$ voor de aanstroming vanuit een ontgrondingskuil.

De relatie tussen het gewicht onder water en de stroomsnelheid, waarbij instabiliteit optrad, was voor de blokkenmat, zoolstuk en steenasfaltmat dus ongeveer gelijk ($\beta = 0,5$ voor de overlap en $\beta = 1,0$ voor de aanstroming vanuit de ontgrondingskuil)

Bij de grindworstenmat is β bijna 2x zo groot. Dit kan worden verklaard doordat in de grindworstenmat intern transport kan optreden. Het vulingspercentage bij de grindworsten was bij de proeven slechts circa 70% (zie hoofdstuk 2). Door intern transport vermindert het gewicht bij de rand, en kan reeds bij lage stroomsnelheden instabiliteit optreden. De stroomlijning van de zakken en de daarbij mogelijk optredende vermindering van het drukverschil compenseert kennelijk de gewichtsafname van de rand in onvoldoende mate.

REFERENTIES












1. Derks, H.
Stabiliteit van randen van bodemverdedigingen
Verslag modelonderzoek R 460-IV,
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1973
2. Derks, H.
Gedrag A.C.Z. mat onder invloed van stroom
Verslag modelonderzoek R 460-X,
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1973
3. Maat, S.
Gedrag blokkenmat onder invloed van stroom in turbulente omstandigheden
Verslag modelonderzoek R 460-XIII,
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1982
4. Konter, J.L.M. en Maat, S.
Stormvloedkering Oosterschelde, stroombestendigheid asfaltmastiek slabben
Verslag modelonderzoek R 1522,
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1981
5. Konter, J.L.M.
Stormvloedkering Oosterschelde, stabiliteit van de randen van de bodem-
verdedigingen
Notitie R 1775,
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1982
6. Konter, J.L.M.
Drukverdeling aan de rand van een asfaltslab bij verschillende aanstroom-
richtingen
Verslag modelonderzoek M 1724,
Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1980

Proef	Bestorting zoolstuk en rand		Aanstroming	$\bar{u}_{kritiek}$ (m/s)	Gewicht onder water (mwk) ¹⁾	β
	zoolstuk 2000 N/m ²	rand (N/m ²)				
73-09	fosforslakken		overlap	1,4	- 2)	
73-09	fosforslakken		overlap	0,6	- 2)	
73-10	fosforslakken		overlap	2,4	0,13	0,45
73-23	als proef 73-10			2,4	0,13	0,45
73-22	fosforslakken		overlap	1,7	0,04	0,27
73-12	fosforslakken		ontgrondingskuil	1,7	0,05	0,34
73-24	fosforslakken		ontgrondingskuil	1,2	0,04	0,54
73-25	fosforslakken		ontgrondingskuil	1,5	0,13	1,1
73-11	stortsteen 10-80 kg		overlap	2,1	0,06	0,46
73-20	stortsteen 10-80 kg		overlap	1,5	0,04	0,34
73-21	stortsteen 10-80 kg		overlap	1,9	0,13	0,70
73-29	stortsteen 10-80 kg		ontgrondingskuil	1,1	0,04	0,60
73-30	als proef 73-29			1,2		
74-01	stortsteen 10-80 kg		ontgrondingskuil	1,6	0,13	0,96
73-26	grind 30-100 mm		overlap	1,7	0,04	0,27
73-27	grind 30-100 mm		overlap	2,7-2,8	- 2)	
73-28	grind 30-100 mm		zandbed afgedekt met grind	2,5	- 2)	

1) (mwk = 10.000 N/m²)



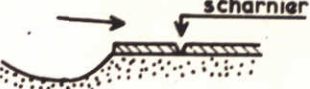
2) niet gedefiniëerd

Tabel 1 Overzicht proeven en resultaten zoolstuk



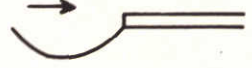





Proef	Eigengewicht (N/m ²)	Bestorting (N/m ²)	Blokkenpatroon	Aanstroming	\bar{u}_{kritiek} (m/s)	Δp (mwk)	β
73-13	4000	-	} volgens figuur 9		3,1*		0,45
74-02	2000	-			2,1		0,50
74-03	2000	-			2,25		0,43
73-14	2000	staalslakken: 2000			>3,2		
73-15	2000	staalslakken: 2000			2,4		
73-16	2000	-			1,6		0,85
T1	3000	-	} volgens figuur 19		1,85	0,11	1,0
T2	3000	-			2,0	0,13	0,8
T3	3000	-			1,85	0,12	1,0
T4	3100	-	} volgens figuur 20		2,4	0,44	0,6
T5	3100	-			2,1	0,24	0,8

* de voorste rij blokken is vermoedelijk omgeklapt op de tweede rij

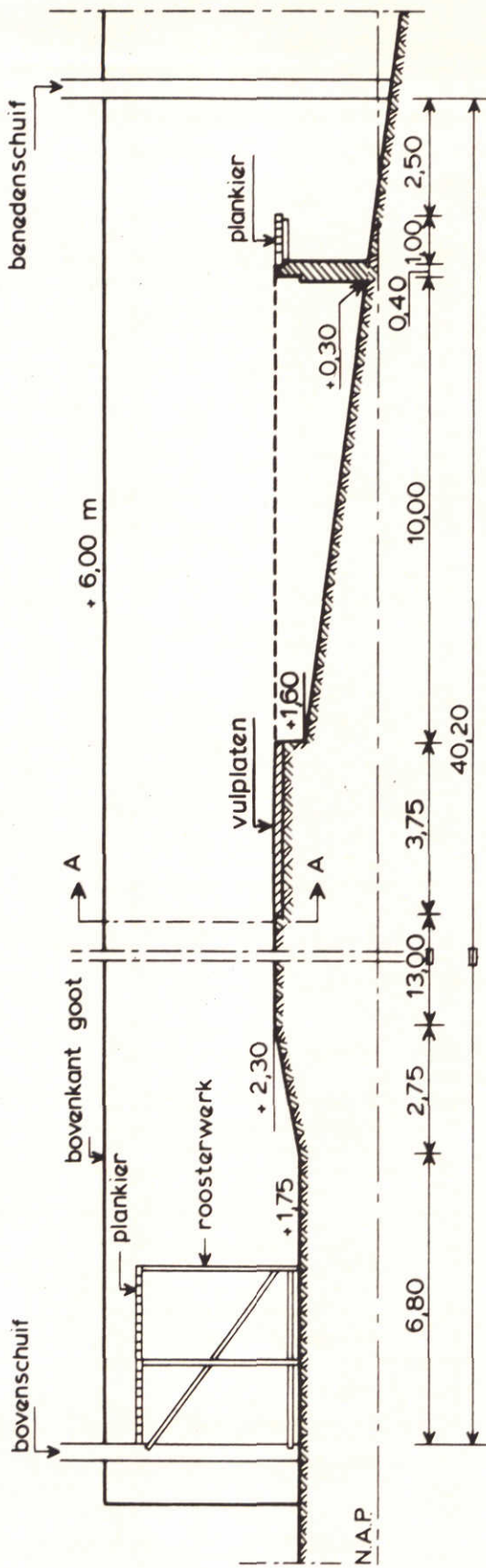
Tabel 2 Overzicht proeven en resultaten betonblokkenmat

Proef	Aanstroming	\bar{u}_{kritiek} (m/s)	Δp_{max} (mwk)	β	Opmerkingen
73-17		2,61 2,4 2,05/3,2*	0,15 0,15 -	0,4 0,5	*na dubbelklappen over 1,5 m
73-18		1,7		0,9	
73-19		1,65*		1,0	

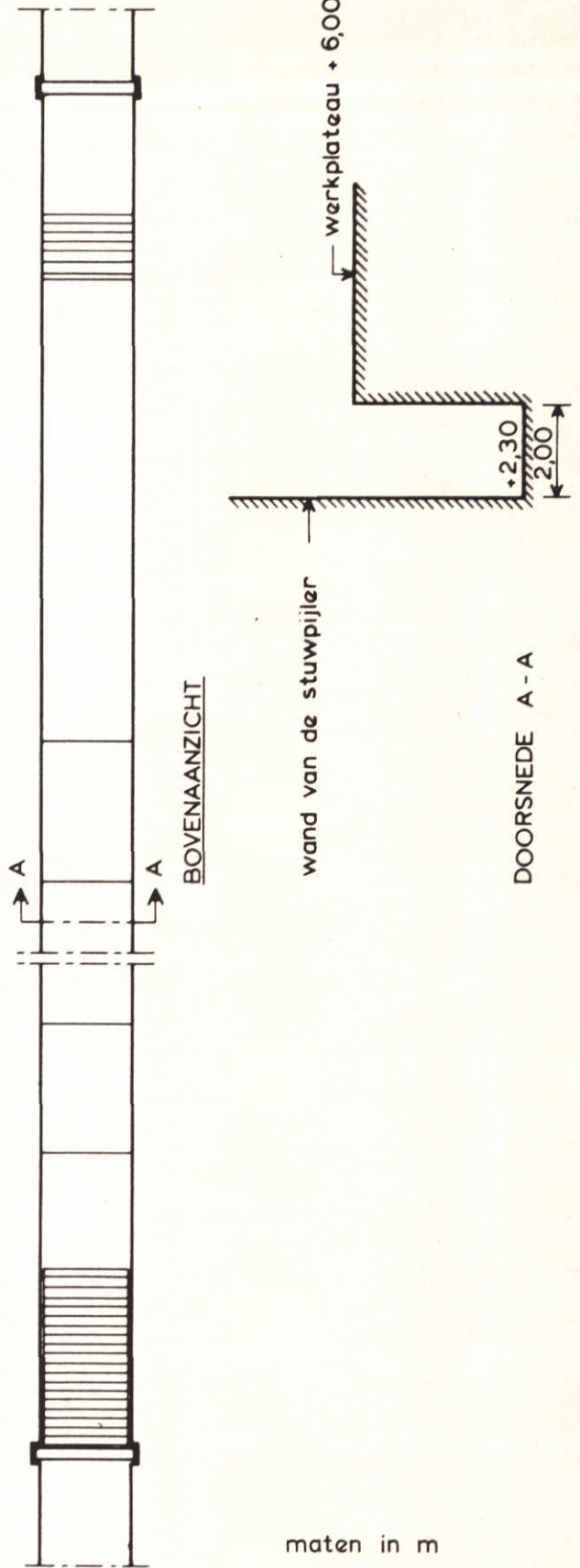
Tabel 3 Overzicht proeven en resultaten steenasfaltmat
(gewicht boven water 2500 N/m²)

Proef	Aanstroming	Oriëntatie worsten t.o.v. de goot	\bar{u}_{kritiek} (m/s)	β
74-04		langsrichting	1,85	1,4
74-05			2,3	0,9
74-07		langsrichting	1,7	1,7
74-08		dwarsrichting	1,7	1,7
74-09			2,0	1,2
74-10		dwarsrichting	2,0	1,2
74-11		dwarsrichting	2,3	0,9
74-12		dwarsrichting	2,1	1,1

Tabel 4 Overzicht proeven en resultaten grindworstenmat (gewicht boven
water 4000 N/m², gewicht onder water 2490 N/m²)



LENGTEDOORSNEDE



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

STROOMGOOT TE LITH

SCHAAL 1:150

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 1

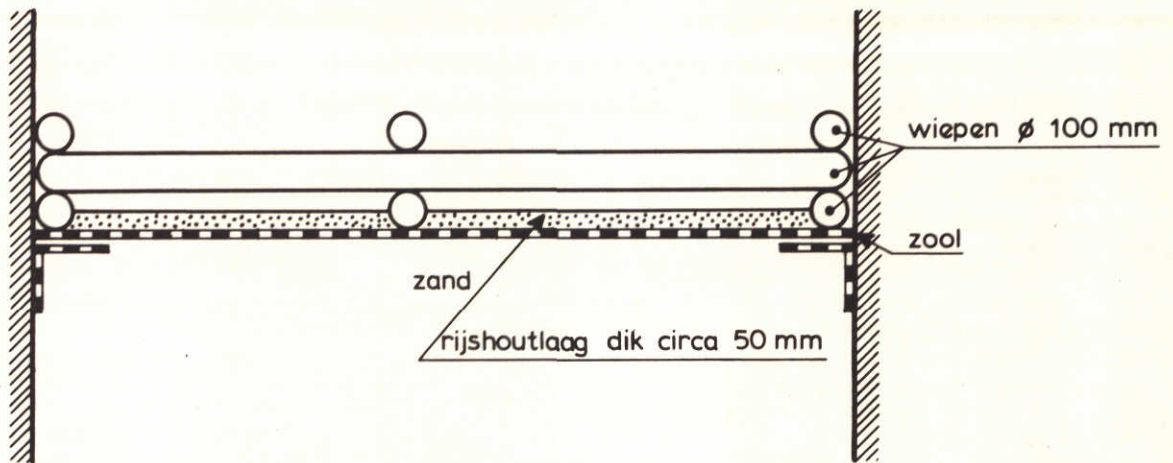


fig. 2a wiepenpatroon proef 73-9... 73-12

DWARS - DOORSNEDE GOOT

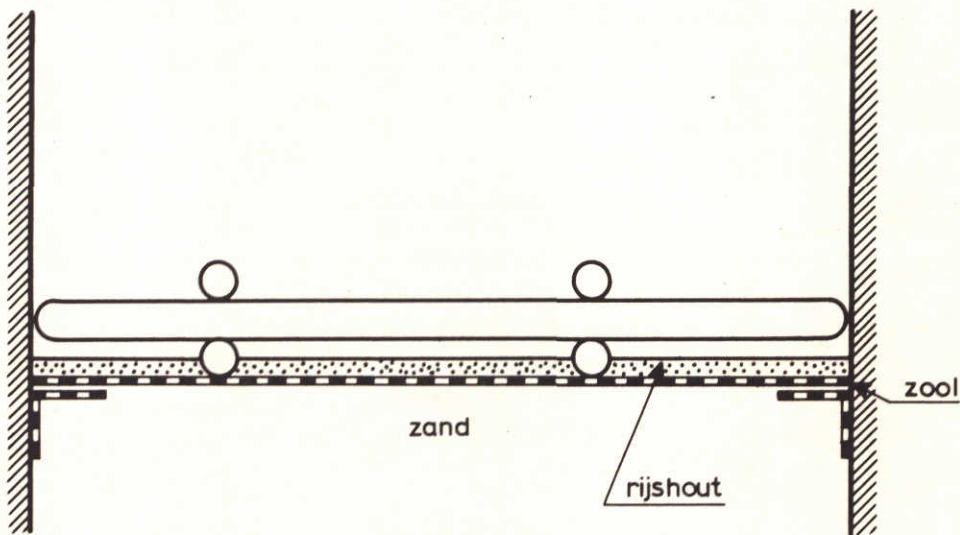


fig. 2b wiepenpatroon proef 73-20... 74-01

DWARS - DOORSNEDE GOOT

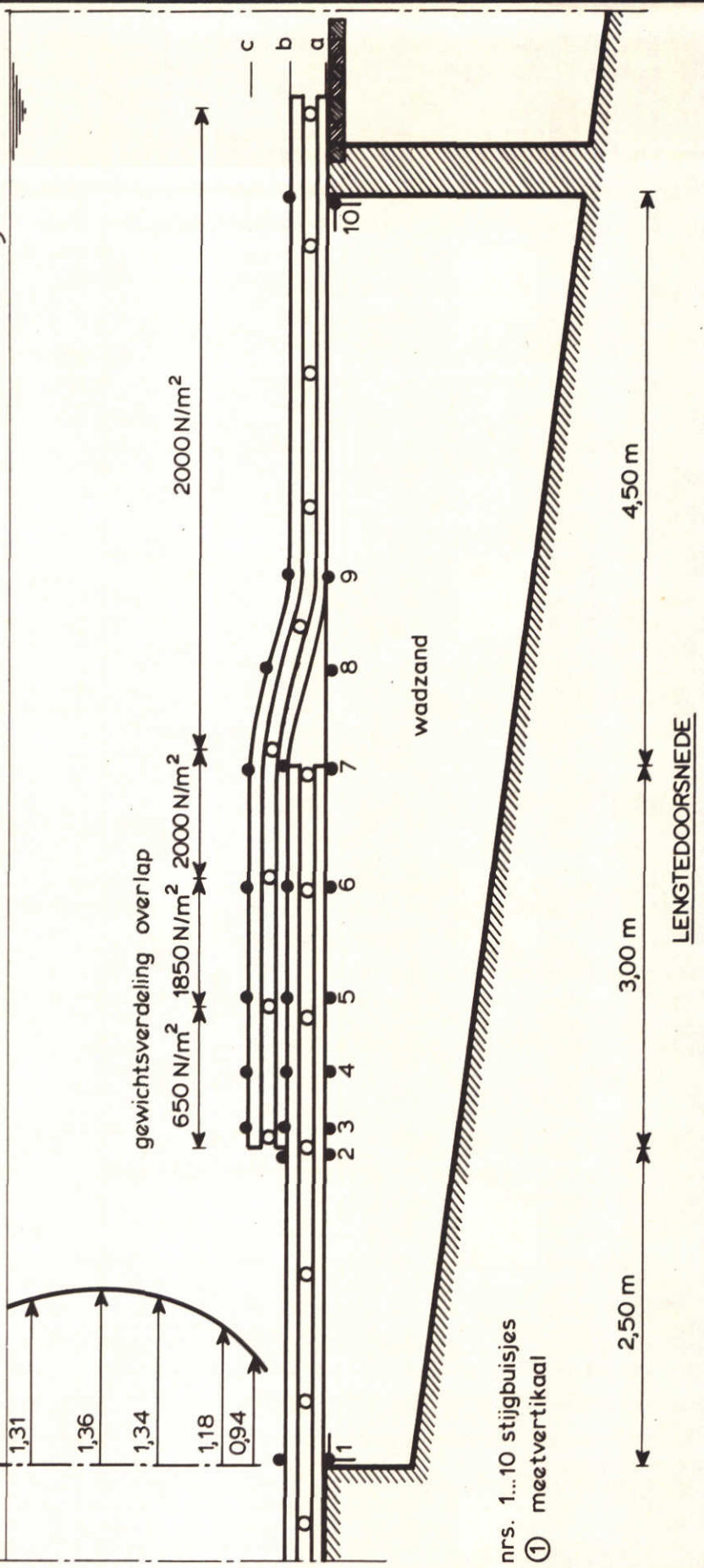
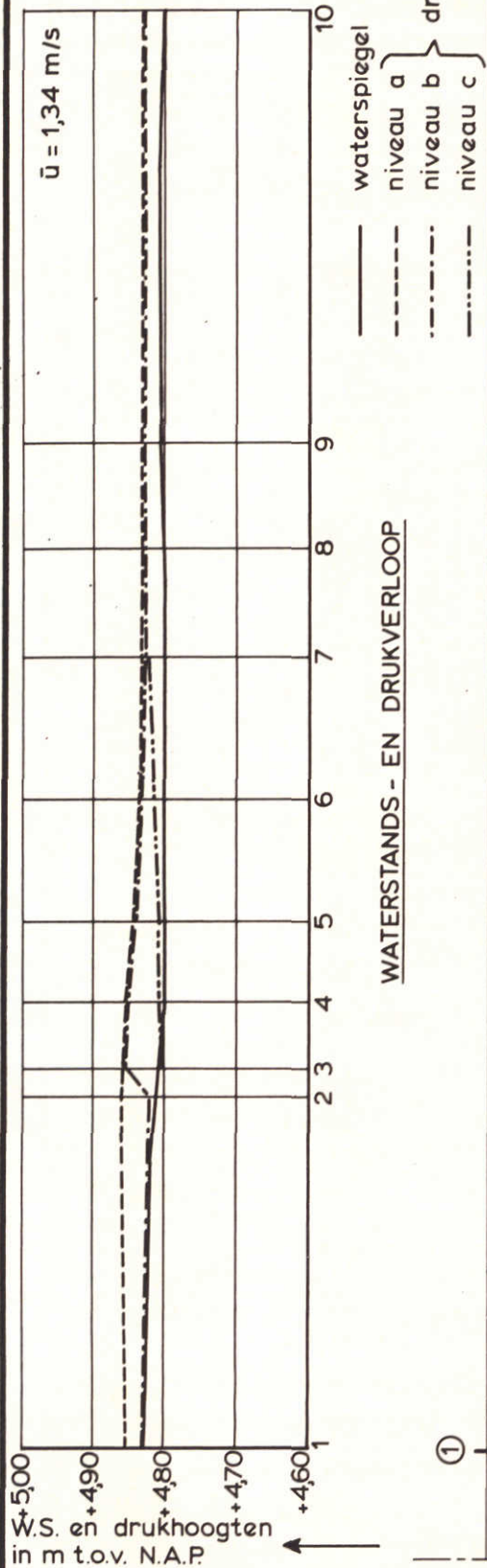
WIEPENPATROON ZOOLSTUKKEN

SCHAAL 1:20

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 2



MEETRESULTATEN

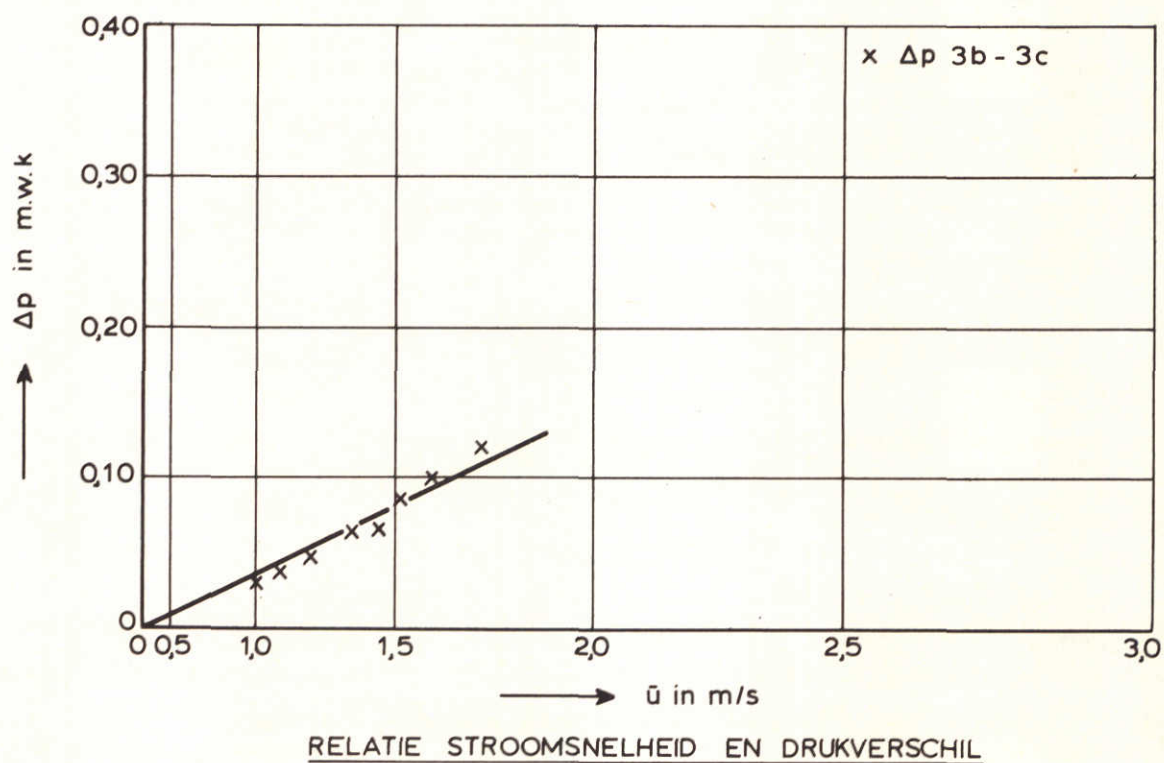
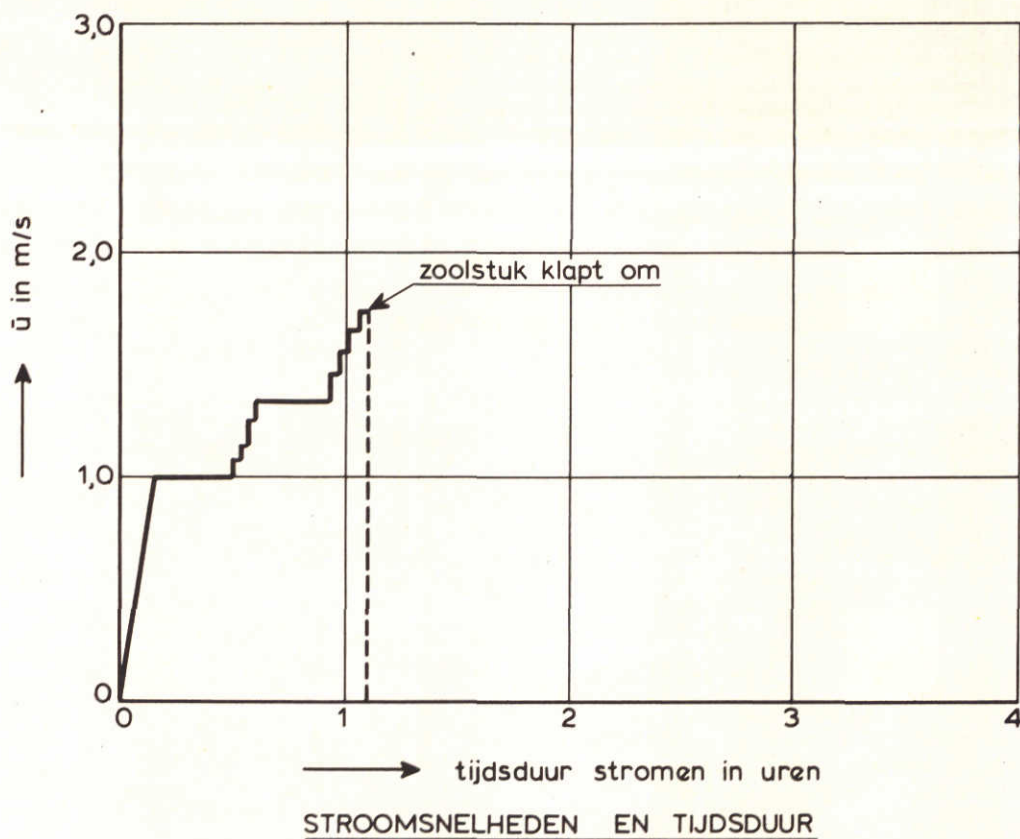
PROEF 73-22 SCHAAL 1 : 50

OVERLAP ZOOLSTUK
BESTORTING FOSFORSLAKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 3



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

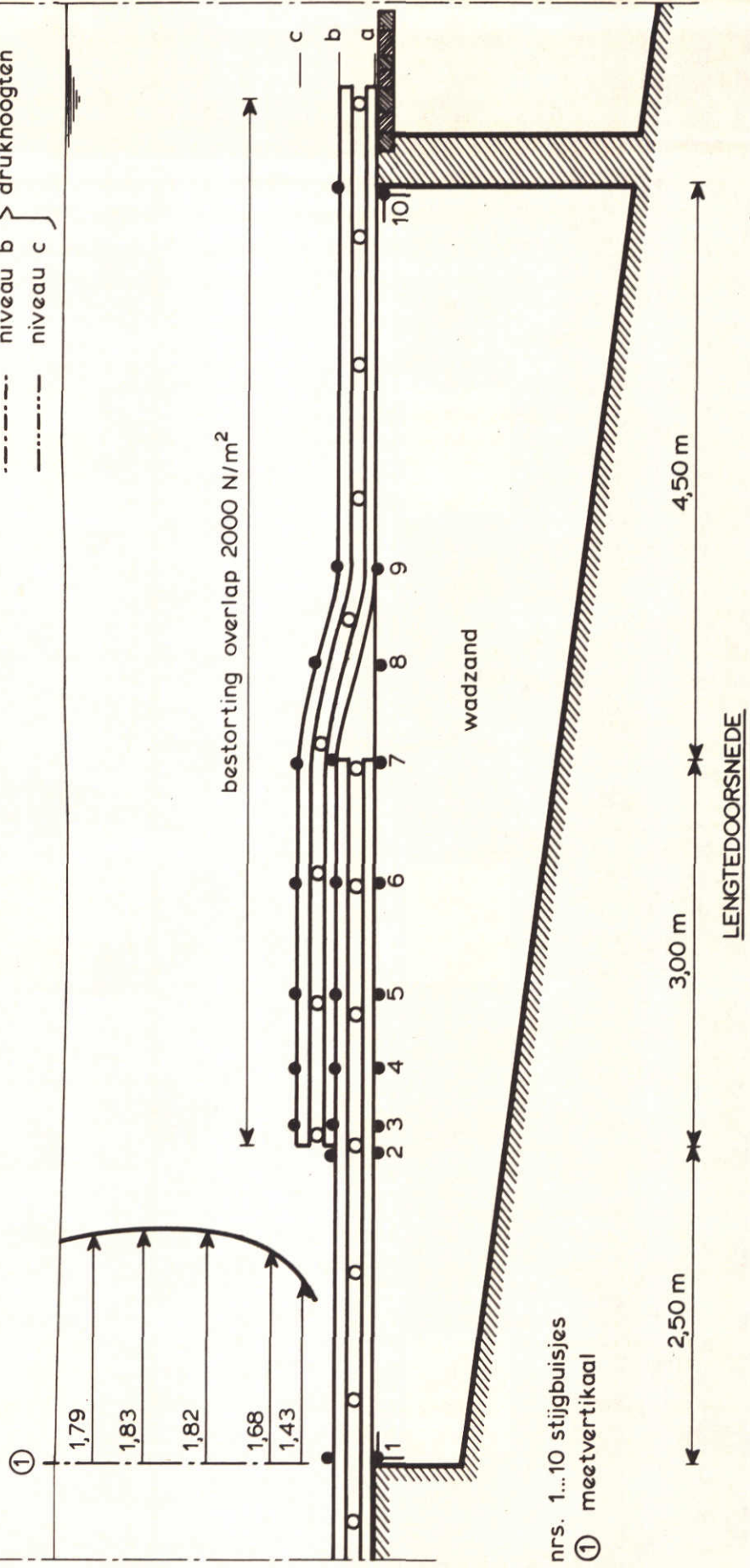
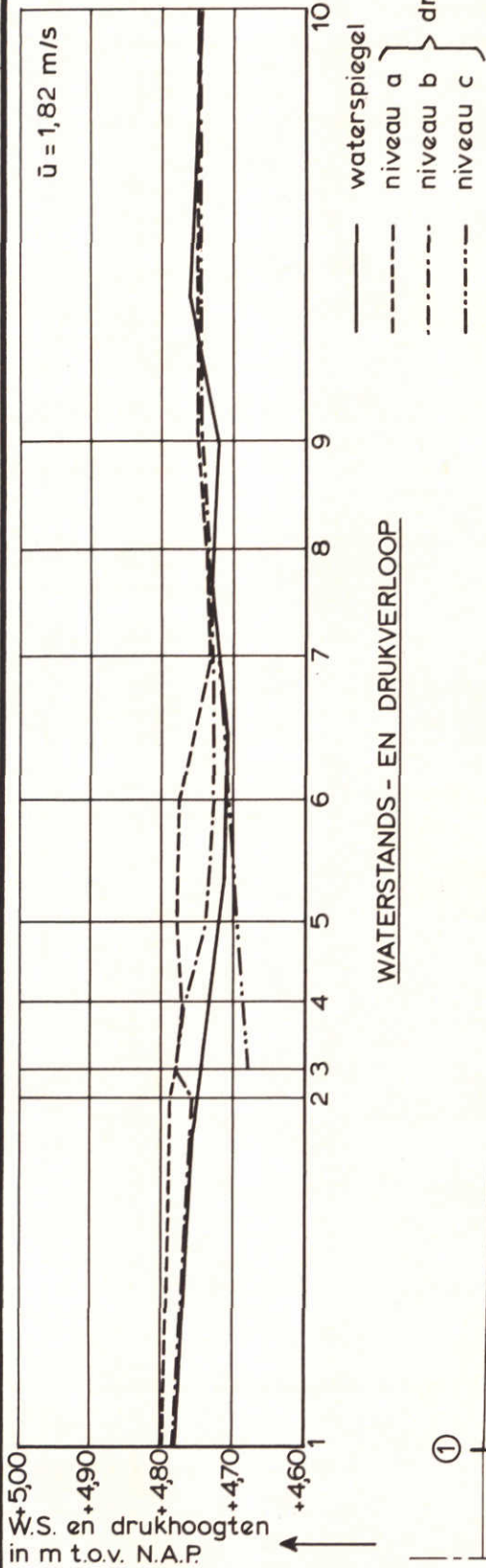
PROEF 73-22

OVERLAP ZOOLSTUK
BESTORTING FOSFORSLAKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

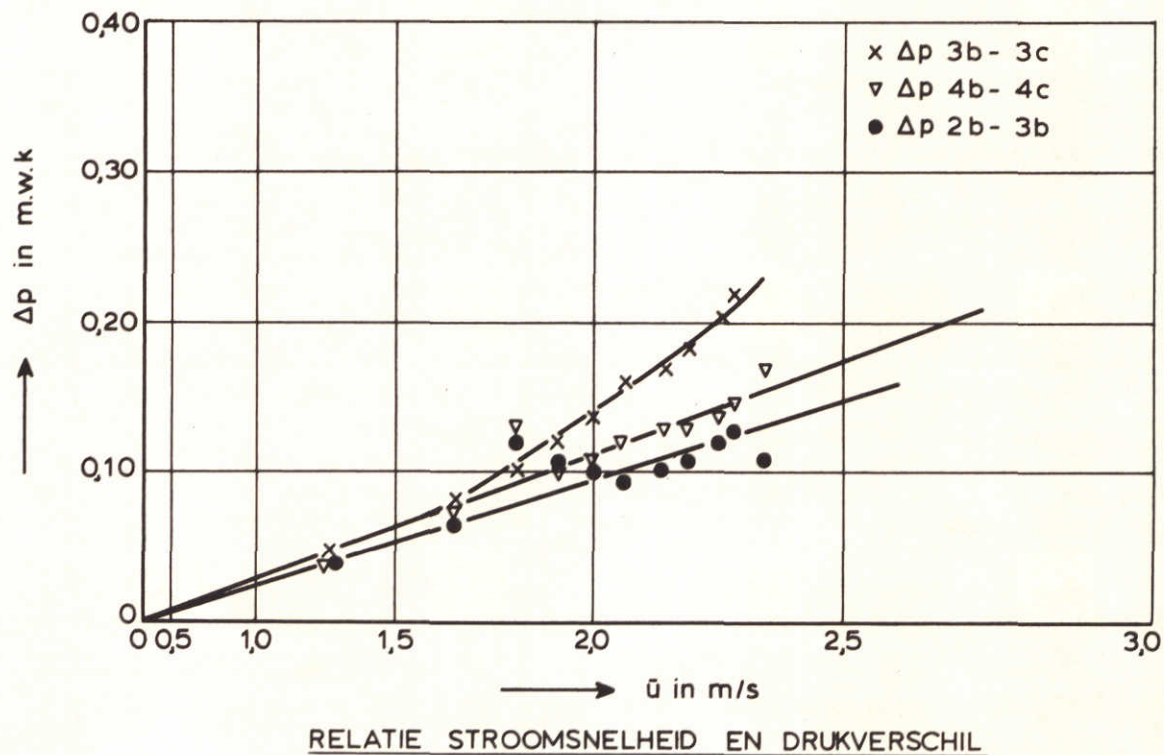
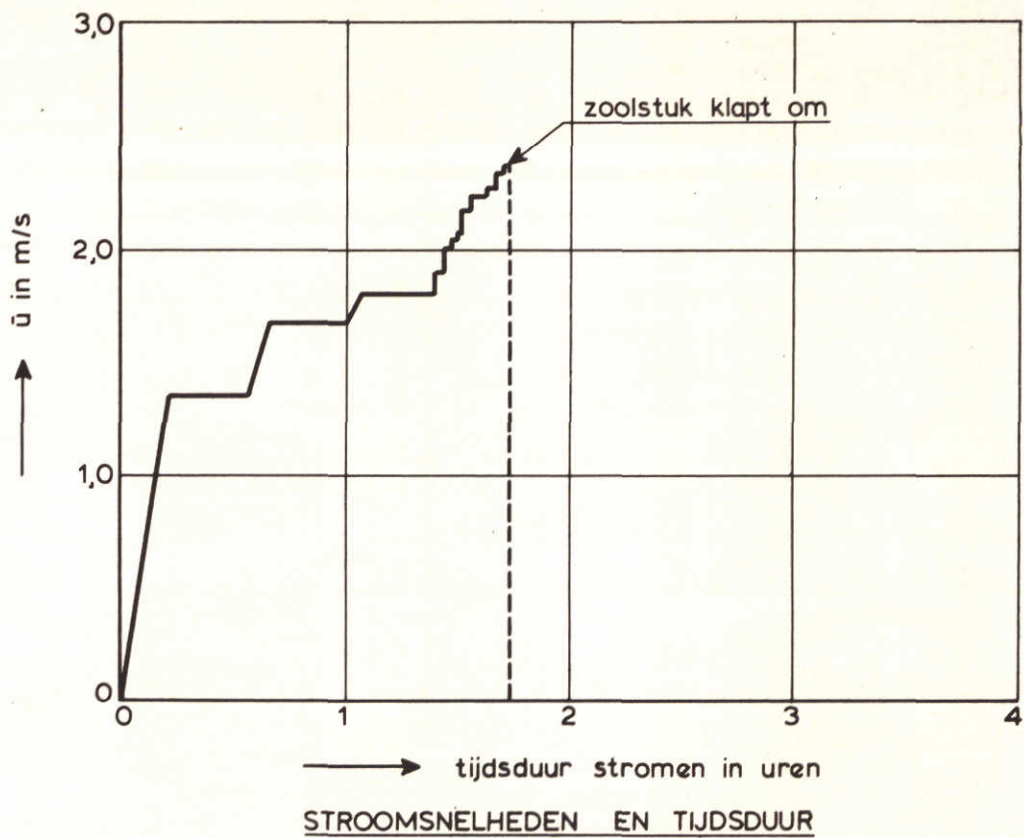
FIG. 4



MEETRESULTATEN

PROEF 73-23 SCHAAL 1 : 50

OVERLAP ZOOLSTUK
BESTORTING FOSFORSLAKKEN



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

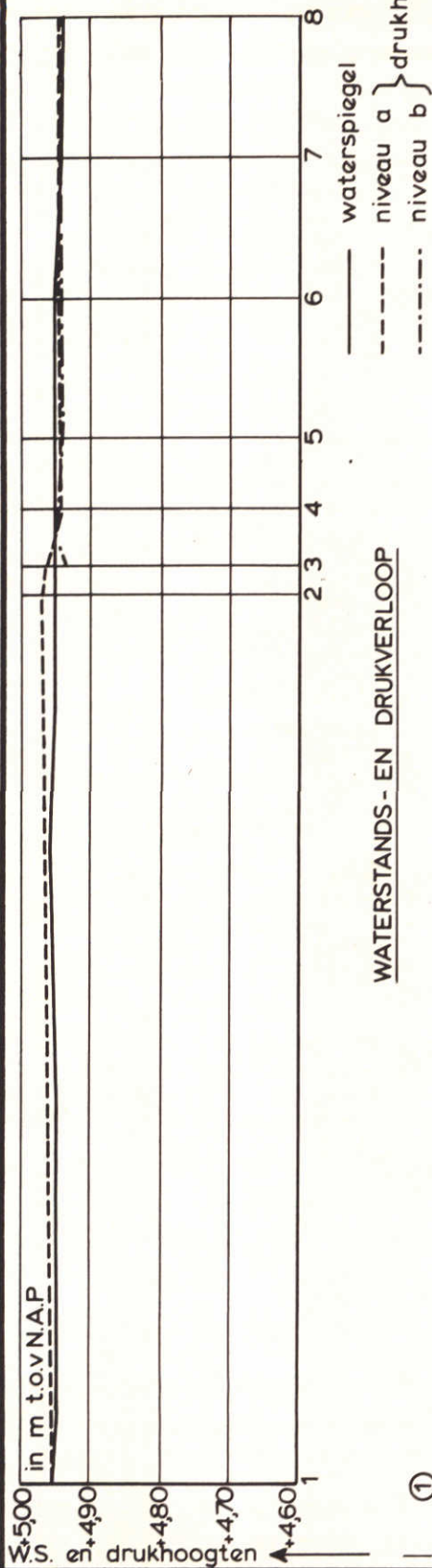
PROEF 73-23

OVERLAP ZOOLSTUK
BESTORTING FOSFORSLAKKEN

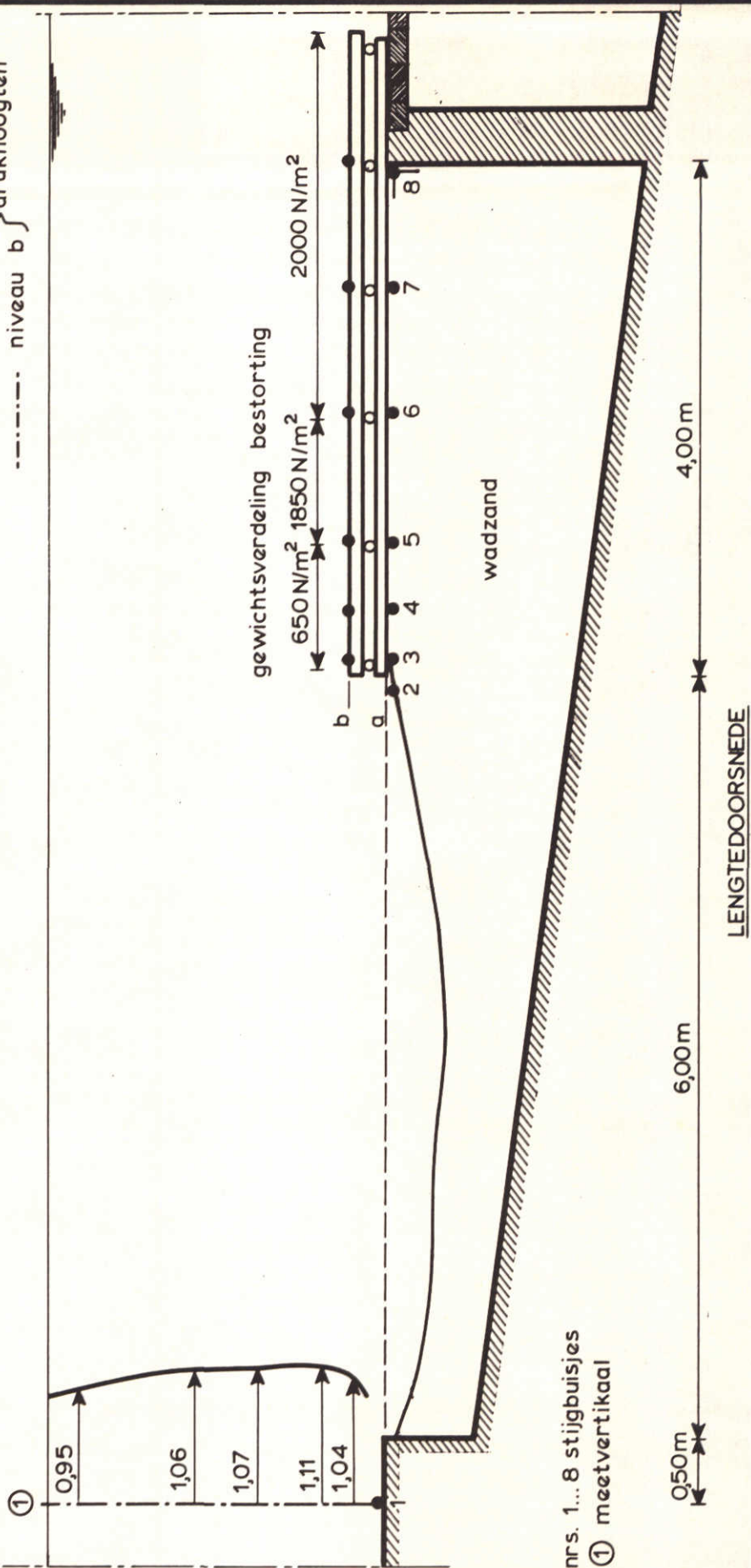
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 6



WATERSTANDS- EN DRUKVERLOOP



nr. 1... 8 stijgbuisjes
① meetvertikaal

LENGTEDOORSNEDE

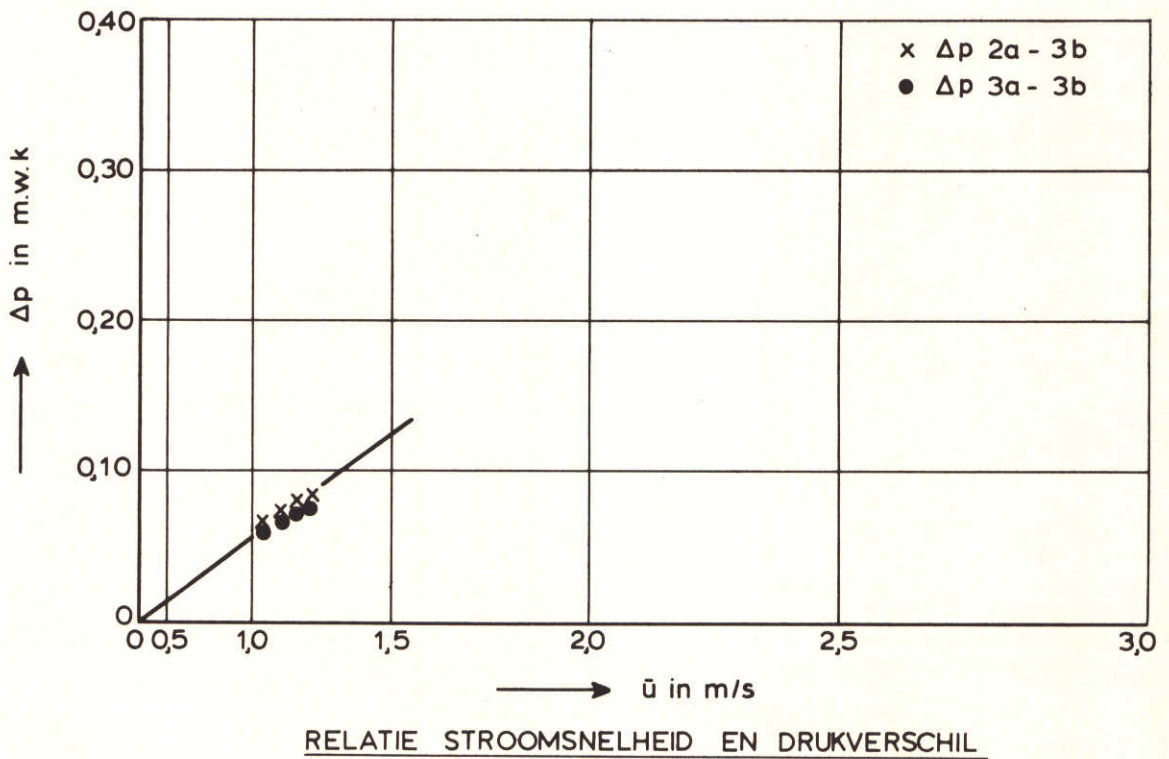
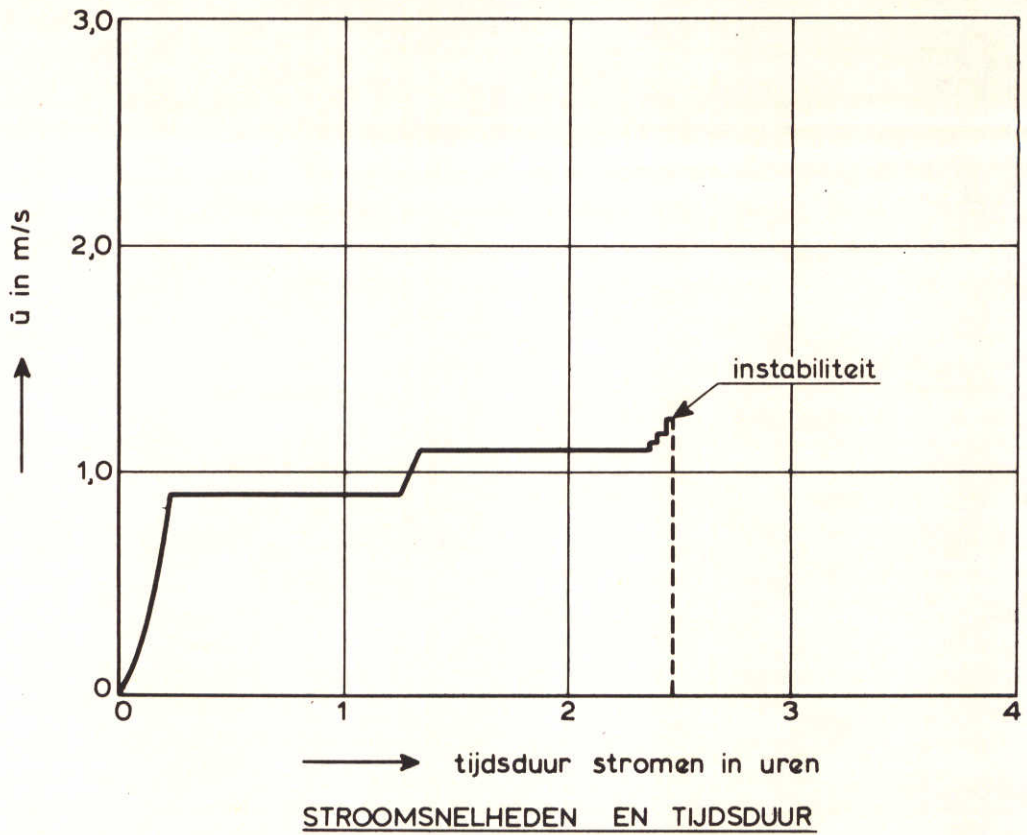
MEETRESULTATEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

PROEF 73-24 SCHAAL 1: 50
ZOOLSTUK MET ONTGR. KUIL
BESTORTING FOSFORSLAKKEN

R 460

FIG. 7



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

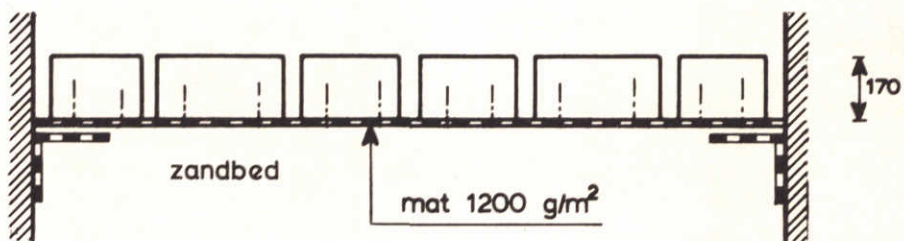
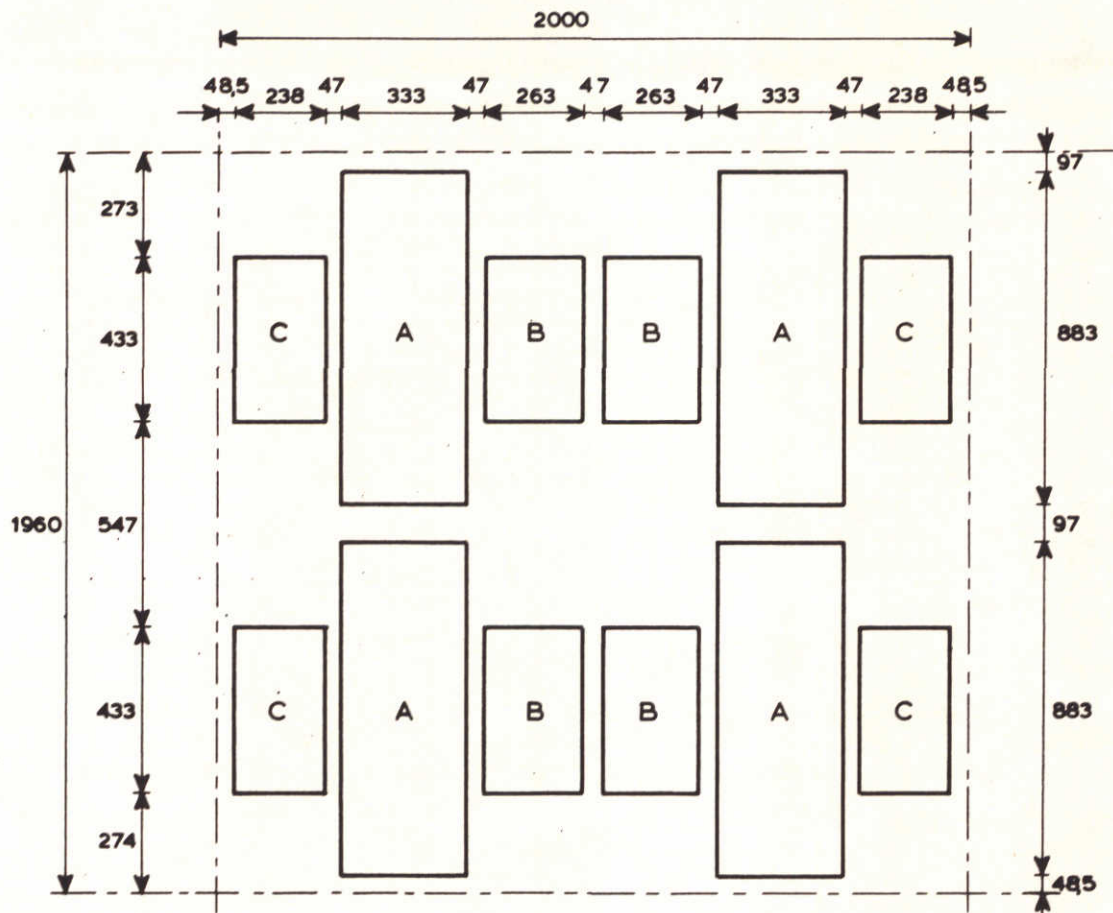
PROEF 73-24

ZOOLSTUK MET ONTGR. KUIL
BESTORTING FOSFORSLAKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 8



DWARS - DOORSNEDE GOOT

blokfmetingen: type A: 833 x 333 x 170
 type B: 433 x 263 x 170
 type C: 433 x 238 x 170

maten in mm

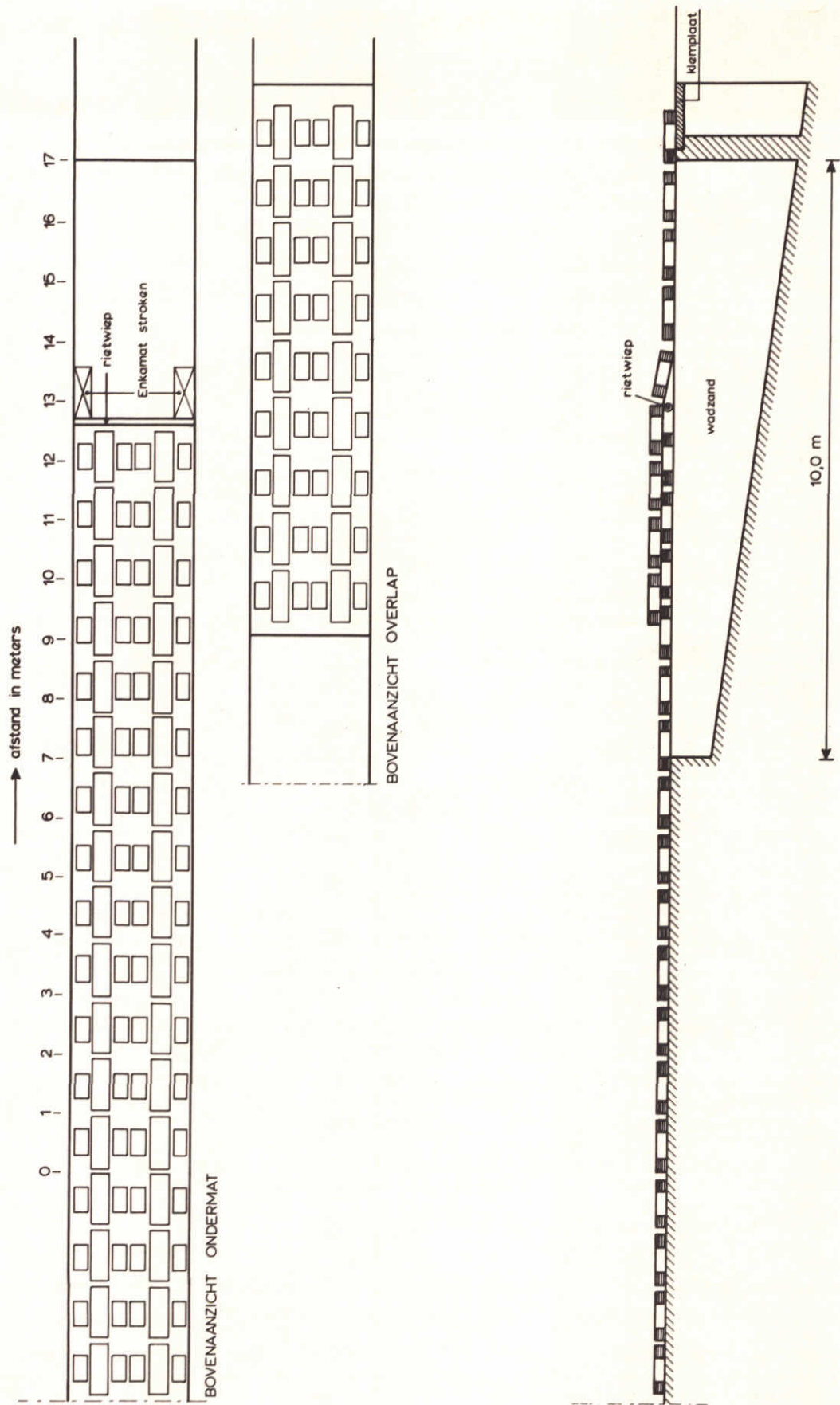
BLOKKENPATROON BLOKKENMAT

SCHAAL 1:20

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 9



PROEFOPSTELLING BLOKKENMAT

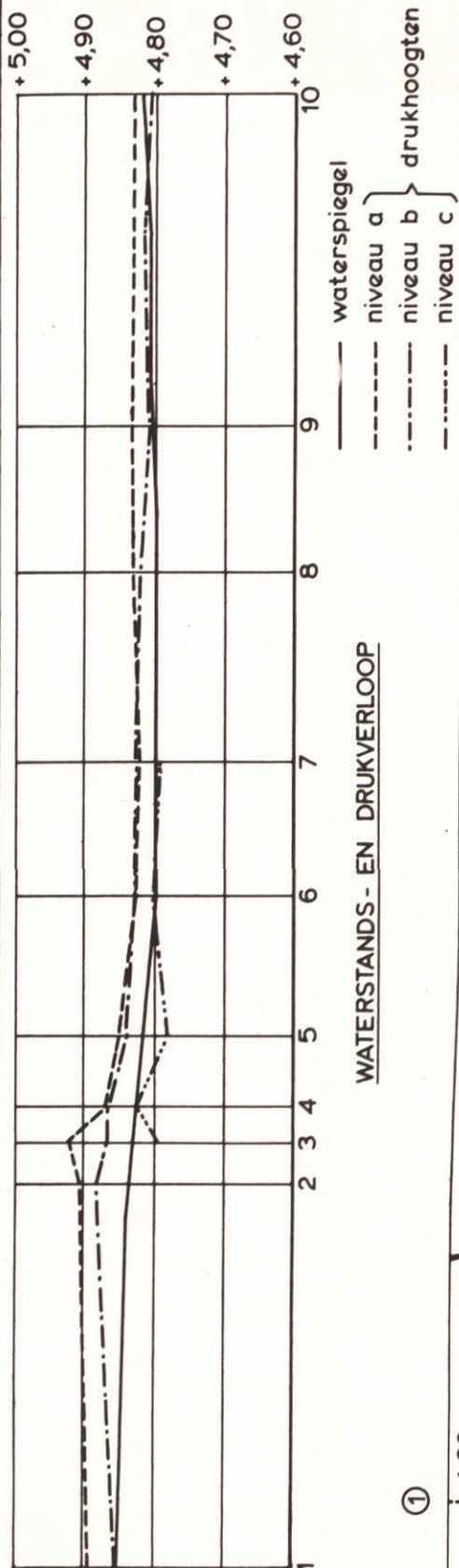
SCHAAL 1:100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 10

W.S. en drukhoogten
in m t.o.v. N.A.P.



①

1,82
1,86
1,94
2,00
1,95
1,62

gewicht 2000 N/m²

wadzand

nrs. 1...10 stijgbuisjes

① meetvertikaal

2,10 m

3,25 m

4,65 m

LENGTEDOORSNEDE

MEETRESULTATEN

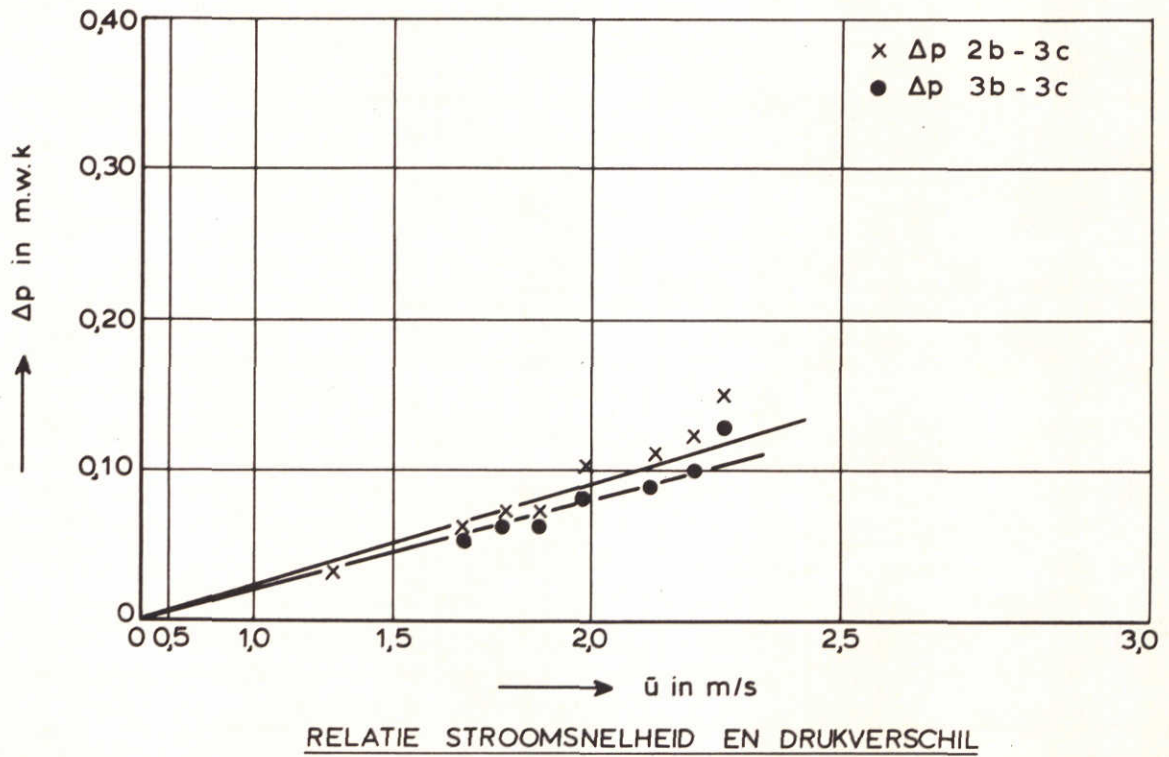
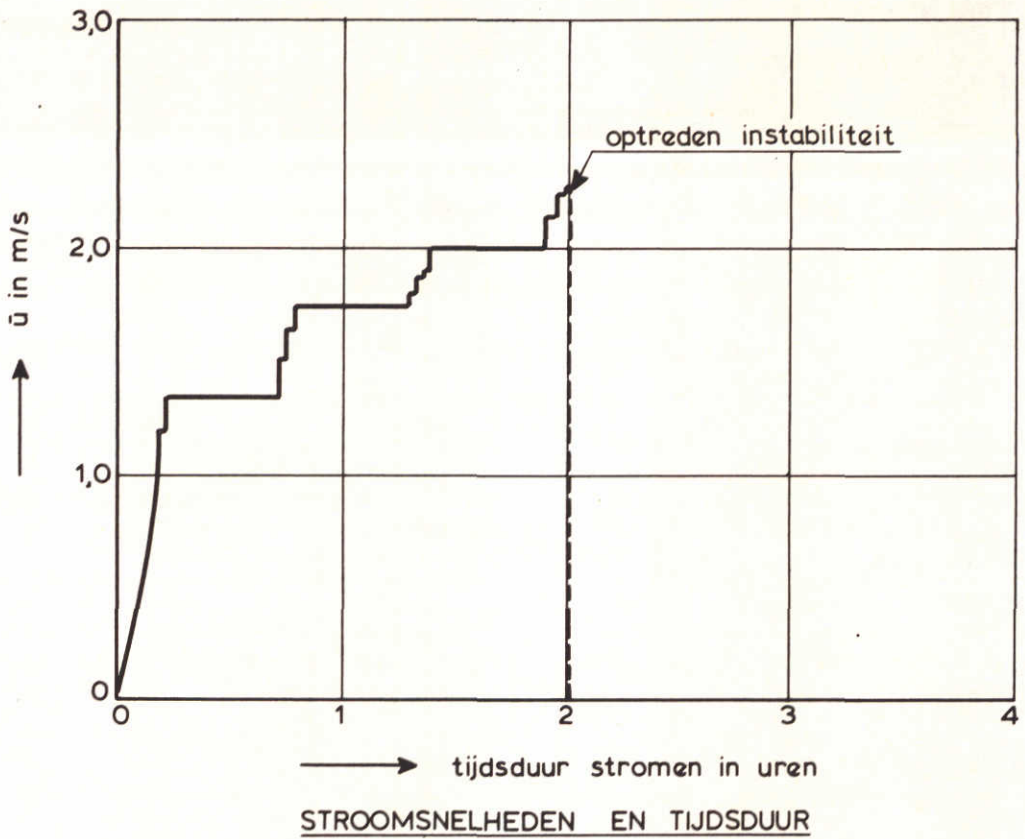
PROEF 74-03 SCHAAL 1:50

OVERLAP BLOKKENMAT
ONBESTORT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 11



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

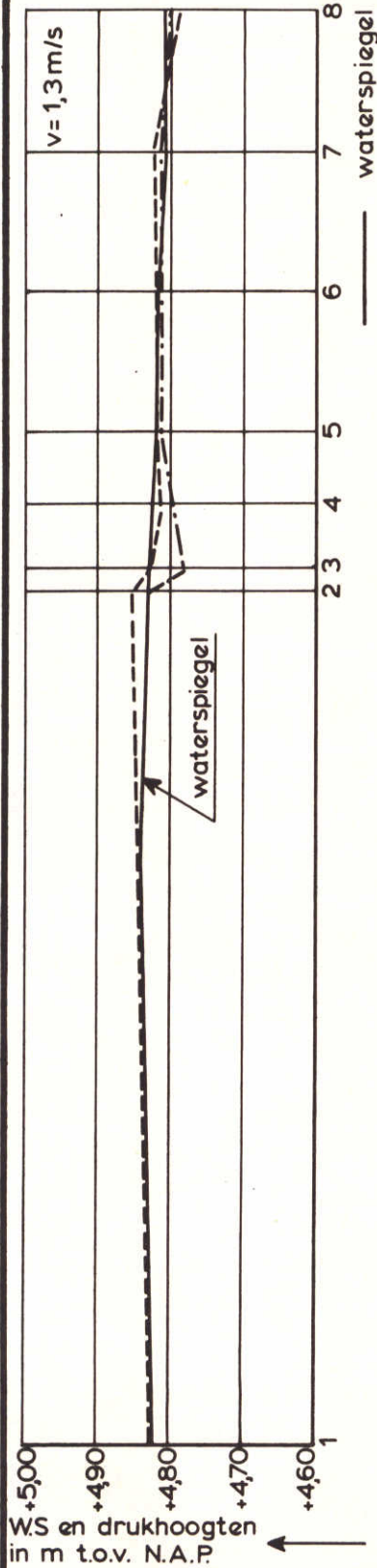
PROEF 74-03

OVERLAP BLOKKENMAT
ONBESTORT

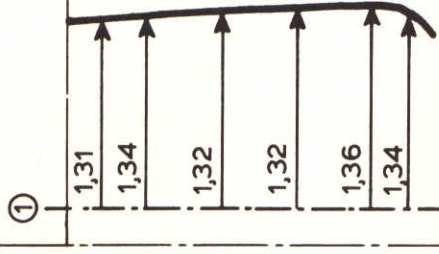
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 12



WATERSTANDS - EN DRUKVERLOOP



nrs. 1...8 stijgbuisjes
① meetvertikaal

gewicht 2000 N/m²

wadzand

LENGTEDOORSNEDE

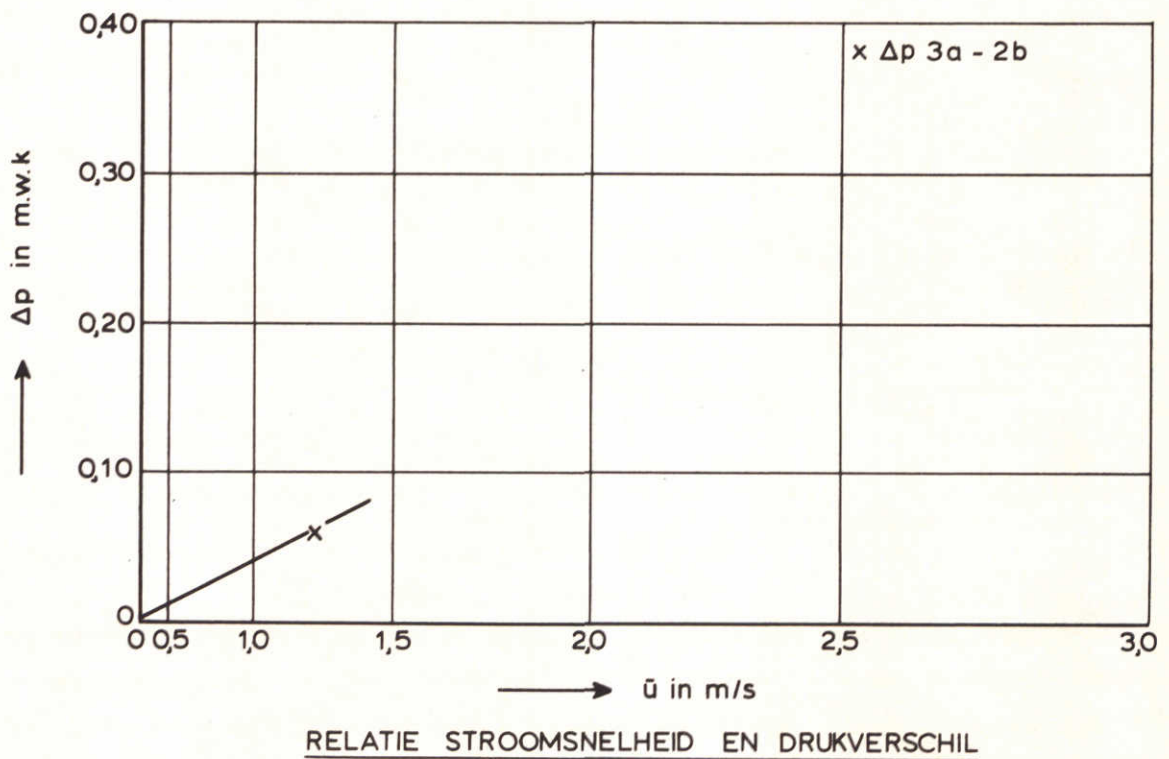
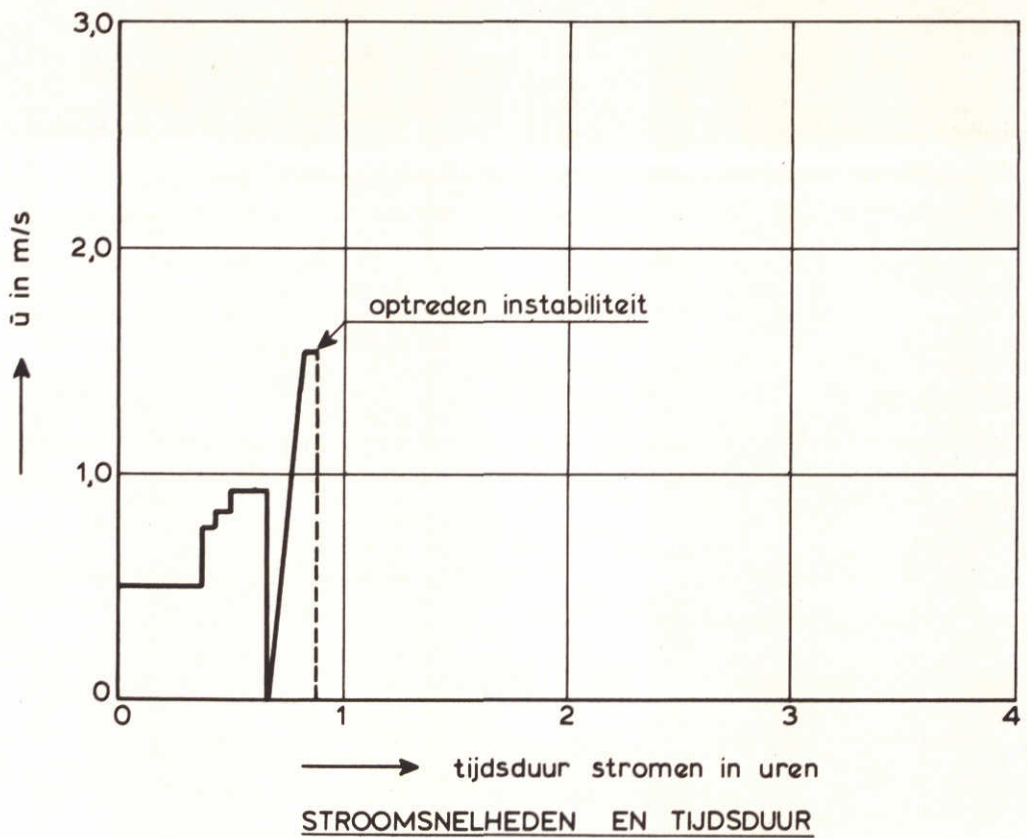
4,00 m

6,00 m

MEETRESULTATEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

PROEF 73 - 16	SCHAAL 1:50
BLOKKENMAT ONTGR. KUIL ONBESTORT	
R 460	FIG. 13



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

PROEF 73-16

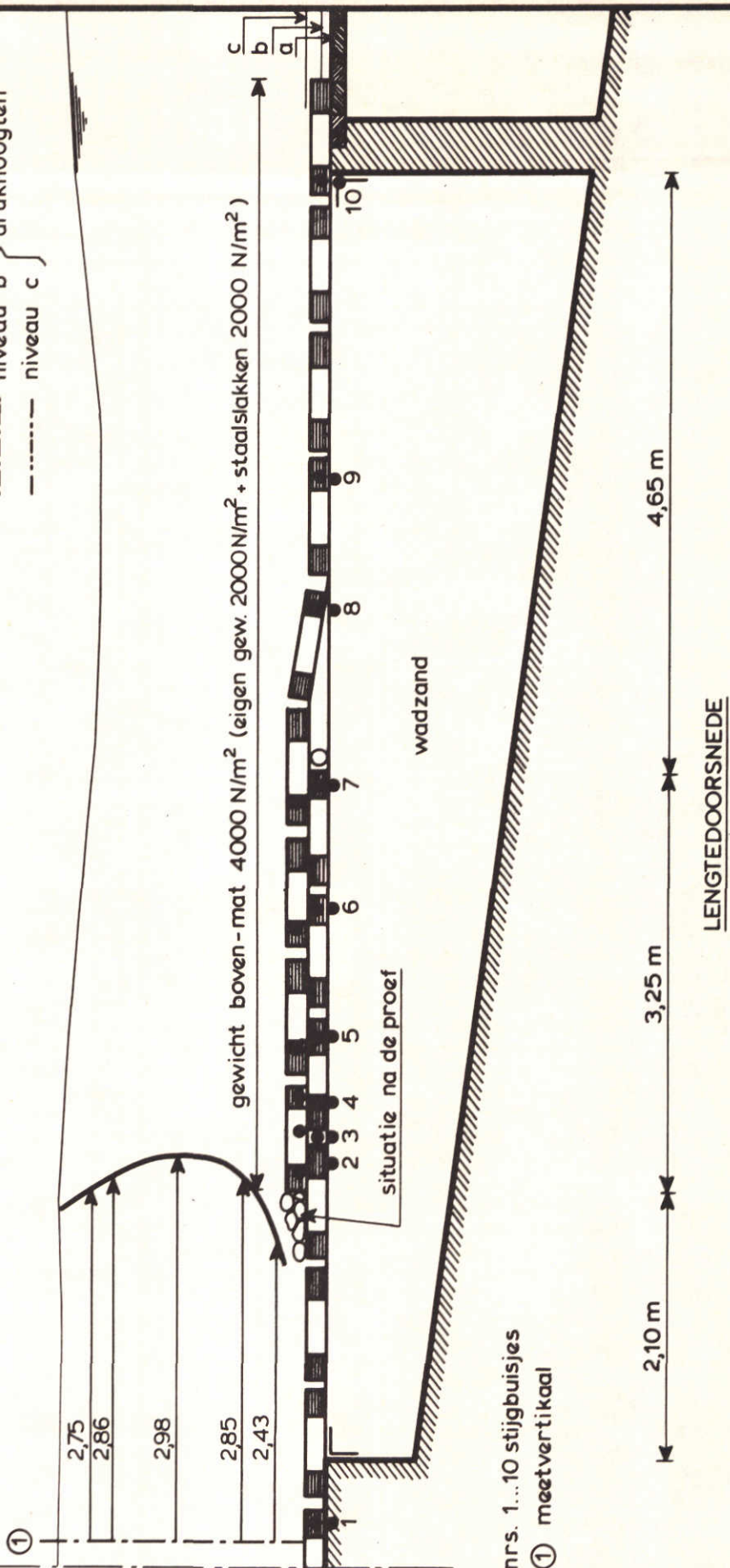
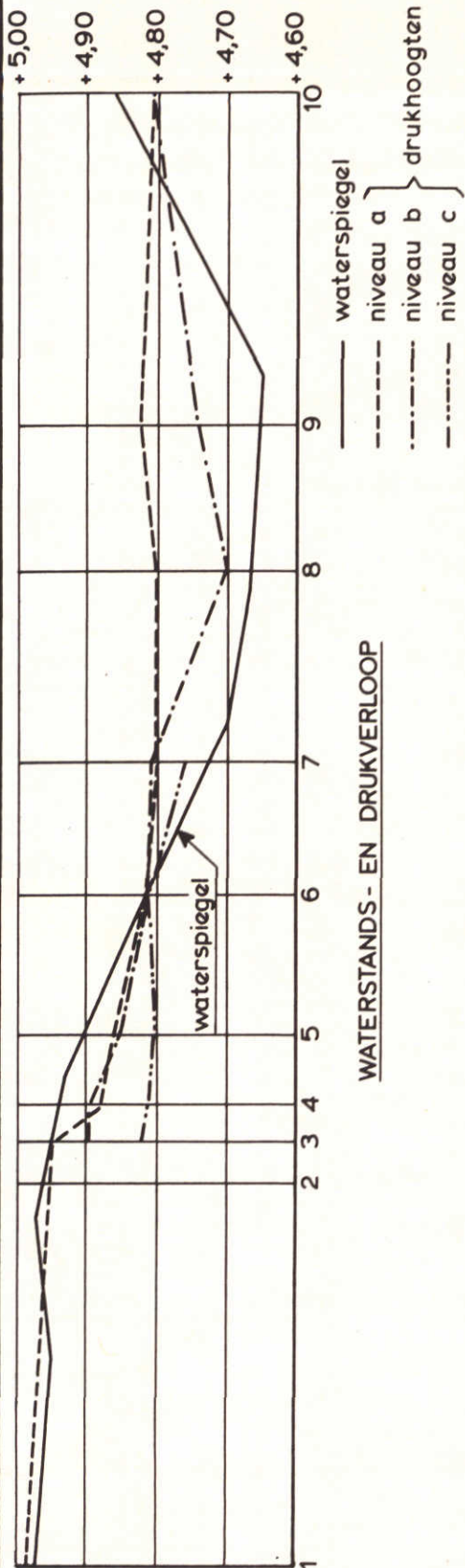
BLOKKENMAT ONTGR. KUIL
ONBESTORT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 14

W.S. en drukhoogten
in m t.o.v. N.A.P.



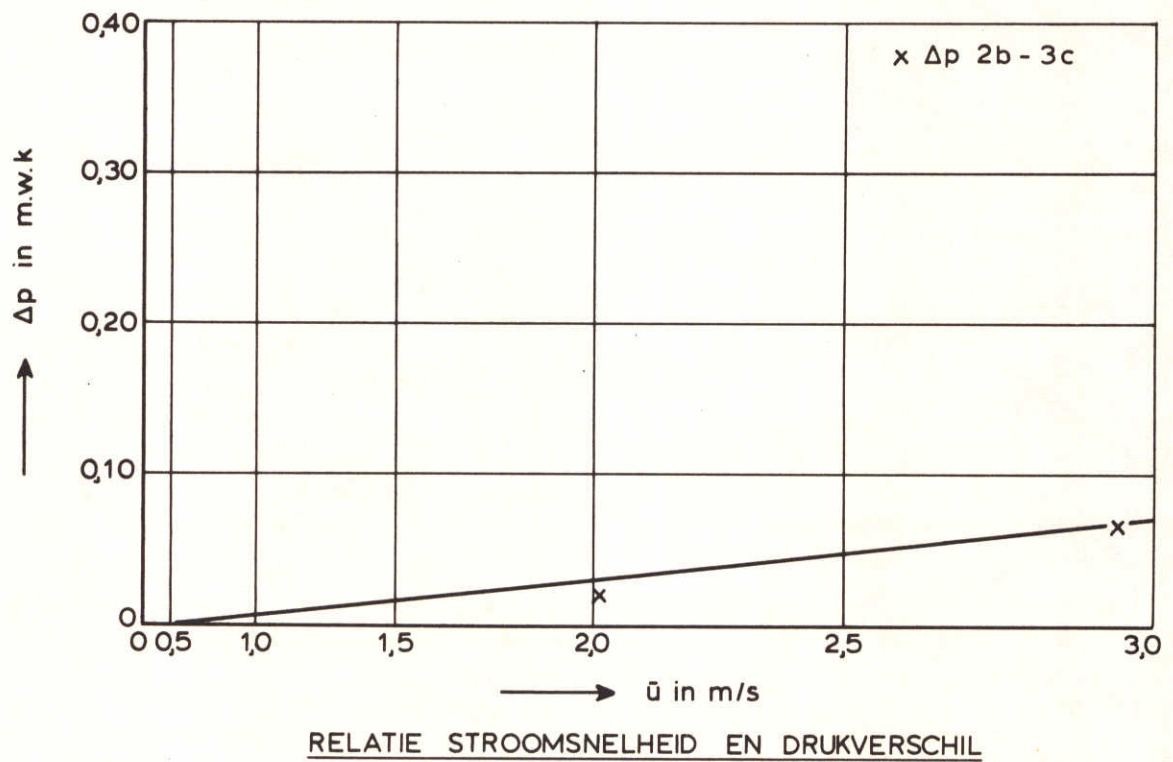
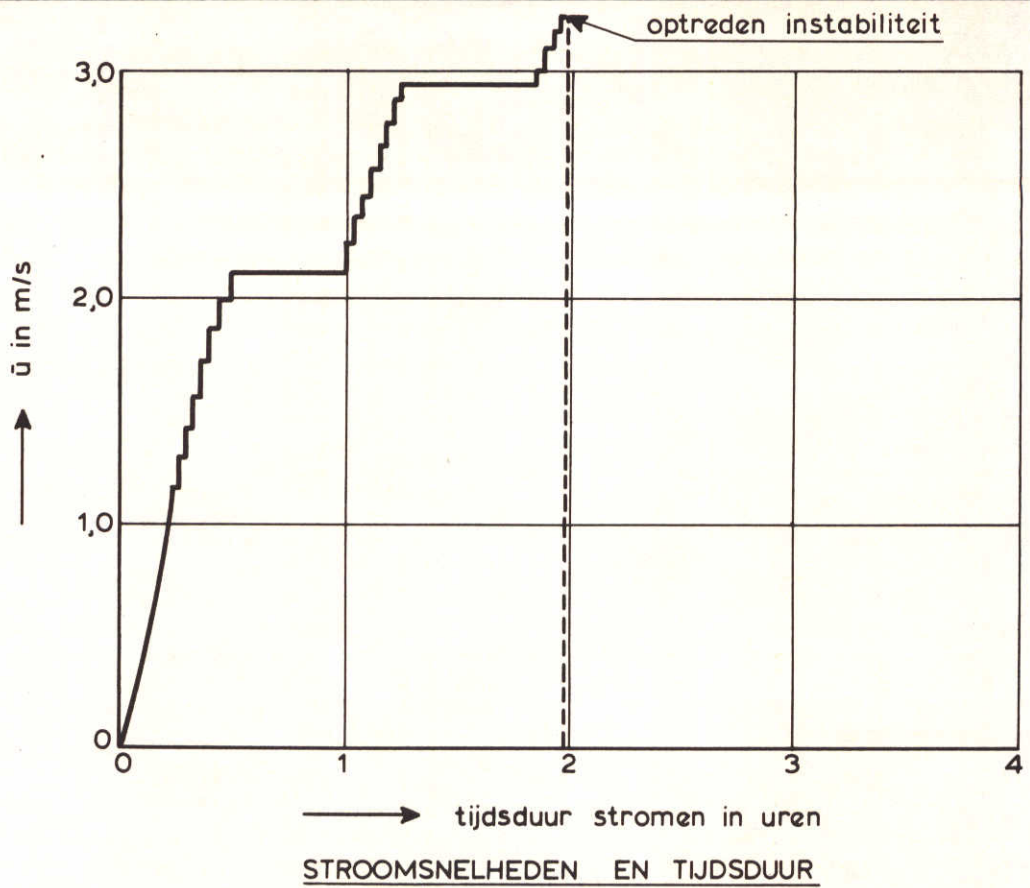
MEETRESULTATEN

PROEF 73-14 SCHAAL 1:50
 OVERLAP BLOKKENMAT
 BESTORTING STAALSLAKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 15



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

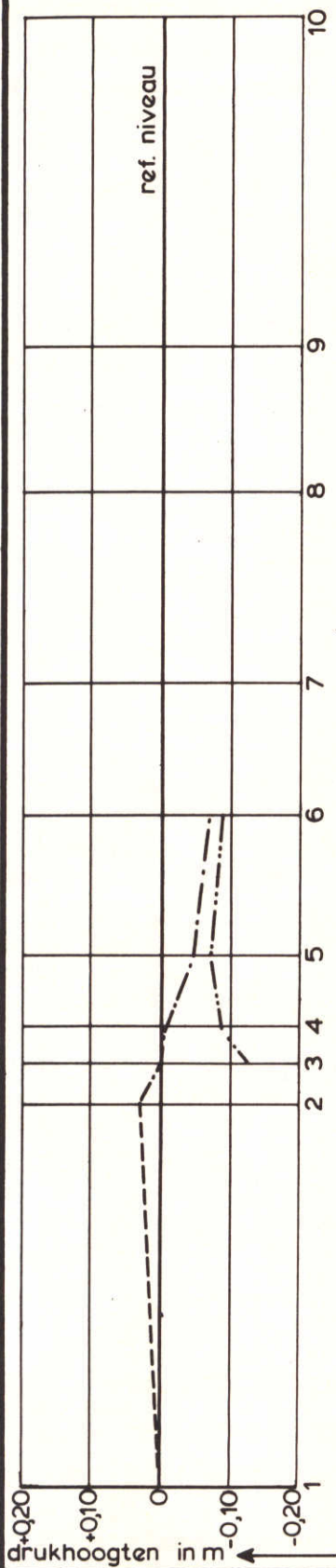
PROEF 73-14

OVERLAP BLOKKENMAT
BESTORTING STAALSLAKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 16

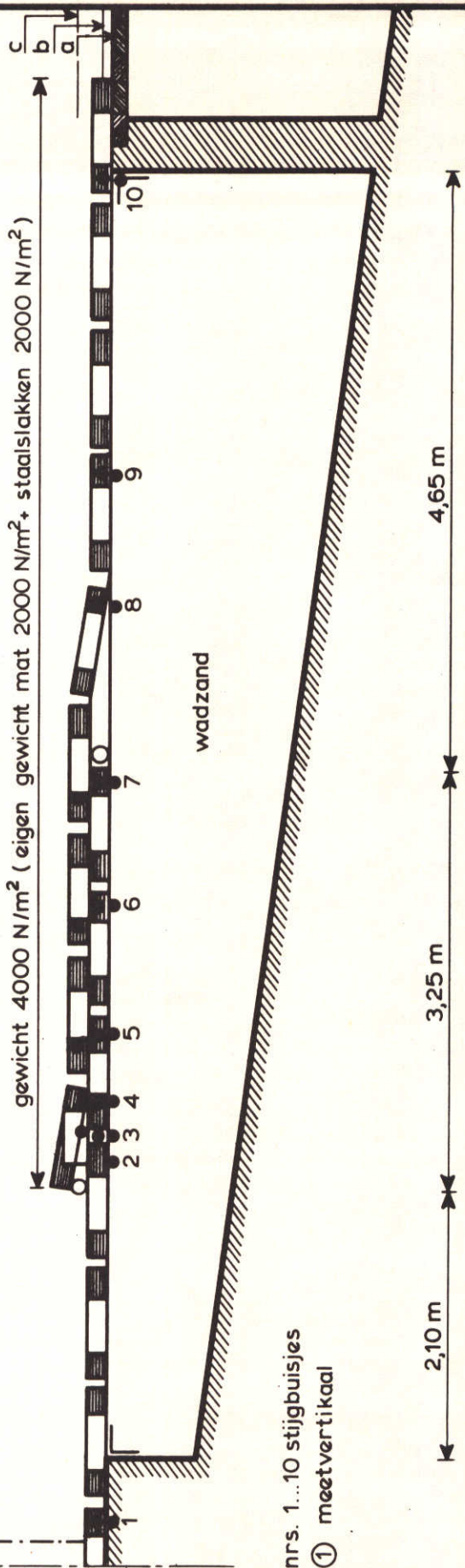


WATERSTANDS - EN DRUKVERLOOP

- niveau a
- · - niveau b
- niveau c

$\bar{v} = 2,24 \text{ m/s}$

gewicht 4000 N/m^2 (eigen gewicht 2000 N/m^2 + staalslakken 2000 N/m^2)



nrs. 1...10 stijgbuisjes
① meetvertikaal

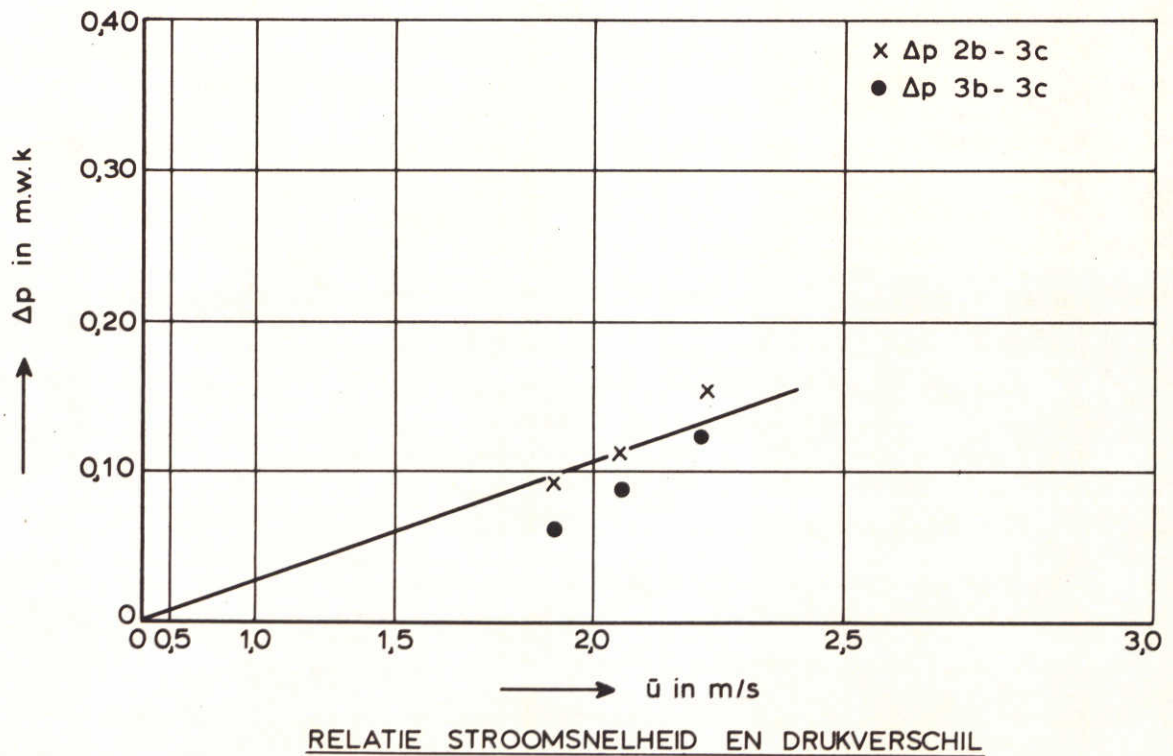
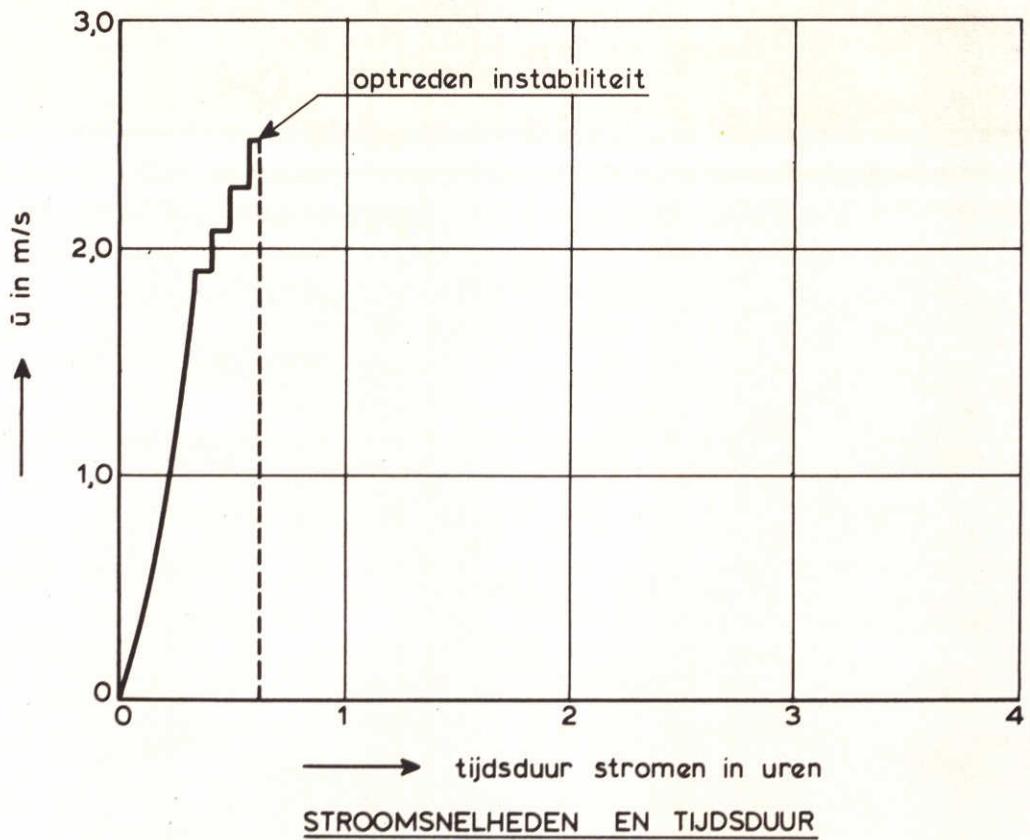
MEETRESULTATEN

PROEF 73-15 SCHAAL 1:50
OVERLAP BLOKKENMAT
BESTORTING STAALSLAKKEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 17



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

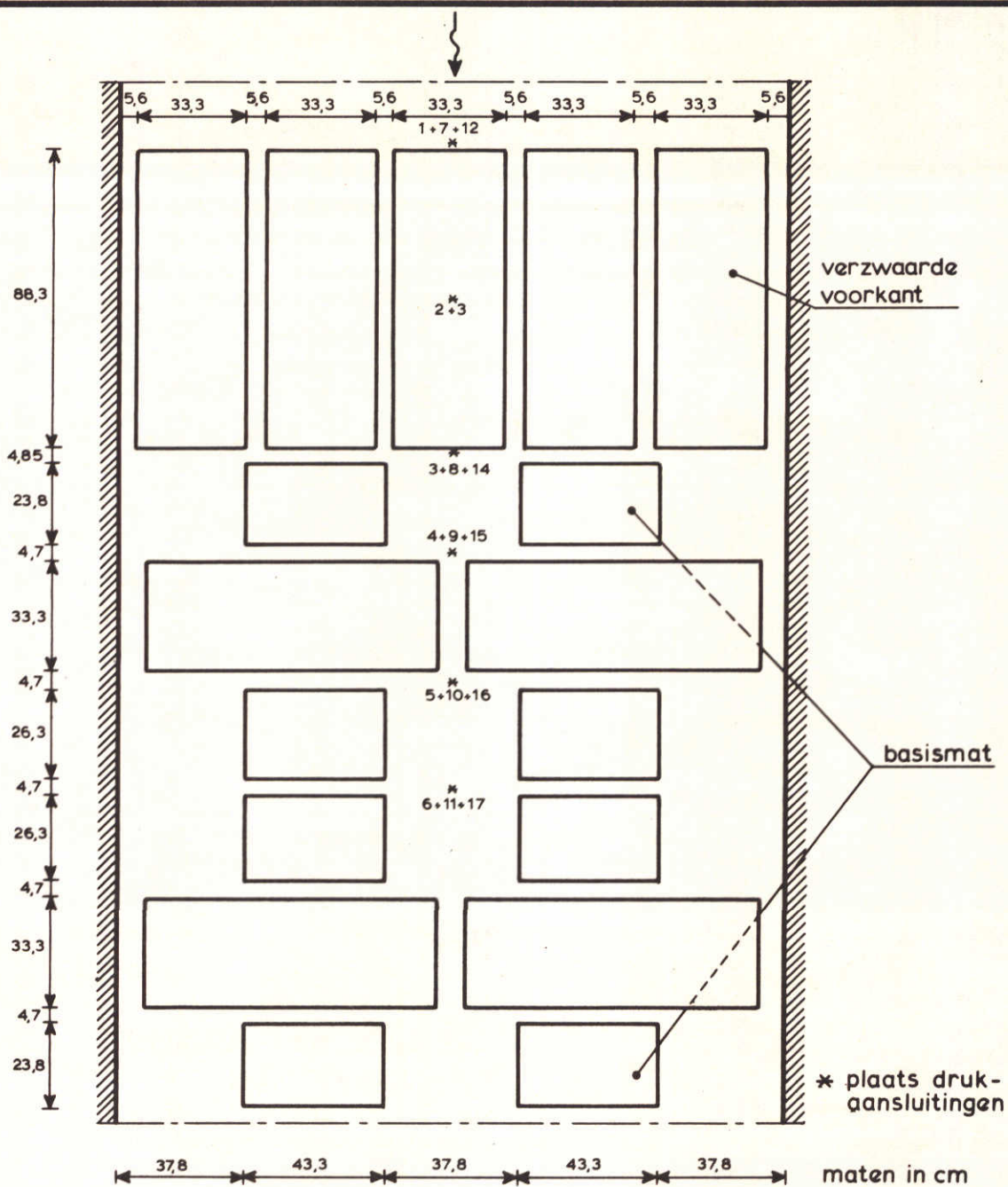
PROEF 73-15

OVERLAP BLOKKENMAT
BESTORTING STAALSLAKKEN

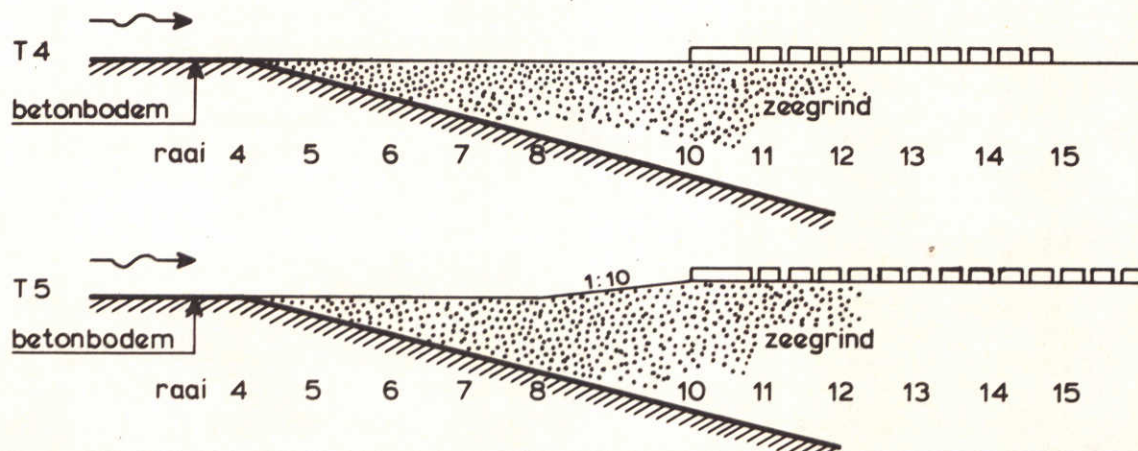
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 18



BOVENAANZICHT POSTZEGELMAT IN DE GOOT



BLOKKENPATROON POSTZEGELMAT

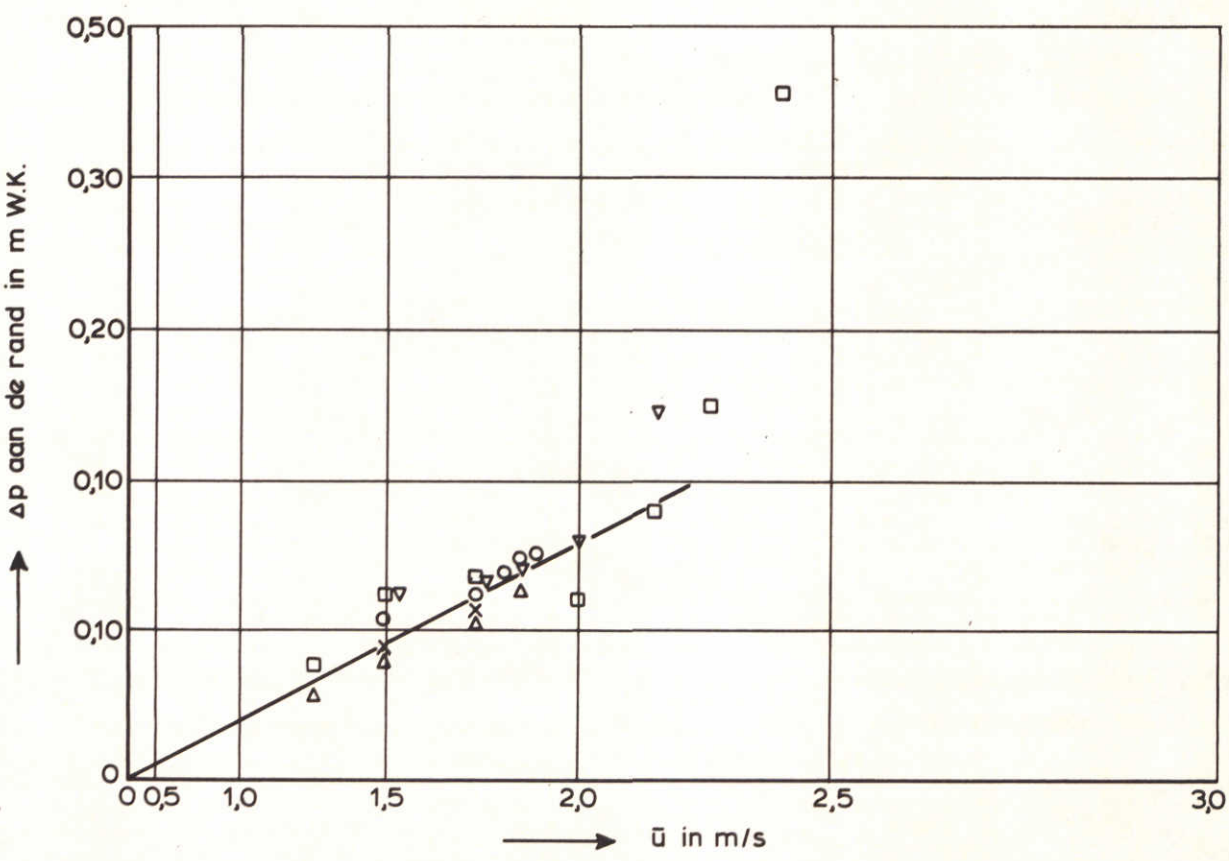
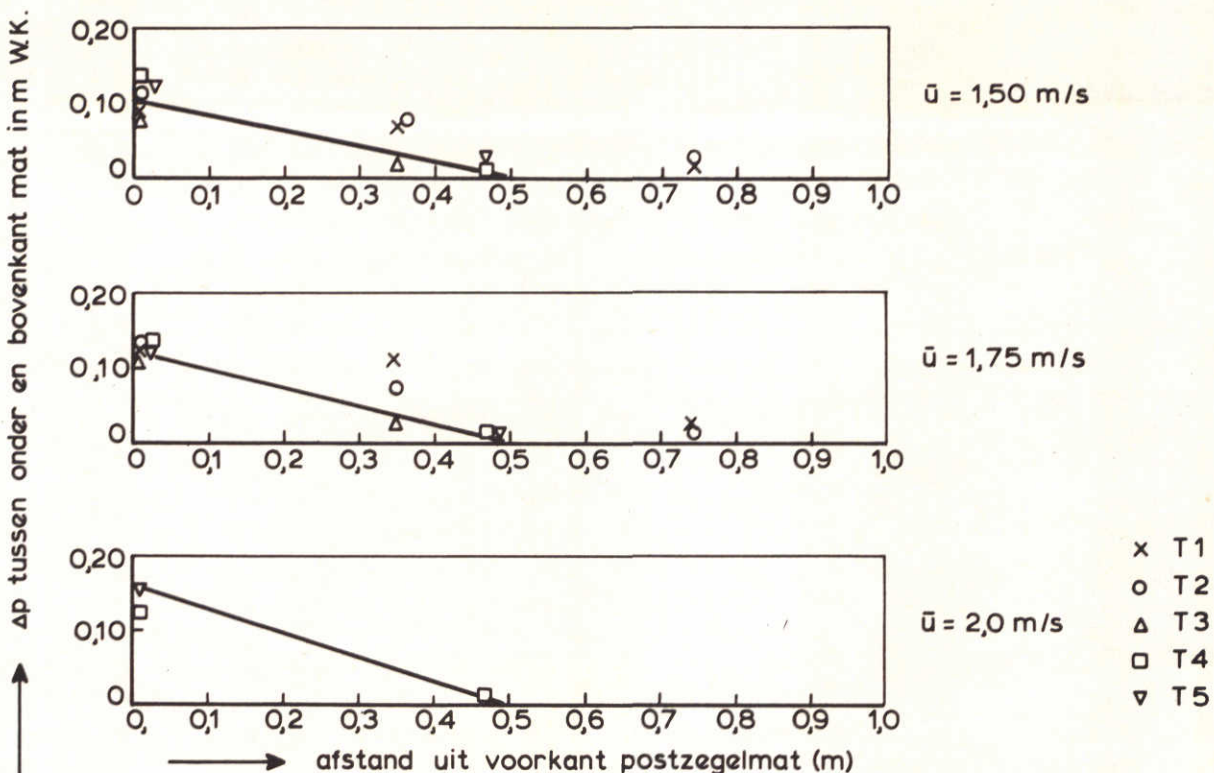
T4,T5

SCHAAL 1:100 EN 1:20

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

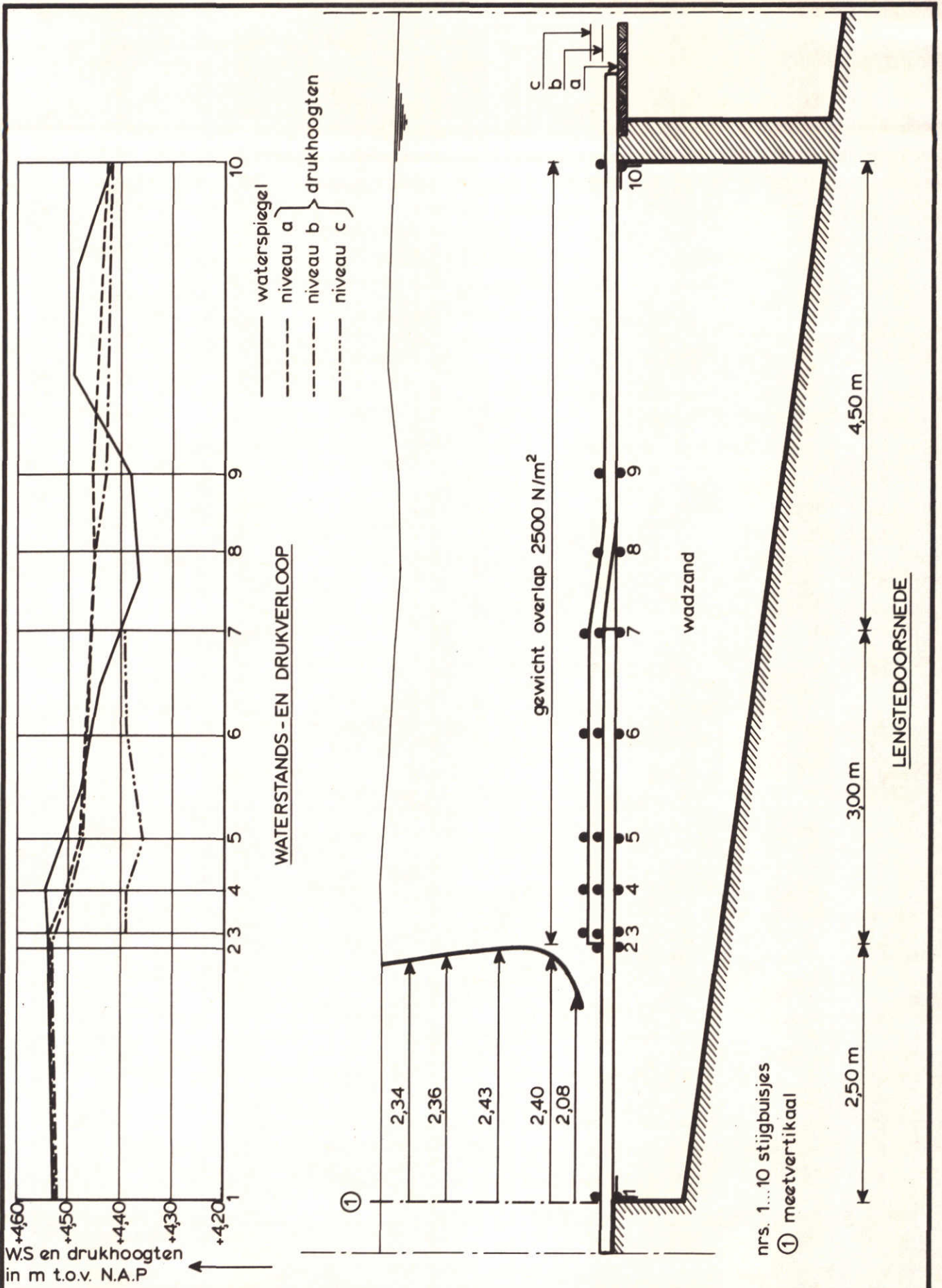
FIG. 20



MEETRESULTATEN

T1... T5

POSTZEGELMAT



MEETRESULTATEN

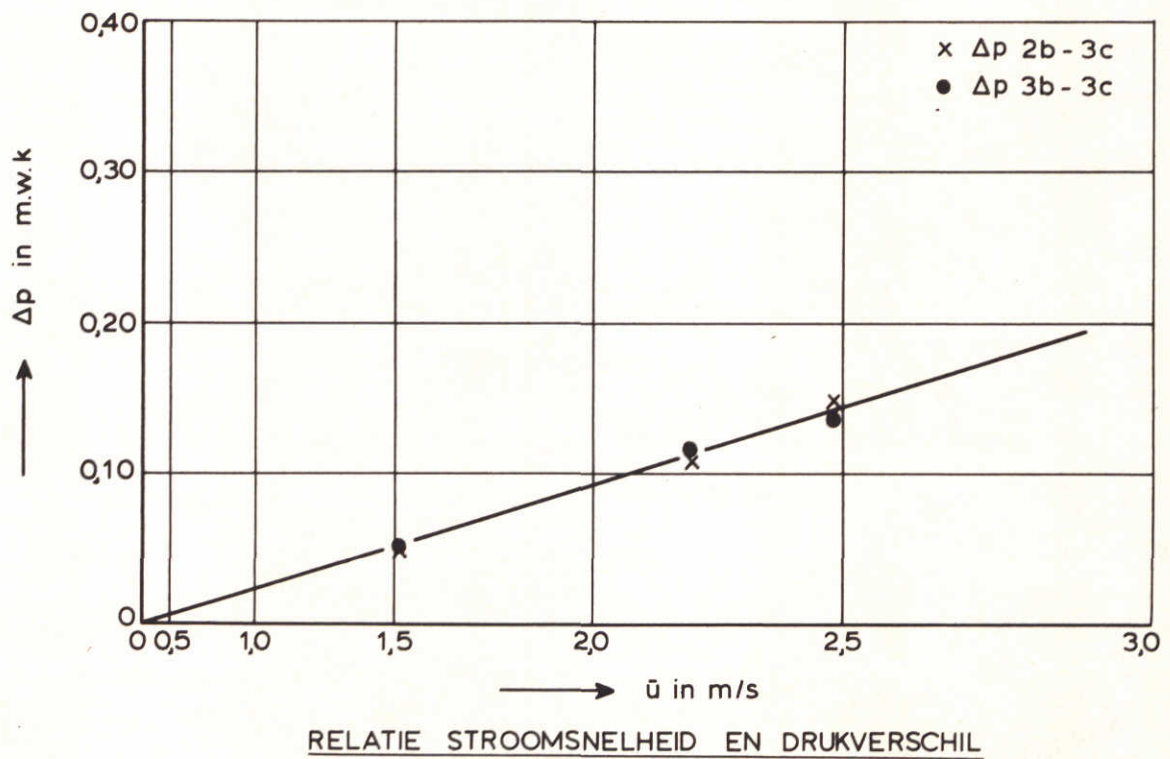
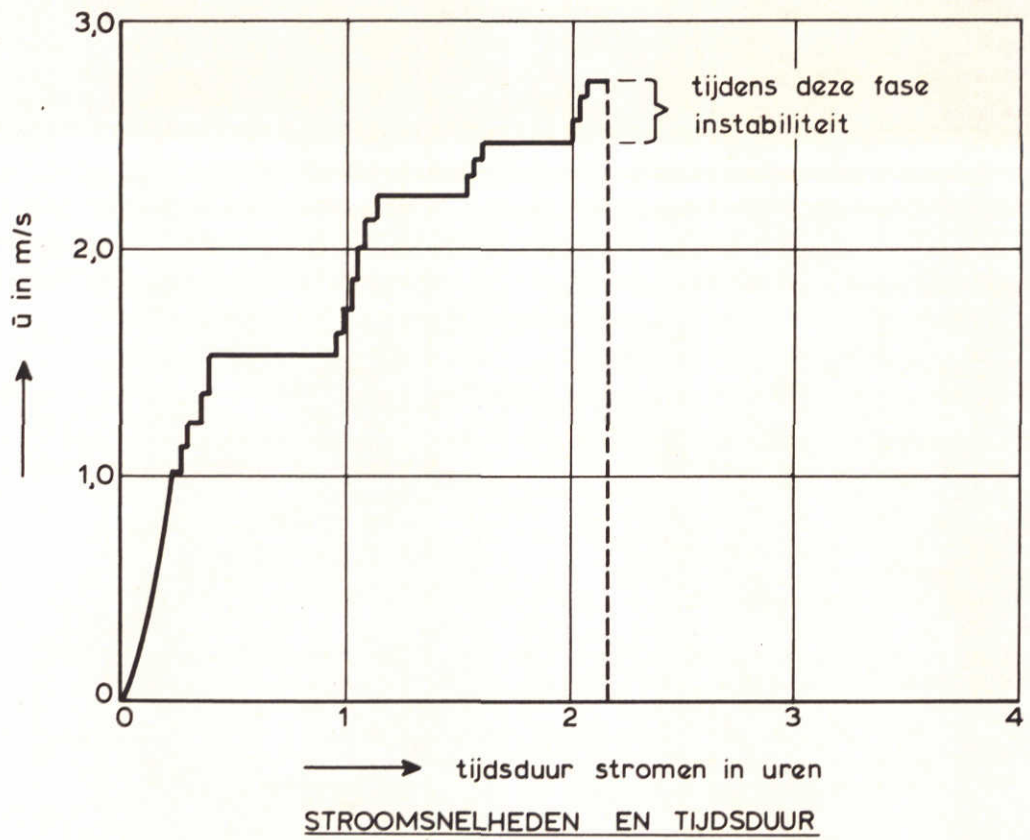
PROEF 73-17 SCHAAL 1:50

OVERLAP STEENASFALTMAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 22



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

PROEF 73-17

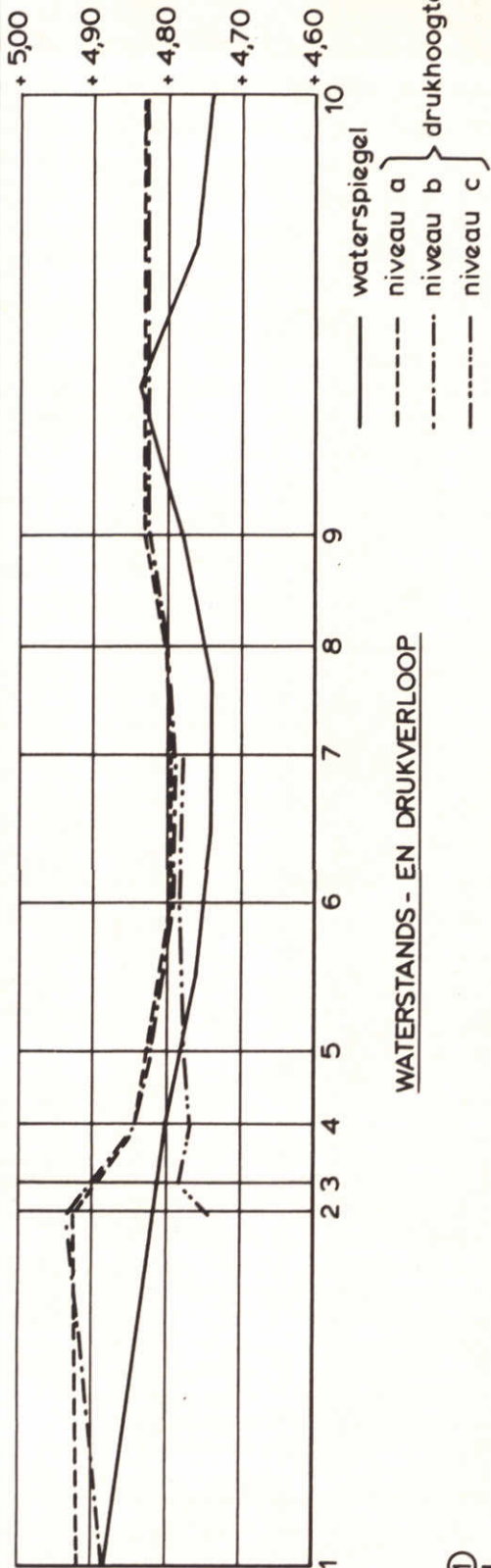
OVERLAP STEENASFALTMAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

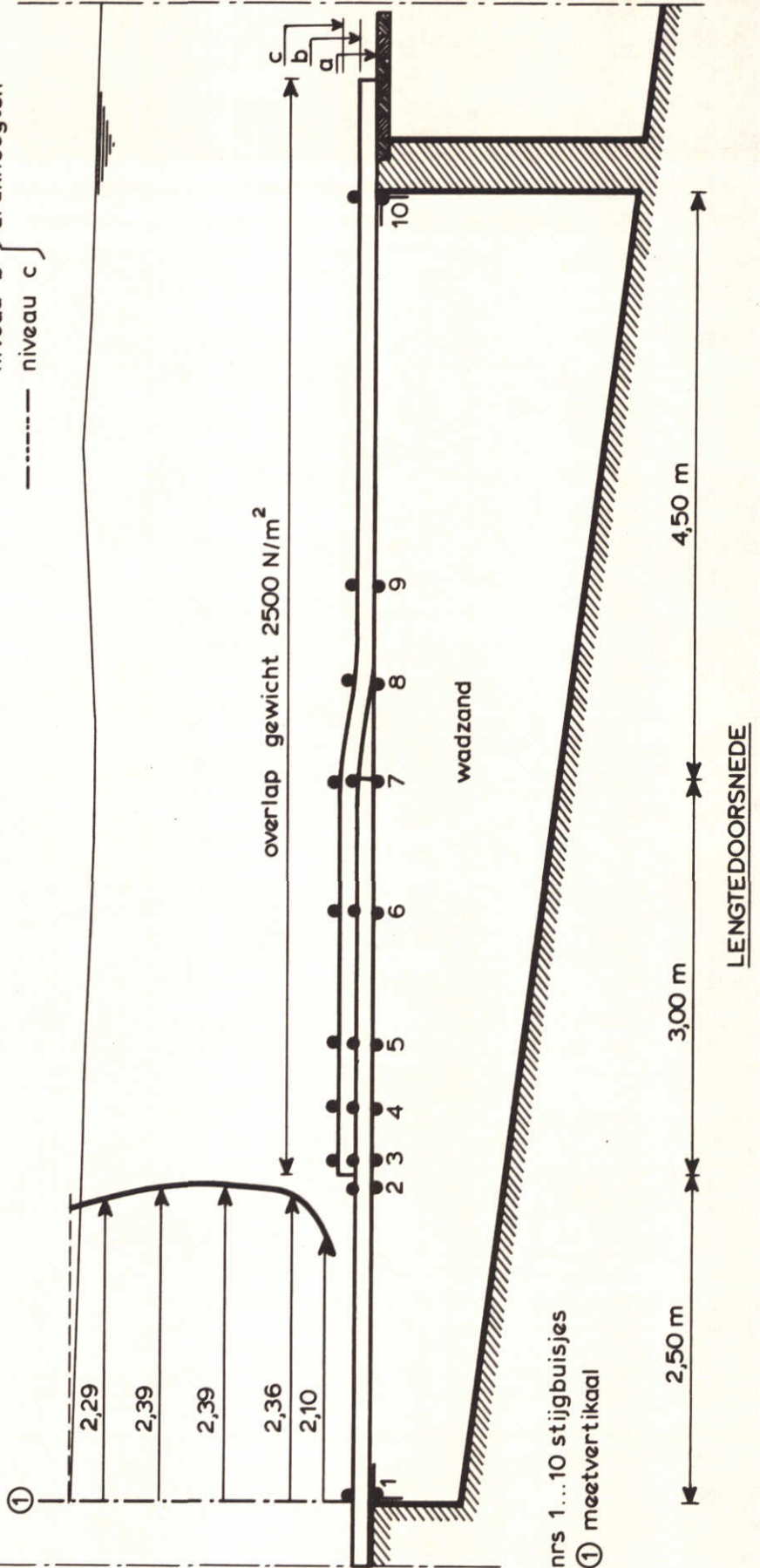
R 460

FIG. 23

W.S. en drukhoogten
in m t.o.v. N.A.P.

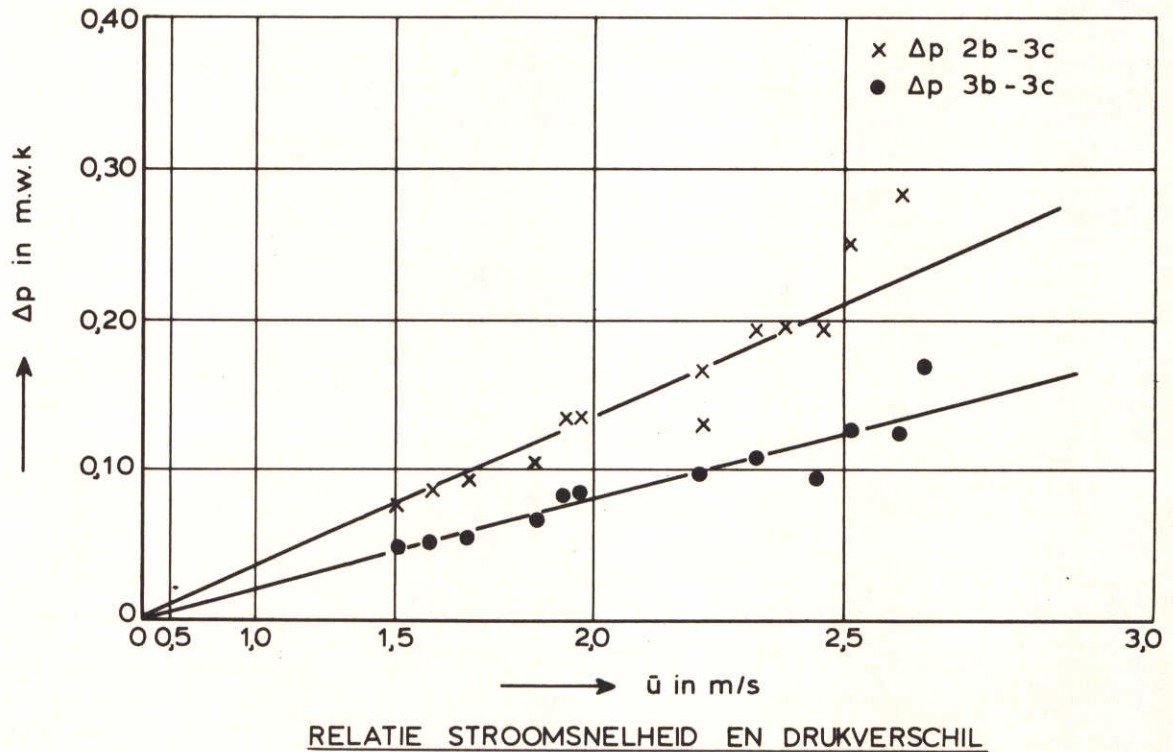
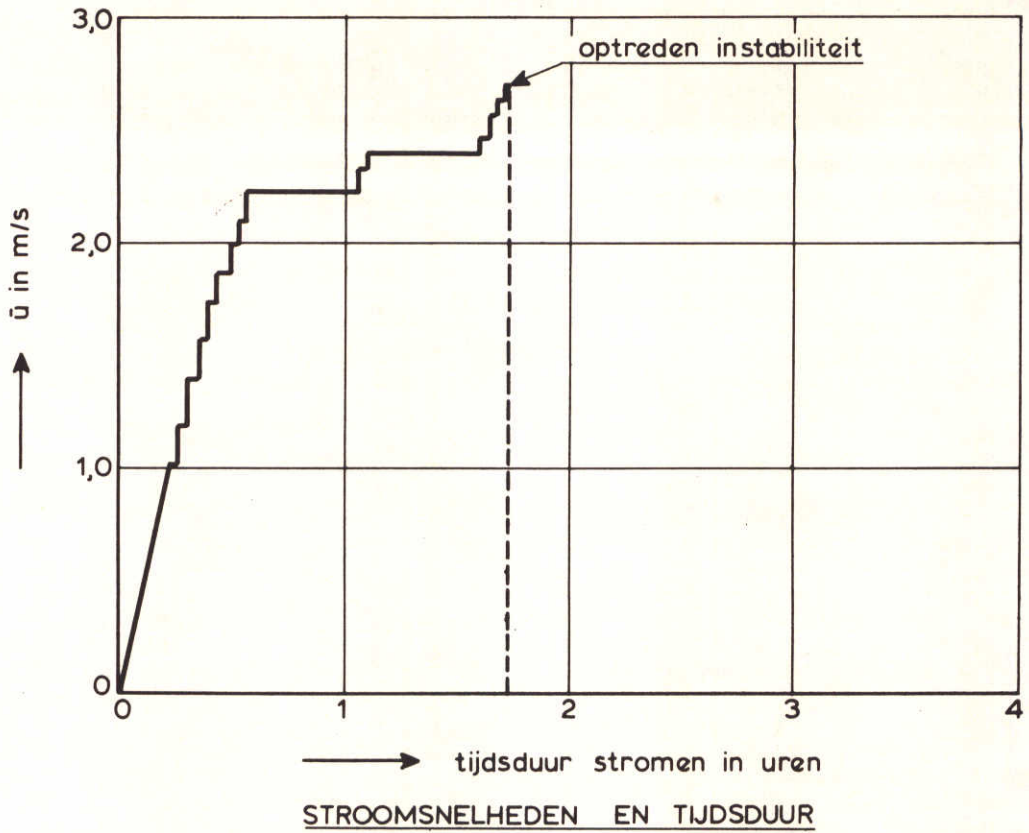


WATERSTANDS - EN DRUKVERLOOP



MEETRESULTATEN

PROEF 73-17	SCHAAL 1 : 50
OVERLAP STEENASFALTMAT	
R 460	FIG. 24



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

PROEF 73-17

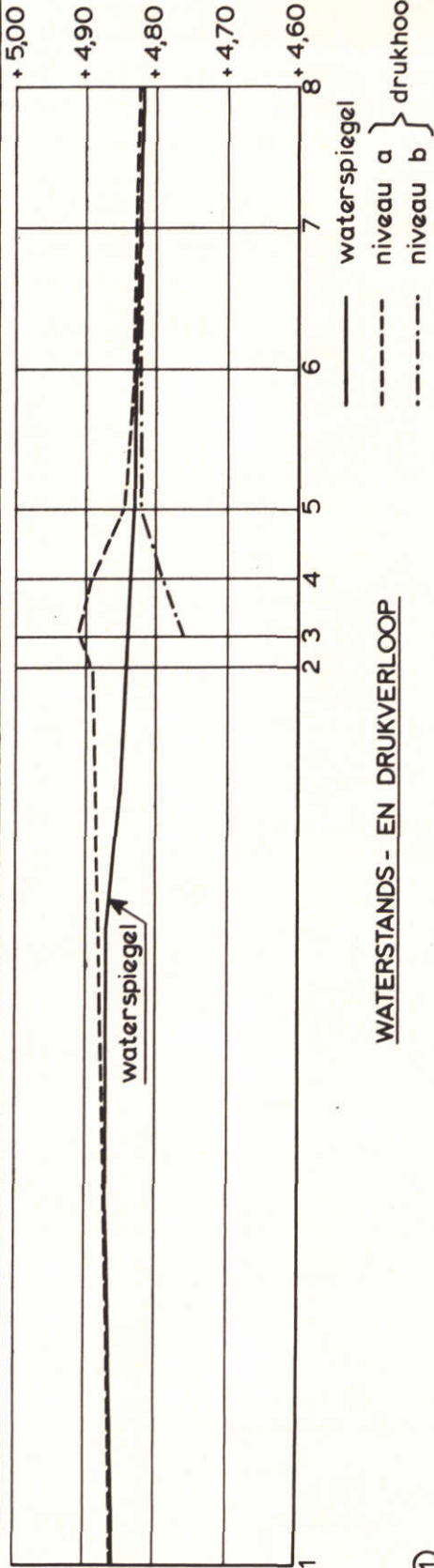
OVERLAP STEENASFALTMAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

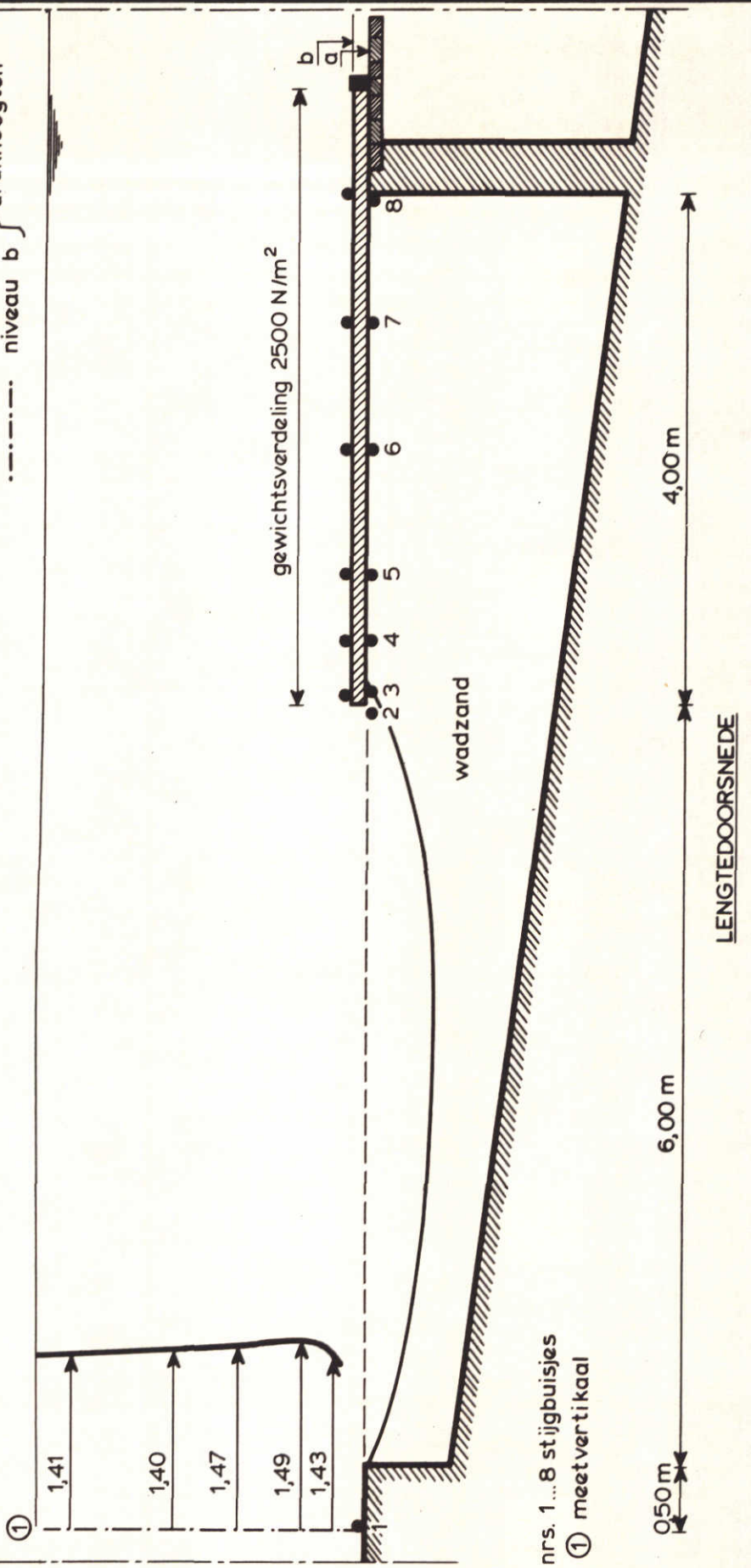
R 460

FIG. 25

W.S. en drukhoogten
in m t.o.v. N.A.P.



WATERSTANDS - EN DRUKVERLOOP



MEETRESULTATEN

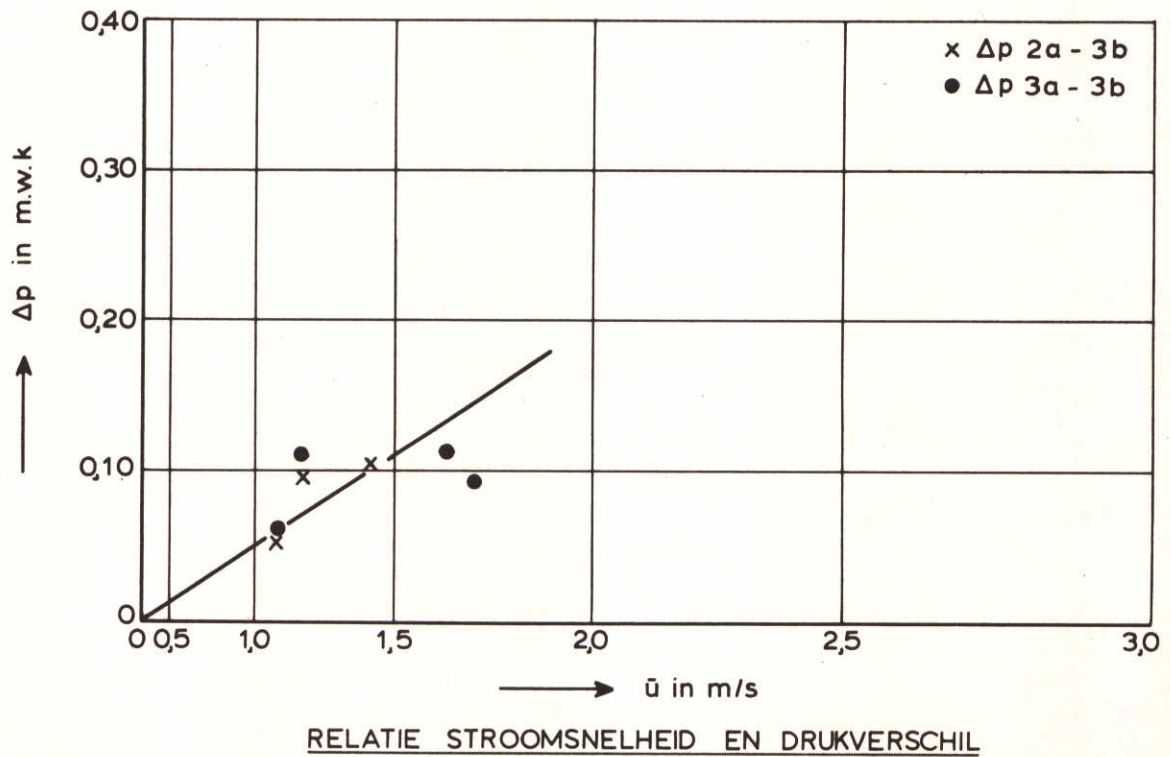
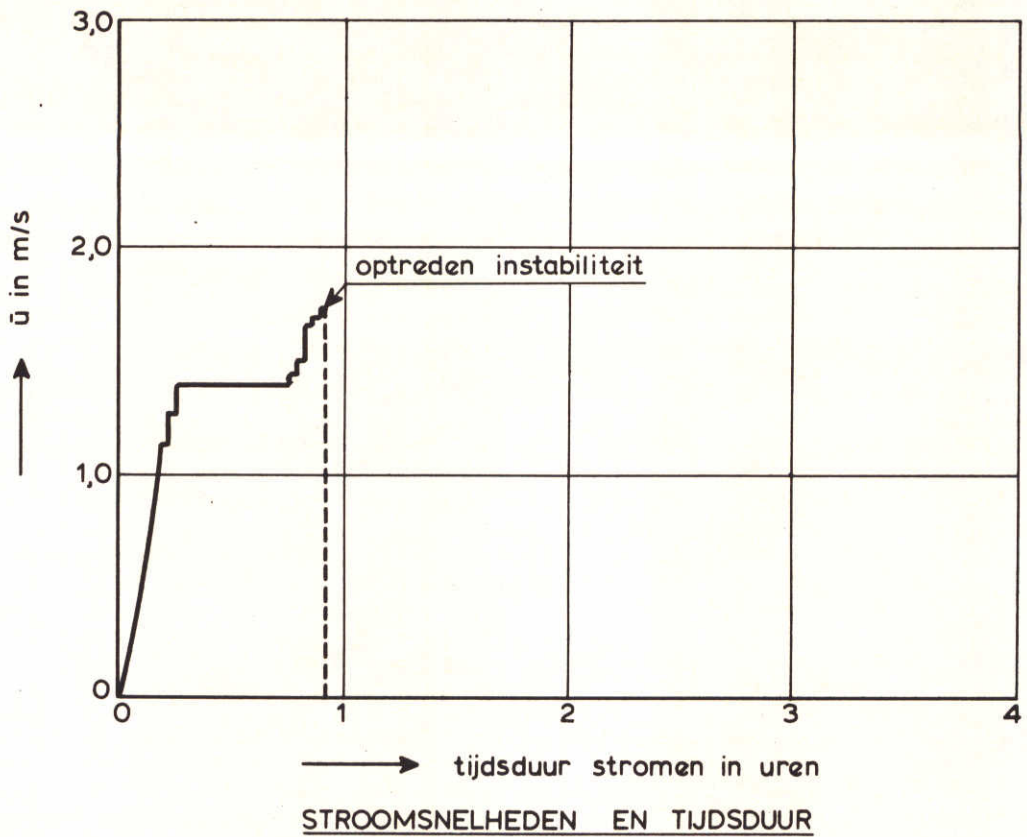
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

PROEF 73 - 18 SCHAAL 1:50

STEENASFALTMAT
ONTGRONDINGSKUIL

R 460

FIG. 26



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

PROEF 73-18

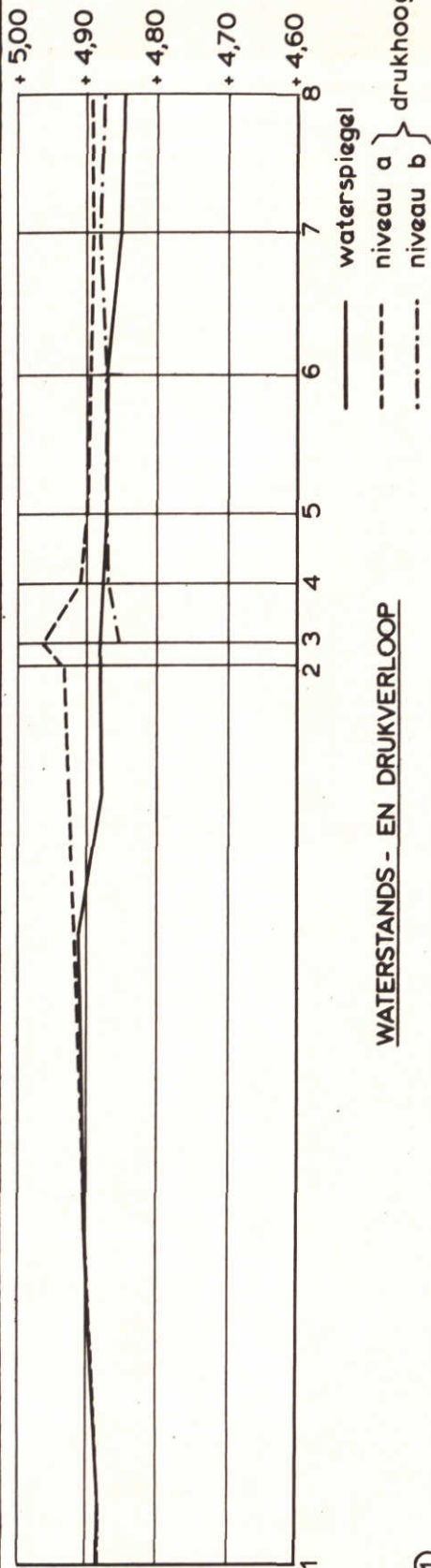
STEENASFALTMAT
ONTGRONDINGSKUIL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

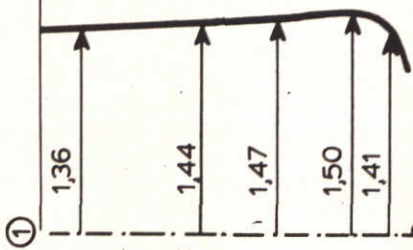
R 460

FIG. 27

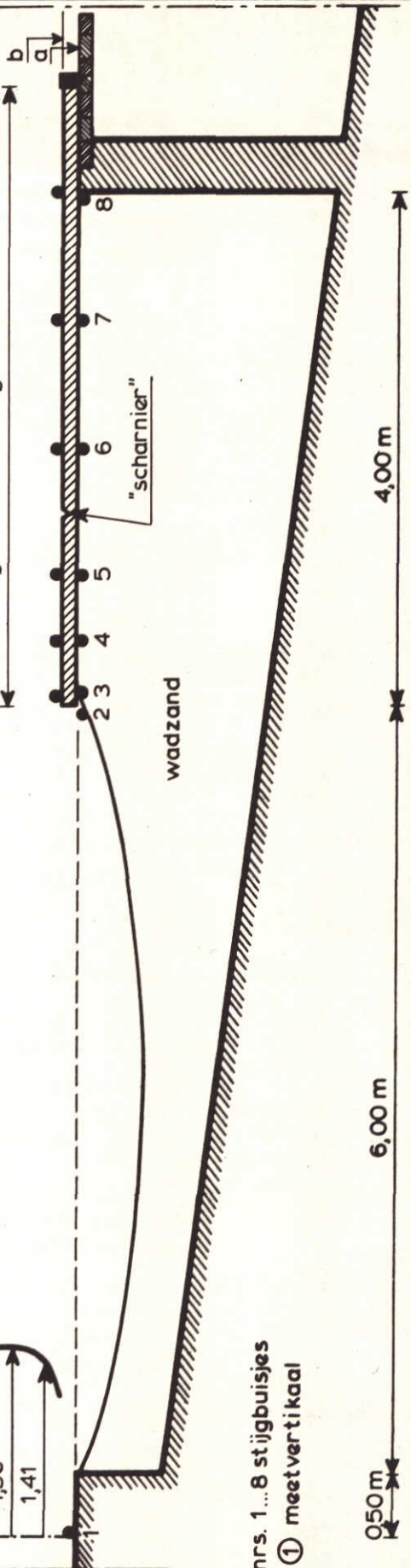
W.S. en drukhoogten
in m t.o.v. N.A.P.



WATERSTANDS - EN DRUKVERLOOP



gewichtverdeling 2500 N/m²



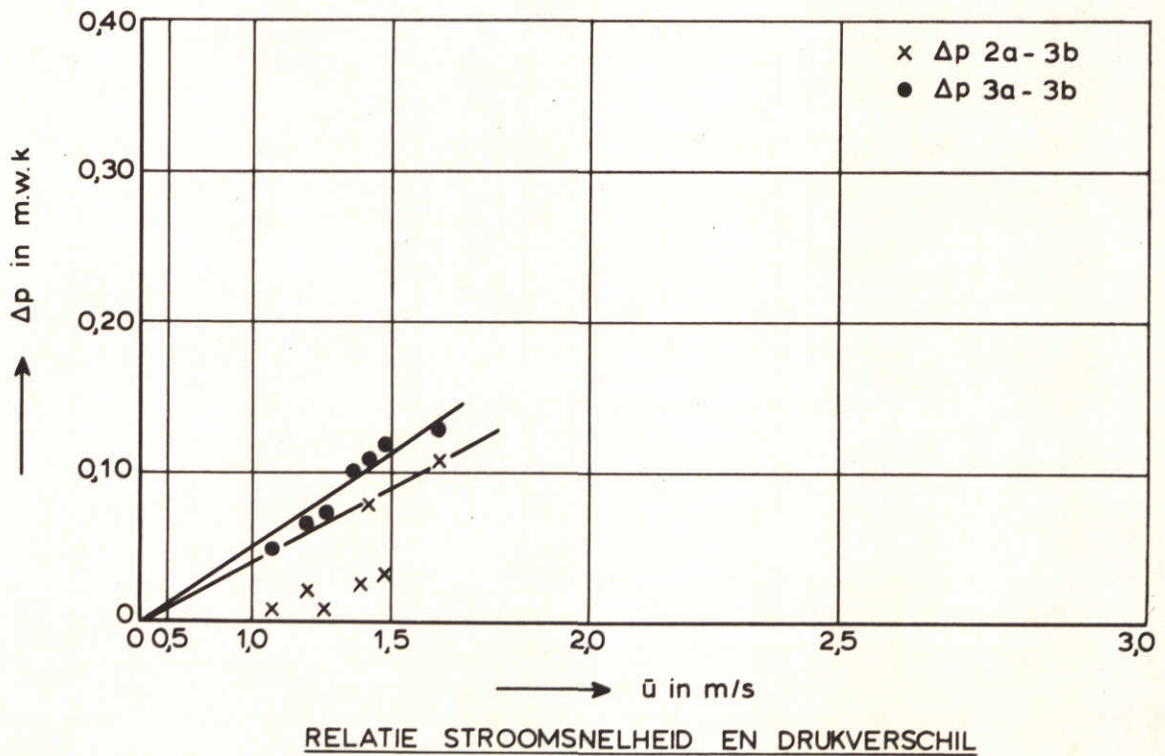
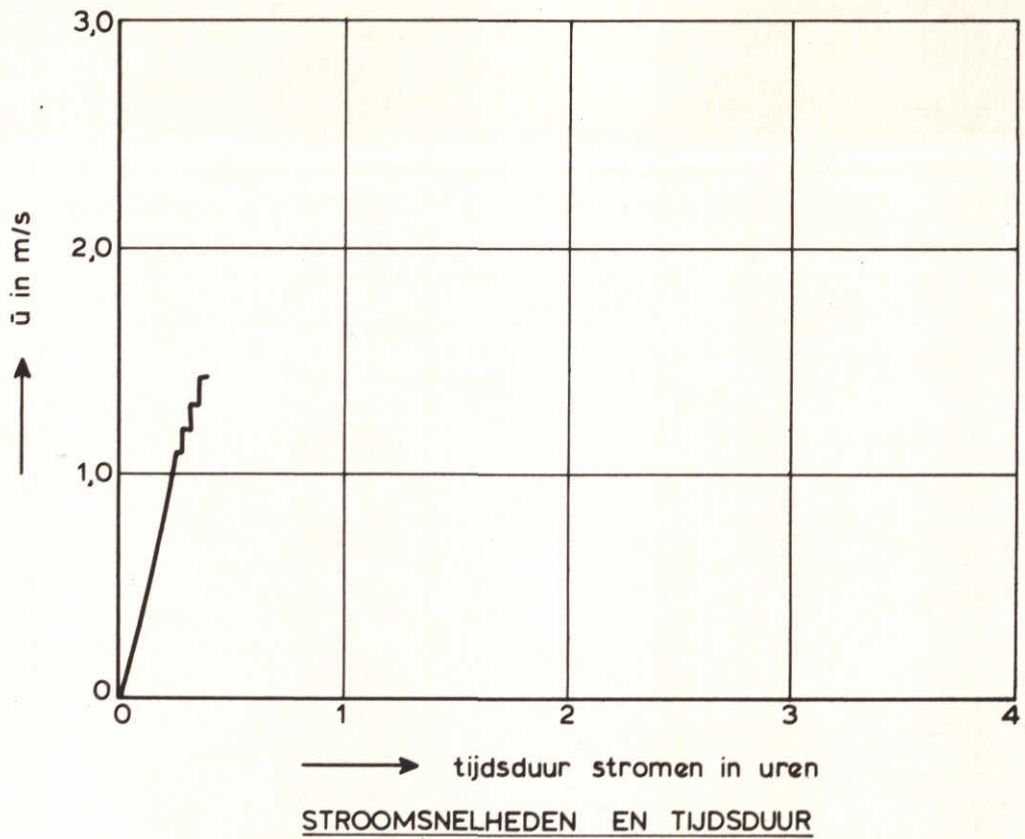
nrs. 1 ... 8 stijgbuisjes
 ① meetvertikaal

LENGTEDOORSNED E

MEETRESULTATEN

PROEF 73 - 19	SCHAAL 1: 50
STEENASFALTMAT ONTGRONDINGSKUIL	
R 460	FIG. 28

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



PROEFVERLOOP EN DRUKVERSCHIL OVER DE RAND

PROEF 73-19

STEENASFALTMAT
ONTGRONDINGSKUIL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 460

FIG. 29

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands