

Symposium



**Kunststoffen
en
Deverbesserung**

W. van der Meer.
k3a

**Kunststoffen
en oeverbescherming**

Kunststoffen en oeverbescherming

Voordrachten gehouden tijdens het symposium "Kunststoffen en oeverbescherming", georganiseerd door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs in samenwerking met de Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken, op 15 mei 1975 te Delft.

Uitgegeven onder auspiciën van de
Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken door
STAM TECHNISCHE BOEKEN - CULEMBORG

Woord vooraf

Op 15 mei 1975 organiseerde de Afdeling voor Bouw- en Waterbouwkunde van het KIVI in samenwerking met de Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken een symposium onder het motto "Kunststoffen en Oeverbescherming".

Bij de deelnemers aan dit symposium bestond grote belangstelling voor de teksten van de voordrachten. Ook bij hen die niet in de gelegenheid waren dit symposium bij te wonen bestaat deze belangstelling.

De Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken heeft om deze reden de voordrachten laten bundelen en in dit boekwerk doen uitgeven. De behandelde onderwerpen informeren zowel de ontwerpende als de uitvoerende en de toeleverende sector. Het bestuur is dan ook verheugd, dat deze voor de betrokkenen zo belangrijke informatie op deze wijze tot stand kon komen.

Het bestuur van de
Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken.

Rotterdam, najaar 1975.

Inhoud

| | Blz. |
|---|------|
| Inleiding tot het symposium over kunststoffen en oeverbescherming door prof. ir. P.A. van de Velde (TH Delft). | 7 |
| Onderzoek naar waterbeweging in vaarwegen. Kwantificering van hydraulische randvoorwaarden. (Stroming en golven door scheepvaart) door ir. E.J. van de Kaa (Waterloopkundig laboratorium Delft). | 15 |
| Prototypemetingen door ir. J.U. Brolsma (Gemeentewerken Rotterdam, afd. Havenwerken). | 43 |
| Eigenschappen van kunststoffen welke toepassing vinden in de waterbouw door dr. R.C. Reintjes (Koninklijke Wegenbouw Stevin B.V.). | 57 |
| Filtereigenschappen van kunststofweefsels door ir. T. van der Meulen (Waterloopkundig laboratorium Delft). | 69 |
| Het ontwerp van oeverbeschermingsconstructies. door ir. J. de Nekker (Gemeentewerken Amsterdam). <i>R. de Nekker</i> | 101 |
| Uitvoering oeververdedigingsconstructies door ir. A. Nijdam (Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken). | 113 |
| Bestuur en ledenlijst van de Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken. | 121 |

Inleiding tot het symposium over kunststoffen en oeverbescherming

prof. ir. P.A. van de Velde

INLEIDING

In het symposium van vandaag zullen we ons bezighouden met oeverbeschermingen langs vaarwegen. De aandacht zal vooral worden gericht op het ontwerpen en uitvoeren van doelmatige constructies, waarbij ook de vraag aan de orde zal komen in hoeverre kunststoffen hierin een rol kunnen spelen.

De belangstelling voor deze oeverbeschermingen is ook internationaal de laatste jaren groeiende geweest en dit houdt ongetwijfeld verband met enige schaalvergrotingen die zich in de scheepvaart hebben voorgedaan.

Het gaat enerzijds om vergroting van de vaareenheden en anderzijds om de vergroting van de vaarsnelheden.

Zo heeft de zeevaart met de groei van de tankers en de erts- en graancarriers en de binnenvaart met de opkomst van grotere en snellere motorschepen en vooral van de duwvaart de vraag opgeworpen of deze ontwikkelingen geen belangrijke gevolgen hebben voor de aanval op de oevers.

Ook heeft de schade die hier en daar in belangrijke mate aan de oeverbekledingen is geconstateerd een stimulans gegeven tot het doen van onderzoekingen die een beter inzicht moeten geven in de verschillende verschijnselen die schade kunnen veroorzaken.

Een belangrijk aandeel hierin heeft de waterbeweging in de vaarweg die voor een deel door de varende schepen wordt veroorzaakt. Maar van niet minder belang zijn de waterbewegingen en de hiermee gepaard gaande drukveranderingen in en onder de bekleding, alsmede de grondwaterbeweging in de oevers.

Over het onderzoek dat de laatste tijd naar deze waterbewegingen is verricht zullen mededelingen worden gedaan en voor zover mogelijk zullen daaruit conclusies worden getrokken, die voor het ontwerpen van belang zijn.

Alvorens dan over te stappen op het ontwerp van de beschermingsconstructies zouden de eigenschappen van de in aanmerking komende constructiematerialen moeten worden besproken.

Aangezien echter moet worden verondersteld dat de gebruikelijke materialen bij U bekend zijn, wordt volstaan met een bespreking van kunststoffolies en -weefsels. Deze worden weliswaar reeds een aantal jaren toegepast, maar de resultaten van een aantal recente onderzoekingen en ervaringen lijken belangrijk genoeg om hier aan de orde te worden gesteld.

Daarna zullen de verkregen inzichten worden verwerkt bij de mogelijkheden om tot een ontwerp te komen.

Tenslotte zullen een aantal aspecten van de uitvoering worden besproken.

Na deze toelichting op het programma van vandaag wil ik heel kort iets zeggen over de financiële achtergronden van de gebleken belangstelling voor de oeverbescherming. De constructies waarover het gaat zijn veelal van eenvoudige aard. De kosten per strekkende meter van de oevers zijn dan ook niet bijzonder hoog. Wanneer men zich echter realiseert dat alleen in Nederland de totale oeverlengte langs vaarwegen enige duizenden kilometers is, behoeft men zich niet te verwonderen als een ruwe schatting van de vervangingswaarde van de oeverbekledingen in Nederland een bedrag in de orde van 2 miljard gulden zou aangeven.

Er zijn mij geen cijfers bekend terzake van het totale onderhoud, maar op basis van enkele procenten van de aanlegkosten zouden de onderhoudskosten met inbegrip van enige vernieuwing toch wel op circa 50 miljoen gulden per jaar moeten worden geschat.

Het lijkt daarom alleszins de moeite waard om te trachten door middel van studie en onderzoek zo efficiënt mogelijke constructies te maken.

Wanneer in deze inleiding nu getracht wordt de aanvalsfactoren op de oevers aan te duiden en daaruit een aantal mogelijke typen van oeverbescherming af te leiden en de belangrijkste eisen die daaraan moeten worden gesteld te formuleren, dan blijft dit alles beperkt tot kwalitatieve beschouwingen. De volgende inleiders zullen verschillende aspecten meer kwantitatief en concreter uitwerken.

Zoals reeds gezegd wordt de aanval op de oevers veroorzaakt door de waterbeweging. Deze bestaat in ieder geval uit de beweging door varende schepen veroorzaakt. Maar afhankelijk van de aard van de vaarweg kunnen ook verticale en horizontale getijbeweging, alsmede deining en windgolven optreden. Vanzelfsprekend is het in dit laatste geval mogelijk dat combinaties van deze vormen van de waterbeweging kunnen voorkomen. U kunt wat dit laatste betreft bijvoorbeeld denken aan de getijhavens in het Europoortgebied.

Het zal duidelijk zijn dat in zodanige havens de aanval op de oevers groter kan zijn dan in gewone scheepvaartkanalen doordat de verschillende stromingen elkaar kunnen versterken. Maar ook doordat als gevolg van de getijbeweging de aanval zich over een bredere strook zal manifesteren.

Het zal u allen bekend zijn dat de waterbeweging door een varend schip veroorzaakt tot uiting komt in:

- 1 een kleine verhoging van de waterspiegel die vóór het schip uitloopt
- 2 een grotere daling van de waterspiegel tijdens het passeren van het schip
- 3 een retourstroom
- 4 golfbewegingen die uitgaan van de boeg en van het achterschip en die de oever onder een scheve hoek aanlopen en hierop breken of bij steile oevers geheel of ten dele terugkaatsen
- 5 het effect van de schroefstaal tijdens ongunstige omstandigheden

De snelle variaties in waterstand die als gevolg van deze verschijnselen bij de oevers optreden, geven aanleiding tot drukvariaties welke zich in het algemeen voortplanten in het grondwater dat zich in de oevers bevindt.

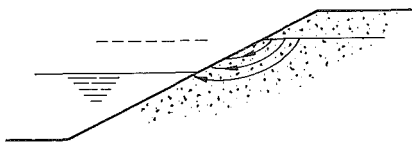
In ieder geval ontstaan in de oevers drukgradiënten die aanleiding kunnen zijn tot stabiliteitsverlies van het oevertalud of van de afzonderlijke gronddeeltjes die door de optredende grondwaterstroming worden losgemaakt.

Daarenboven worden de gronddeeltjes van de oever aangevallen door de retourstroom en vooral door de sterke en turbulente stroming die bij het breken van de scheepsgolven ontstaan en in bijzondere gevallen door de schroefstraal.

Wanneer nu voorlopig de getijbeweging en wind- en deininggolven buiten beschouwing worden gelaten, dan is het mogelijk om in algemene termen aan te geven op welke wijze de aanval op de oevers kan worden weerstaan.

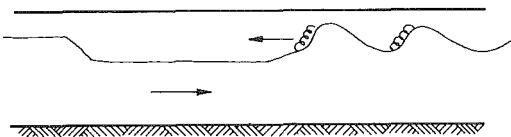
Beschouwen wij nu een oever die onder "natuurlijk talud" is aangelegd en onverdedigd is.

Om de gedachten verder te bepalen wordt aangenomen dat de grond langs de oever uit zand bestaat.



Figuur 1

Figuur 2



Uit de schetstekening die de dwarsdoorsnede van de oever weergeeft is te zien dat ter plaatse van de verlaagde waterspiegel een grondwaterstroming ontstaat die het evenwicht van het talud ongunstig beïnvloedt en dat bovendien ter plaatse van de waterlijn een zeer groot stromingsverhang moet ontstaan als gevolg van de sterke stroomconcentratie in dit punt, waardoor de gronddeeltjes uit het talud getild kunnen worden. Uit het aanzicht tegen de oever blijkt dat de brekende golf de gronddeeltjes in de buurt van de waterlijn en daarboven in beweging kunnen brengen. Ook blijkt eruit dat beneden de waterspiegel de gronddeeltjes kunnen worden meegevoerd door de retourstroom.

We zullen ons nu afvragen op welke manieren deze aanval op de oever kan worden weerstaan.

De aanval komt, zoals reeds gezegd, op twee manieren tot uiting.

- a stabiliteitsverlies in het talud doordat de inwendige schuifweerstand te klein is
- b stabiliteitsverlies van de enkele gronddeeltjes in en nabij het oppervlak van het talud.

Aan a kan worden tegemoetgekomen door toepassing van

- 1 een flauw talud; of
- 2 een steunende wand, gefundeerd in de dieper gelegen grond; of
- 3 een procedé waarbij de schuifweerstand tussen de korrels wordt vergroot, bv. door impregnering van de grond met waterglas of met cement.

Het verschijnsel onder b kan worden bestreden door

- 1 het vergroten van de aanhechting tussen de grondkorrels door bv. impregnering;
- 2 het aanbrengen van een beschermende bekleding.

Op de mogelijkheden van steunende wanden en impregnering zal hier niet verder worden ingegaan.

Ik zal mij nu dus beperken tot de bekleding als beschermende constructie.

Volgen nu verschillende mogelijkheden met de bijbehorende algemene eisen, waarbij aandacht wordt geschonken aan de waterbeweging in de grond, onder de bekleding, in de bekleding en over de bekleding.

Er wordt uitgegaan van de veronderstelling dat het mogelijk is om vast te stellen welke helling het talud nodig heeft om voldoende stabiel te zijn.

Dit is een grondmechanisch probleem.

Het resterende probleem is dan een bekleding te ontwerpen die de stabiliteit van de gronddeeltjes in en nabij het oppervlak blijvend waarborgt.

Wanneer wij nu de diverse waterbewegingen nader bezien, dan blijkt dat de bekleding op verschillende wijzen wordt aangevallen (zie de figuren).

- a het oppervlak van de bekleding wordt aangevallen door een stroom en wel afwisselend door de retourstroom de schroefstraal het turbulente front van de brekende scheepsgolf (zie fig. 3).
- b het inwendige van de bekleding en het oppervlak van het te verdedigen talud worden aangevallen door dezelfde verschijnselen, alhoewel min of meer gedempt, indien er sprake is van een poreuze constructie (zie fig. 3). (Bij een niet-poreuze (gesloten) bekleding treedt alleen het onder a genoemde verschijnsel op).
- c in een poreuze bekleding wordt zowel onder als boven de waterlijn een stroming opgewekt als gevolg van de spiegeldaling, en de steile drukgradiënt bij het passerende golffront (zie fig. 4 en 5).
- d in het grensvlak tussen de bekleding en de grond wordt hetzelfde stromingsverschijnsel opgewekt (zie fig. 4 en 5).
- e Voorts zal er rekening mee moeten worden gehouden dat in de poreuze gedeelten van de bekleding en in het grensvlak een kortstondige drukstoot kan ontstaan als gevolg

van de aankomende en brekende scheepsgolf (zie fig. 6).

Deze drukverhoging verplaatst zich met de snelheid van het varende schip. (circa 4 m per sec.). Ik zou dit verschijnsel het walseffect van de brekende golf willen noemen. Het gevolg ervan kan zijn:

een verhoogde druk onder of in de bekleding, waardoor deze op de ene plaats wordt neergedrukt en op de naastliggende plaats wordt opgetild.

Het resultaat kan zijn een waterstroming onder de bekleding, die verplaatsing van gronddeeltjes zou kunnen veroorzaken. (De mogelijk ongunstige invloed van dit walseffect op de stabiliteit van het talud behoort tot het reeds gesignaleerde grondmechanische probleem, zie fig. 7).

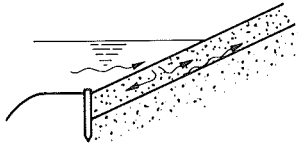
f Dit effect kan in het bijzonder worden verwacht wanneer zich tijdens de spiegeldaling onder de bekleding grondwater heeft verzameld waarbij plaatselijk de bekleding is opgetild en zich daaronder waterbellen hebben gevormd.

g Een andere mogelijkheid is de aanwezigheid van lucht in de poreuze gedeelten van de constructie. Als gevolg van de beschreven waterbewegingen is het mogelijk dat deze lucht, mits enigszins opgesloten, onder verhoogde druk komt waardoor de bekleding plaatselijk wordt opgetild (zie fig. 8).

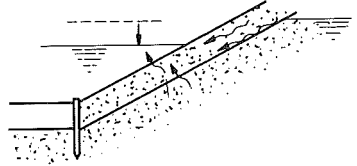
h Tijdens de spiegeldaling die op een bepaalde plaats tijdens het passeren van het schip tientallen seconden kan aanhouden, zal de grondwaterstand in het talud nauwelijks dalen.

Indien zich geen waterdichte lagen in het talud bevinden zal zich onmiddellijk een naar buiten gerichte grondwaterstroming instellen waardoor de waterdrukken onder de bekleding direct zullen dalen. Het verloop van deze waterdrukken zal bij een gesloten bekleding ongeveer verlopen als in figuur 9 is aangegeven. Er volgt uit dat op de bekleding een opwaarts gerichte druk ontstaat, die zoals bekend maximaal is ter plaatse van de waterspiegel.

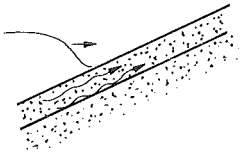
Het hierdoor optredende gevaar voor afglijden of optillen zal uiteraard moeten worden voorkomen (zie ook onder f).



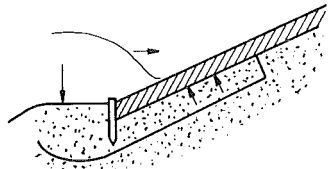
Figuur 3



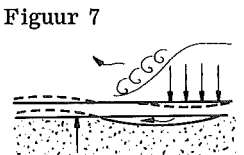
Figuur 4



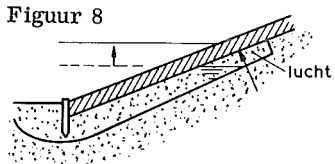
Figuur 5



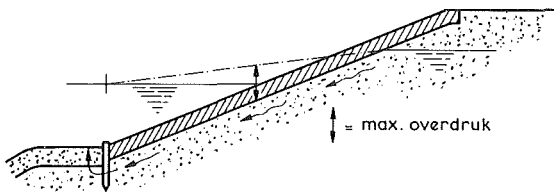
Figuur 6



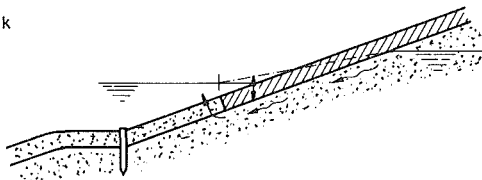
Figuur 7



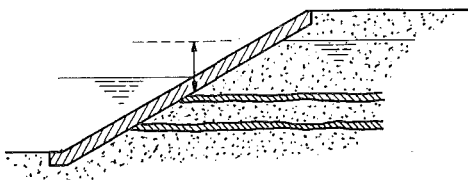
Figuur 8



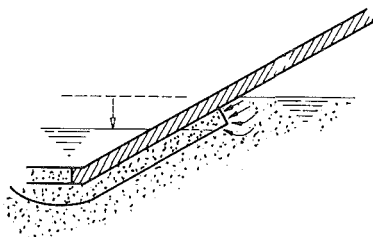
Figuur 9



Figuur 10



Figuur 11



Figuur 12

Behalve de genoemde verschijnselen die alle samenhangen met de waterbeweging zijn er nog aanvallen op de bekleding van andere aard.

In de eerste plaats kan worden genoemd de zetting van de grond in en onder het talud. Deze is vooral te verwachten indien er grondophoging of -aanvulling heeft plaatsgehad. In de tweede plaats wordt de bekleding bedreigd door aantasting als gevolg van mechanische, chemische en biologische werkingen. Bij deze laatste categorie kan ook worden gedacht aan menselijke handelingen die resulteren in beschadiging van de bekleding. Zo zijn vissers en jonge mensen dikwijls geneigd om elementen uit de bekleding te halen. Bij de mechanische aantasting kan men denken aan een minder gelukkige manoeuvre van een schip waarbij het met de boeg in de wal vaart.

Nu de verschillende wijzen waarop de bekleding kan worden aangevallen zijn genoemd is het mogelijk de eisen die moeten worden gesteld aan de constructie nader aan te duiden.

Hierbij zal onderscheid worden gemaakt tussen enerzijds gesloten bekledingen en anderzijds min of meer water- (en lucht-) doorlatende bekledingen.

Wanneer wij de bekledingen gaan toetsen aan de verschillende onder a tot en met h genoemde stromingsverschijnselen en drukfluctuaties, dan is het vanwege de vele mogelijke constructies moeilijk om op systematische wijze de relaties tussen de constructietypen en de aanvalswijzen aan te geven. Althans is dit moeilijk in de mij toegemeten tijd. Ik wil daarom trachten in de vorm van een tabel aan te geven waar kritieke omstandigheden kunnen optreden.

Hierbij wordt uitgegaan van de belastingen a tot en met h enerzijds en van enige constructietypen anderzijds.

| | | filterconstr. korrelig ma- teriaal zon- der binding | filterconstr. met binding | gesloten constr. op drai- nagelaag | gesloten constr. |
|-------------|--------------------|--|------------------------------|---|---------------------|
| aanval op (| retourstroom | - | - | - | - |
| oppervlak (| schroefstraal | kritiek | - | - | - |
| bekleding (| front v/d golf | kritiek | - | - | - |
| op inwen- | retourstroom | - | - | - | - |
| dige v/d (| schroefstraal | kritiek | - | - | - |
| bekleding (| front v/d golf | kritiek | - | - | - |
| aanval op (| retourstroom | - | - | - | - |
| oppervlak (| schroefstraal | kritiek | kritiek | - | - |
| talud (| front v/d golf | kritiek | kritiek | - | - |
| in de (| spiegeldaling | kritiek | - | kritiek ^o | - |
| bekleding (| drukgradiënt golf- | | | | |
| (| front | kritiek | - | kritiek ^o | - |
| in grens- | spiegeldaling | kritiek | kritiek | kritiek ^o | kritiek |
| vlak (| drukgradiënt golf- | | | | |
| (| front | kritiek | kritiek | kritiek ^o | (kritiek) |
| | drukstoot (wals) | kritiek* | kritiek* | kritiek | kritiek |
| | compressie lucht | kritiek* | kritiek* | kritiek | - |
| | opw. wateroverdruk | kritiek* | kritiek* | kritiek | kritiek |

^o hier hangt het kritiek zijn af van het al dan niet aanwezig zijn van een vrije water-spiegel in de drainagelaag.

Ter toelichting hiervan moet worden gezegd

Onder een filterconstructie van korrelig materiaal wordt verstaan een bekleding opgebouwd uit verschillende lagen korrelig materiaal.

Daarbij bestaat de onderste laag uit fijne korrels en de bovenliggende uit steeds grover wordend materiaal. Eventueel kunnen één of meer lagen worden vervangen door een kunststofweefsel. Ten aanzien van de sprongen in korrelgrootte bestaan bekende criteria die experimenteel zijn vastgesteld.

Of deze criteria voldoende veiligheid bieden zou ik niet met zekerheid durven beweren. In het bijzonder zou ik willen opmerken dat bij de snel dalende waterstand die de spiegeldaling inleidt en ook bij het steile golffront zeer grote drukgradiënten in bekleding en grensvlak optreden, die tot grote voorzichtigheid manen. Vandaar dat deze punten in de tabel met "kritiek" zijn aangeduid.

Onder een filterconstructie met binding wordt verstaan een bekleding waarbij de verschillende korrels of andere onderdelen aan elkaar zijn gekit of op andere wijze verbonden. Gedacht kan worden aan bekledingen met open asfaltlagen of met kunststofdekens of iets soortgelijks.

Een gesloten constructie op drainagelaag wordt soms uitgevoerd in de vorm van een asfaltbetonlaag op een laag grind, silex, puin e. d. De bedoeling hiervan is om overdrukken bij dalende waterstand te voorkomen. Wanneer zich echter een vrije waterspiegel in de drainagelaag bevindt, kunnen, doordat de snelle drukfluctuaties van buiten naar binnen doordringen, stromingen ontstaan die tot korrelverplaatsing aanleiding zouden kunnen geven. Is er geen vrije waterspiegel in de drainagelaag, dan kunnen zeer grote drukverhagen ontstaan bij de bovenbegrenzing van de drainering met gevaar voor uitspoeling van grond (zie fig. 12).

Met de gesloten bekleding is bedoeld een constructie van asfaltbeton of van gepene-treerde stortsteen of iets soortgelijks.

Tenslotte de verklaring van de *. Hiermee is bedoeld aan te geven dat de toestand kritiek kan zijn indien de bekleding slecht doorlatend is zodat daar overdrukken en waterbellen onder een poreuze constructie toch mogelijk zijn.

Het resultaat zoals dit in de tabel tot uiting komt wekt misschien enige verwondering. Een poreuze bekleding blijkt een groter zorgenkind te zijn dan een gesloten constructie. Dit is misschien in tegenspraak met een veelal gangbare opvatting.

Overigens blijkt uit de tabel zeker niet dat in het algemeen de voorkeur aan gesloten bekledingen zou moeten worden gegeven. Wel blijkt eruit dat het aantal problemen, die echt van belang zijn, bij open bekledingen groter is dan bij gesloten.

Een ander aspect dat in de tabel niet tot uiting komt heeft betrekking op de duurzame werking van de constructie-elementen. In het bijzonder bij de open bekledingen is het de vraag in hoeverre zij op de duur wel open blijven. Vooral in getijhavens zal moeten worden voorkomen dat dichtslibbing of dichtgroeiing met organismen gaat optreden, indien althans hiertegen doeltreffende maatregelen mogelijk zijn.

Uit het voorgaande blijkt dat bij doorlatende bekledingen zeer hoge eisen moeten worden gesteld aan de zanddichtheid, waartegenover dan toch een zodanige waterdoorlatendheid moet worden geëist dat eventuele overdrukken klein blijven.

Bij gelaagde opbouw van de poreuze bekleding zullen de toelaatbare sprongen in korrelgrootte zorgvuldig moeten worden bepaald om inwendige erosie in de grensvlakken te voorkomen.

Voor de gesloten bekledingen is het van belang de overdrukken zodanig te beperken dat met een redelijke helling van het talud en een aanvaardbare dikte wordt voorkomen dat de constructie plaatselijk of over de gehele hoogte afschuift dan wel wordt opgetild.

De overdrukken tengevolge van de spiegeldaling kunnen in vele gevallen worden gereduceerd door het onderste deel van de bekleding over zekere lengte als een poreuze constructie uit te voeren (figuur 10).

Bij aanwezigheid van ondoorlatende lagen zal men deze over enige lengte moeten verwijderen (figuur 11).

Ik zou nu nog enkele opmerkingen willen maken met betrekking tot het genoemde verschijnsel van zetting.

Als dit moet worden verwacht is het uiteraard van groot belang dat de bekleding de uit de zetting voortvloeiende vervormingen kan meemaken zonder dat de bekleding stuk gaat.

De eisen die hieruit volgen zijn:

de bekleding moet voldoende "buigvastheid" en voldoende "trekvastheid" bezitten;

de bekleding moet een geringe buigweerstand en trekweerstand hebben.

Alleen als aan deze twee eisen, die nog moeilijk in kwantitatieve zin geformuleerd kunnen worden, is voldaan, zal bij optredende vervormingen de bekleding overal contact met de grond kunnen behouden.

Hieruit volgt dat starre constructies, zoals betonmonoliet of betonzuilen met zijdelingse voorspanning, minder geschikt zijn.

Aan de andere kant moet ook worden gezegd dat het contact houden van de bekleding met de ondergrond alleen mogelijk is als de bekleding overal voldoende gewicht heeft.

Zo is bijvoorbeeld een weinig poreuze kunststofdeken afgedekt met stortsteen geen goede oplossing omdat tussen de stenen de deken los kan komen van de grond als gevolg van drukverschillen onder en boven de deken.

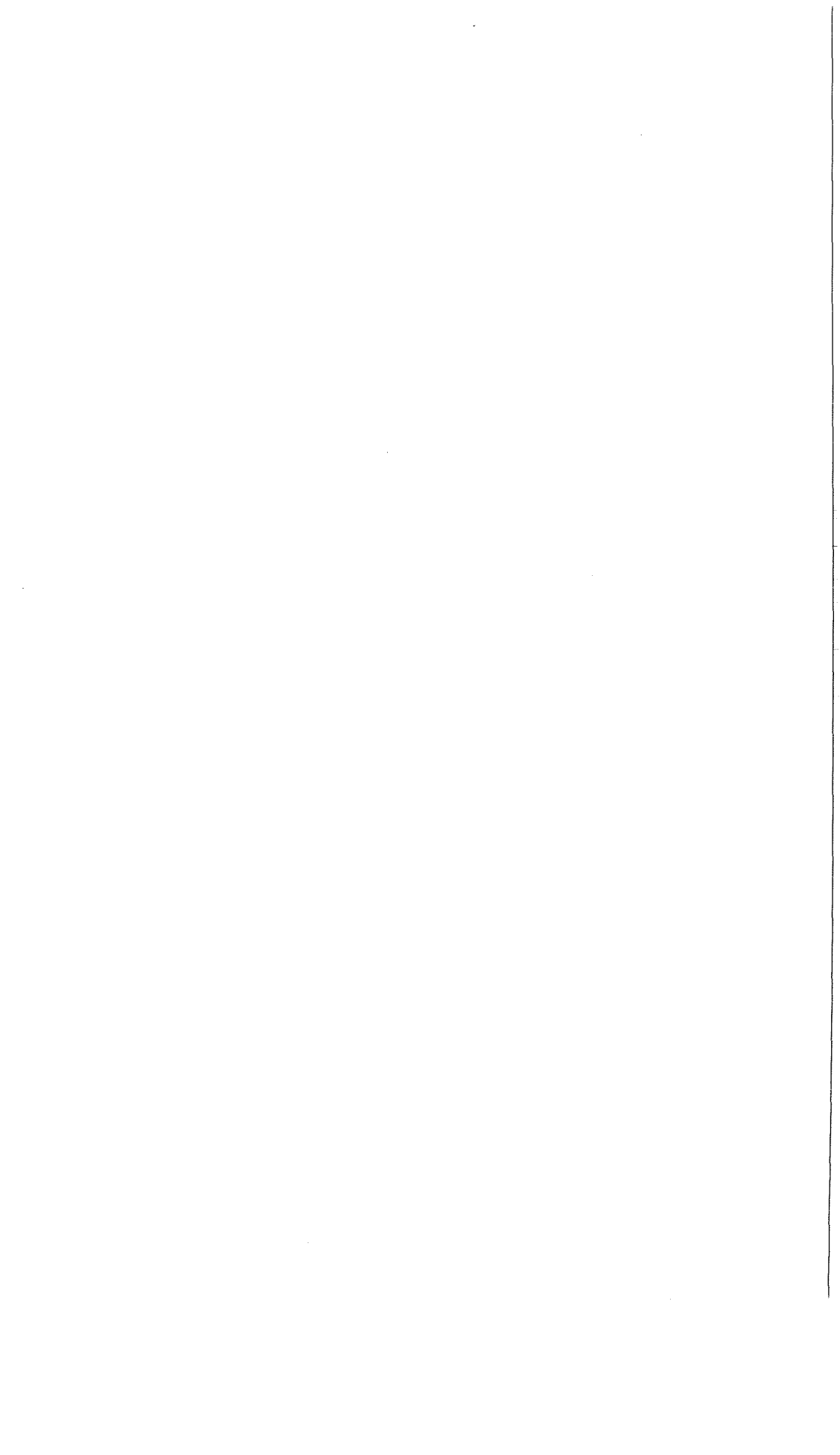
Wanneer dit het abrupte einde is van mijn voordracht, dan zult U kunnen constateren dat ik er nauwelijks aan ben toegekomen om stringente eisen voor oeverbekledingen te formuleren. Toch hoop ik dat de gegeven beschouwing van enig nut kan zijn wanneer men tot nadere formulering van eisen wil komen.

Daarbij zal het wel nodig zijn dat verschillende van de genoemde verschijnselen zoals de voortplanting van waterdruk in de grond en de inwendige stromingen nader worden bestudeerd. Gedurende de laatste jaren wordt hieraan ook in ons land aandacht besteed door het doen van model- en experimenteel onderzoek.

Toch zal er nog veel studie nodig zijn alvorens alle gewenste kwantitatieve criteria aan het ontwerp van een oeverbescherming kunnen worden gesteld.

**Onderzoek naar waterbeweging in vaarwegen
Kwantificering van hydraulische randvoorwaarden
(stroming en golven door scheepvaart)**

ir. E.J. van de Kaa



INHOUD

| | Blz. |
|---|------|
| Symbolen | 18 |
| Schema van factoren, die de waterbeweging rond schepen beïnvloeden | 19 |
| 1 Inleiding en samenvatting | 20 |
| 2 Recente ontwikkelingen in de scheepvaart | 20 |
| 3 Scheepsgolven (algemeen) | 21 |
| 3.1 Primaire scheepsgolf rond een schip op onbeperkt water | 21 |
| 3.2 Retourstroom en spiegeldaling op beperkt water | 22 |
| 3.3 Haalgolf | 22 |
| 3.4 Secundaire scheepsgolven | 22 |
| 3.5 Secundaire scheepsgolven op ondiep water | 23 |
| 3.6 Plaatsen, waar bij een schip secundaire scheepsgolven kunnen ontstaan | 23 |
| 3.7 Interferentie van boeg- en hekgolven | 24 |
| 3.8 Combinatie van primaire en secundaire scheepsgolven | 24 |
| 4 Retourstroom en spiegeldaling op water met beperkte breedte en diepte | 25 |
| 5 Haalgolf en volgstroom | 26 |
| 6 Kritische snelheden en grenssnelheid | 27 |
| 7 Schroefstraal | 29 |
| 8 Factoren, die de waterbeweging rond schepen beïnvloeden | 30 |
| 9 Schaaleffekten bij onderzoek met modelboten | 31 |
| 10 Invloed van diverse variabelen op de scheepssnelheid | 32 |
| 11 Invloed van diverse variabelen op de waterbeweging | 33 |
| 12 Waterbeweging rond op stroom varende schepen | 35 |
| 13 Overzicht van gemeten waarden voor de waterbeweging boven taluds | 37 |
| 14 Stabiliteit van een taludverdediging van stortsteen in een duwvaartkanaal | 37 |
| 15 Belasting van oeververdedigingen door de waterbeweging | 38 |
| 16 De plaats van hydraulische randvoorwaarden in het ontwerp van een oeververdediging | 39 |
| Literatuur | 40 |
| Tabel | 41 |
| Foto's | 42 |

SYMBOLLEN

| | |
|-----------|--|
| A_m | grootspantoppervlak schip (m^2) |
| b | vaarwegbreedte op de waterspiegel (m) |
| C | voortplantingssnelheid golven (m/s) |
| D | diameter schroef (m) |
| F | natte doorsnede vaarweg (m^2) |
| F_1 | natte doorsnede vaarweg tussen schip en oever (m^2) |
| g | zwaartekrachtversnelling (m/s) |
| H_i | golfhoogte ter plaatse van de interferentiepieken van transversale en divergerende scheepsgolven (m) |
| H_t | golfhoogte van de transversale scheepsgolven (m) |
| h | waterdiepte in de vaarweg (m) |
| h' | virtuele waterdiepte volgens Schijf (= F/b) (m) |
| L | scheepslengte (m) |
| N | motorvermogen (pk) |
| n | toerental schroef (omw/s) |
| P | spoed schroef (m) |
| Q | debiet (m^3/s) |
| Re_L | Reynoldsgetal (betrokken op de scheepslengte) (= VL/ν) (dimensieloos) |
| T | diepgang schip (m) |
| u | retourstroom (m/s) |
| V | scheepssnelheid (m/s) |
| V_{gr} | grenssnelheid (volgens Schijf) (m/s) |
| ν | watersnelheid (algemeen) (m/s) |
| x | afstand (algemeen) (m) |
| z | waterspiegeldaling (m) |
| α | coëfficiënt volgens Schijf voor ongelijkmatige snelheidsverdeling (dimensieloos) |
| λ | golflengte (m) |
| ν | kinematische viscositeit (m^2/s) |
| ρ | soortelijke massa (kg/m^3) |
| σ | oppervlaktespanning (kg/s^2) |
| ϕ | hoek tussen vaarlijn en verbindingslijn interferentiepieken secundaire scheepsgolven ($^\circ$) |

SCHIP:

L lengte (m)
 A_m grootspantoppervlak (m^2)
 T diepgang (m)
 - vormgeving
 (o. a. van boeg en hek) (-)
 D, P schroefafmetingen (m)
 N motorvermogen (Nm/s; pk)
 - rendement voortstuwing (-)

VAARWEG:

h waterdiepte (m)
 b spiegelbreedte (m)
 F natte doorsnede (m^2)
 - geometrie begrenzingen,
 (o. a. taludhelling) (-)
 Q debiet door vaarweg

SCHIP IN VAARWEG:

F_1 natte doorsnede vaarweg tussen
 schip en oever (m^2)
 δ, β roer- en drifthoek ($^\circ$)

**ZWAARTEKRACHT EN
 VLOEISTOEFEIGENSCHAPPEN:**

g zwaartekrachtversnelling (m/s^2)
 ρ soortelijke massa (kg/m^3)
 ν kinematische viscositeit (m^2/s)
 σ oppervlaktespanning (kg/s^2)

DIVERSEN (niet behandeld):

wind
 overige scheepvaart

V SNELHEID SCHIP (m/s)
 kritische snelheden,
 grenssnelheid

Diverse SCHAALEFFEKTEN,
 waarmee bij modelonderzoek
 rekening moet worden gehouden

PRIMAIRE

SCHEEPSGOLF:

z spiegeldaling (m)
 u retourstroom (m/s)
 haalgolf

VOLGSTROOM

**SECUNDAIRE
 SCHEEPSGOLVEN**

SCHROEFSTAAL

Factoren, die de waterbeweging rond schepen beïnvloeden

Verschijselen, waaruit de waterbeweging door scheepvaart is opgebouwd (voor zover van belang voor de oever)

1 INLEIDING EN SAMENVATTING

De oeververdedigingen in de Nederlandse vaarwegen zijn onderhevig aan belastingen van velerlei aard. Als zodanig kunnen worden onderscheiden:

- a Waterbeweging door scheepvaart, zoals spiegeldaling en retourstroom naast schepen; secundaire scheepsgolven; en schroefstralen.
- b Waterbeweging door andere oorzaken, zoals translatiegolven door het sluisbedrijf; stroomsnelheden in vaarwegen, die tevens dienst doen voor de waterhuishouding; getijbeweging; en windgolven.
- c Aanvaringen door schepen, ijsschotsen en dergelijke; beschadigingen door scheepsankers; vernielingen door particulieren ("zitjes" voor sportvissers, versiering van rotstuinen e. d.); chemische aantasting van (onderdelen van) de constructie door in het water voorkomende stoffen; aantasting door temperatuurwisselingen (vorst!); enzovoorts.

Deze bijdrage beperkt zich tot de belastingen door de waterbeweging tengevolge van scheepvaart, eventueel gecombineerd met in het kanaal aanwezige debieten door getij of door andere oorzaken. Achtereenvolgens zullen worden behandeld:

- een korte beschrijving van recente ontwikkelingen in de scheepvaart (paragraaf 2);
- een overzicht van de begrippen, die gehanteerd worden om de waterbeweging rond de schepen te beschrijven, met de bestaande kennis daarover en beschikbare rekenmethodes (paragrafen 3 ... 7);
- een overzicht van de variabelen, die de waterbeweging rond schepen beïnvloeden met een beschrijving van de wijze, waarop dat gebeurt (hierbij wordt ook aandacht besteed aan schaafeffecten bij modelonderzoek) (paragrafen 8 ... 12);
- een overzicht van een aantal gemeten waarden voor de waterbeweging (paragraaf 13);
- de wijze waarop de hydraulische randvoorwaarden de stabiliteit van een oeververdediging kunnen beïnvloeden (paragraaf 14 ... 15); en
- de plaats van de hydraulische randvoorwaarden in het ontwerp van een oeververdediging (paragraaf 16).

De in deze bijdrage gebruikte gegevens van modelonderzoek zijn, tenzij anders vermeld, ontleend aan het onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen (M 1115)", dat in opdracht van de Deltadienst van Rijkswaterstaat door het Waterloopkundig Laboratorium wordt verricht.

2 RECENTE ONTWIKKELINGEN IN DE SCHEEPVAART

De zeescheepvaart heeft de laatste decennia grote veranderingen ondergaan. Aansprekende voorbeelden daarvan zijn de enorme vergroting in laadvermogen van tankschepen, bulkcarriërs en dergelijke, en de opkomst van zeer snelle schepen voor het vervoer van containers. Eén van de gevolgen hiervan is, dat vaarwegen die vóór de tweede wereldoorlog voor vrijwel alle zeeschepen nog als vaarwater van onbeperkte afmetingen golden, voor deze nieuwe schepen als water met beperkte diepte en/of breedte moeten worden beschouwd. Daardoor kunnen verschijnselen, die vroeger alleen op binnenvaarwegen van belang waren, thans ook op een vaarweg als de Rotterdamse Waterweg voorkomen.

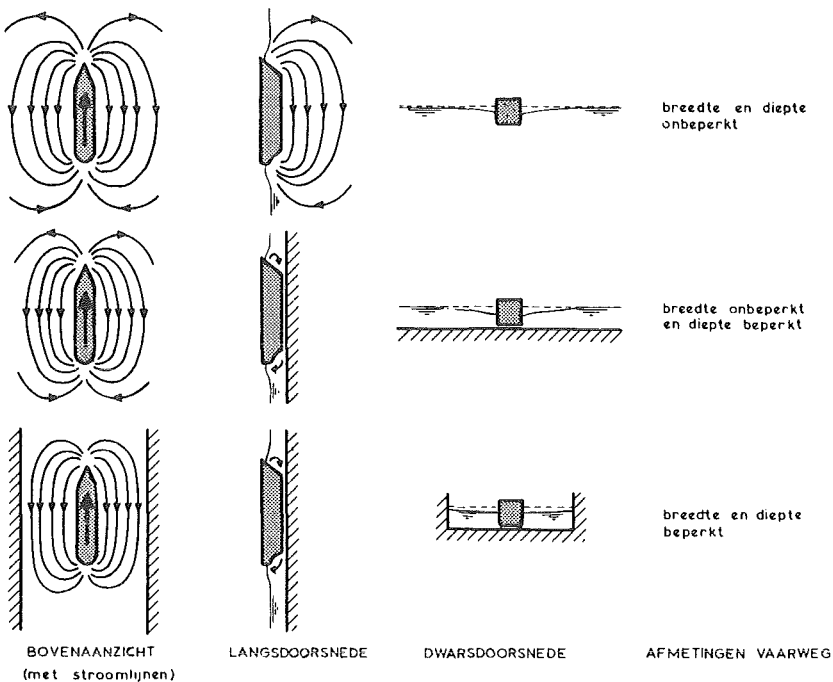
De veranderingen in de binnenscheepvaart lijken soms wat minder spectaculair, maar ook hier is de tendens naar een vergroting van de scheepssnelheid en van het laadvermogen per eenheid onmiskenbaar. Op de rivieren en grotere kanalen deed voorts de duwvaart haar intrede. De daarvoor ontwikkelde duwboten bezitten motor-

Daar de waterbeweging in vaarwegen in belangrijke mate wordt bepaald door de scheepssnelheid en de verhouding tussen het grootspantoppervlak van het schip en de dwarsdoorsnede van de vaarweg, werd door deze ontwikkelingen nieuw onderzoek naar die waterbeweging wenselijk. Vooral in verband met de aanleg respectievelijk reconstructie van enige specifiek op de duwvaart afgestemde kanalen (Amsterdam-Rijnkanaal, Schelde-Rijnverbinding, Hartelkanaal) werd en wordt onderzoek op dit terrein verricht.

3 SCHEEPSGOLVEN (ALGEMEEN)

3.1 Primaire scheepsgolf rond een schip op onbeperkt water

Bij een varend schip moet water van voor de boeg naar achteren worden verplaatst. Daardoor ontwikkelt zich op water met onbeperkte breedte en diepte een potentiaalstroming rondom het schip (afgezien van wrijving, loslaatpunten en dergelijke langs de scheepshuid). Deze potentiaalstroming veroorzaakt naast het schip een spiegeldaling. De naast het schip tegen de vaarrichting in bewegende stroming wordt de retourstroom genoemd. Voor de boeg en achter het hek van het schip ontstaat bij een potentiaalstroming een verhoging van de waterspiegel. Deze verstoring van de waterspiegel, die zich met de scheepssnelheid voortbeweegt, wordt de primaire scheepsgolf genoemd.



Figuur 1 Schematische voorstelling van de primaire scheepsgolf op vaarwegen van verschillende aard

3.2 Retourstroom en spiegeldaling op beperkt water

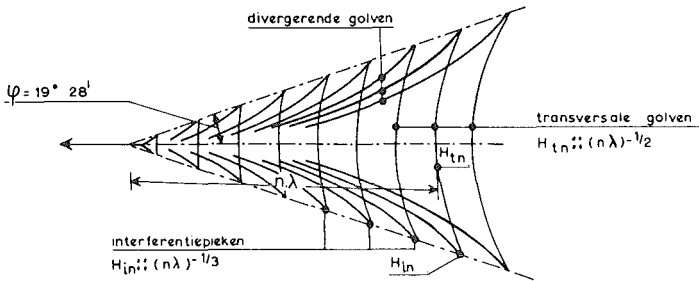
Een potentiaalstroming, zoals in de vorige paragraaf beschreven, heeft op water met onbeperkte breedte en diepte een driedimensionaal karakter. Neemt de waterdiepte af, dan wordt de stroming meer tweedimensionaal, waardoor de stroomsnelheid naast het schip (bij gelijkblijvende scheepssnelheid) verder toe moet nemen (zie figuur 1). Is de vaarweg ook in breedterichting beperkt, dan neemt (weer bij gelijkblijvende scheepssnelheid) de stroomsnelheid naast het schip (retourstroom) nog verder toe. Hetzelfde geldt voor de spiegeldaling. Naarmate de vaarwegbreedte kleiner wordt, wordt de retourstroom over de breedte van de vaarweg gelijkmatiger. Daarmee samenhangend neemt de gradiënt in de waterspiegel loodrecht op de scheepsas af. In paragraaf 4 zal nader worden ingegaan op retourstroom en spiegeldaling in vaarwegen met beperkte breedte en diepte. Beide verschijnselen zijn dus een onderdeel van de waterbeweging in de primaire scheepsgolf.

3.3 Haalgolf

De zogenaamde haalgolf, die ter hoogte van het hek van het schip kan optreden, kan worden beschouwd als de overgang van het gebied met spiegeldaling naast het schip naar dat met spiegelverhoging achter het schip. Dit verschijnsel kan eveneens worden opgevat als een onderdeel van de primaire scheepsgolf. In paragraaf 5 wordt dit verschijnsel behandeld.

3.4. Secundaire scheepsgolven

De primaire verstoring van het wateroppervlak wekt een tweede systeem van golven op, de secundaire scheepsgolven. Voor een groot deel wordt de vorm van dit golfsysteem bepaald door de drukpieken bij de boeg en het hek van het schip. Ook drukpieken op andere plaatsen (discontinuïteiten) langs de scheepshuid, bijvoorbeeld tussen de bakken van een duweenheid, kunnen dit golfsysteem sterk beïn-



Figuur 2 Golfsysteem, veroorzaakt door een bewegende drukpiek op diep water

vloeden. Door Kelvin [14] is een beschrijving van dit golfsysteem gegeven voor een afzonderlijk bewegende drukpiek op diep water (zie figuur 2). Bij secundaire scheepsgolven worden divergerende en transversale golven onderscheiden. Op de snijpunten versterken divergerende en transversale golven elkaar, zodat interferentiepieken ontstaan. Deze pieken liggen op de in figuur 2 aangegeven lijnen, die op diep water een hoek van ca. 20° maken met de voortbewegingsrichting van de drukpiek.

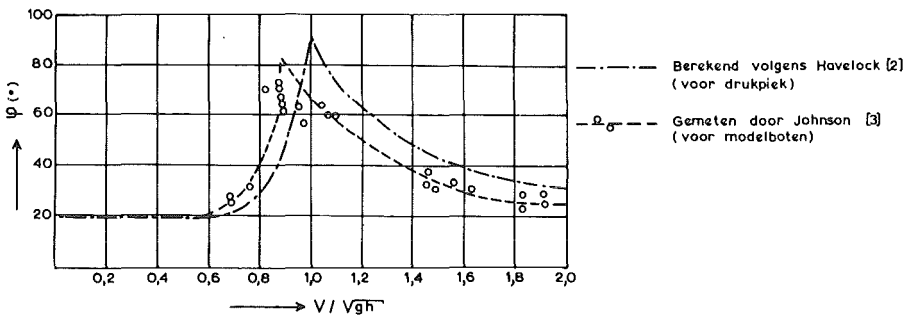
Volgens Havelock [2] is de golfhoogte ter plaatse van de interferentiepieken omgekeerd evenredig met de derdemachtswortel uit de afstand tot het drukpunt ($H_{in} : (n\lambda)^{-1/3}$, zie figuur 2). De golfhoogte van de transversale golven is volgens hem omgekeerd evenredig met de wortel uit die afstand ($H_{tn} : (n\lambda)^{-1/2}$, zie figuur 2). Modelonderzoek door onder anderen Sorensen [13] bevestigt deze conclusies.

3.5 Secundaire scheepsgolven op ondiep water

Havelock heeft ook het golfpatroon, dat door een bewegende drukpiek op water met beperkte diepte wordt veroorzaakt, analytisch onderzocht. De invloed van een beperkte waterdiepte wordt van belang, zodra het Froudegetal (V/\sqrt{gh}), betrokken op de snelheid van de drukpiek en de waterdiepte, groter wordt dan 0,6 à 0,7. De hoek φ tussen de voortbewegingsrichting van de drukpiek en de lijn, die de interferentiepieken verbindt, wordt dan groter, totdat bij een Froudegetal 1 een waarde van 90° wordt bereikt. Voor Froudegetallen, groter dan 1, neemt φ weer af. Er treden dan alleen nog divergerende golven op. Proeven van onder anderen Johnson [3] hebben aangetoond, dat deze theorie in grote lijnen ook opgaat voor door schepen opgewekte secundaire scheepsgolven. Alleen vindt hij al voor een Froudegetal $V/\sqrt{gh} \approx 0,9$ een maximale waarde voor φ . Figuur 3 geeft een voorbeeld van zijn resultaten. Overigens zal onder normale omstandigheden door zelfvarende schepen een Froudegetal van 0,9 niet worden overschreden (zie paragraaf 7).

3.6 Plaatsen, waar bij een schip secundaire scheepsgolven kunnen ontstaan

Duidelijk als zodanig herkenbare "bewegende drukpieken" zijn bij een varend schip de boeg en het hek van het schip, alsmede bij een duweenheid de plaats, waar de bakken aan elkaar zijn gekoppeld. Ook andere discontinuïteiten in de lengterichting van een schip (bijvoorbeeld de zogenaamde "voor- en achterschouers") kunnen zich als "bewegende drukpieken" gedragen. In principe zenden al die "drukpieken" langs een varend schip een golfsysteem uit, zoals dat in de vorige alinea is omschreven. Meestal is het door de boeg, en in mindere mate het door het hek van het schip uitgezonden systeem van secundaire scheepsgolven overheersend. De bij de boeg en het hek ontstane secundaire scheepsgolven worden wel boeggolven respectievelijk hekgolven (niet te verwarren met haalgolven!) genoemd.



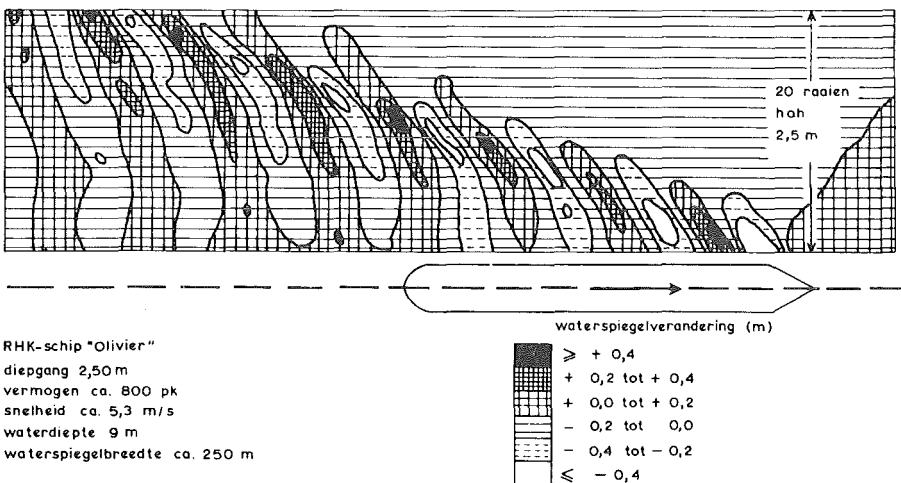
Figuur 3 Berekende en gemeten hoek φ tussen vaarlijn en verbindingslijn interferentiepieken

3.7. Interferentie van boeg- en hekgolven

De voortplantingssnelheid van de transversale golven is gelijk aan die van andere zwaartekrachtgolven ($C = \sqrt{g \lambda \tanh(2\pi h/\lambda)/2\pi}$, op water met onbeperkte diepte $C = \sqrt{g \lambda / 2\pi}$). De voortplantingssnelheid van deze golven is ook gelijk aan de scheepssnelheid. Daardoor zullen de onder andere door boeg en hek van het schip opgewekte secundaire scheepsgolven elkaar - afhankelijk van de afstand tussen die punten - versterken of juist verzwakken. Boeg- en hekgolven versterken elkaar maximaal, wanneer de scheepslengte ongeveer gelijk wordt aan de golflengte van de transversale scheepsgolven. Deze situatie treedt vrijwel alleen op bij korte schepen met groot motorvermogen (en dus een hoge scheepssnelheid) (viskotters, sleepboten en dergelijke).

3.8 Combinatie van primaire en secundaire scheepsgolven

Bij varende schepen is altijd zowel een primaire scheepsgolf (tengevolge van het door het schip verplaatste water, zie paragraaf 3.1) als een systeem van secundaire scheepsgolven aanwezig. Meestal is een van beide overheersend: op water met relatief (ten opzichte van het schip) ruime afmetingen zijn de secundaire scheepsgolven overheersend, bij grote schepen in smalle, ondiepe vaarwegen overheerst de primaire scheepsgolf. In duwvaartkanalen zal bij grote, geladen duweenheden de primaire scheepsgolf de waterbeweging bepalen. In eenzelfde kanaal zal een klein vaartuig (bijvoorbeeld een sleepboot of viskotter) dat met groot vermogen op grote afstand uit de oever vaart, boven die oever voornamelijk secundaire scheepsgolven veroorzaken. Voor een Rijn-Hernekanaalschip moet in een dergelijke vaarweg zowel met primaire als met secundaire scheepsgolven rekening worden gehouden. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van figuur 4. Daarin zijn de resultaten gegeven van een meting in een model (schaalfactor 25) van een vaarweg met een diepte van 9 m en een breedte op de waterspiegel van ongeveer 250 m, waarin een Rijn-Hernekanaalschip vaart (motorvermogen ca. 800 pk, scheepssnelheid ca. 5,3 m/s). Hoewel het secundaire golfsysteem het beeld overheerst, blijkt de aanwezigheid van de primaire scheepsgolf duidelijk



Figuur 4 Scheepsgolven, gemeten rond RHK-schip op relatief ruim vaarwater

uit de verlaging van de waterspiegel naast het schip (waarin "opduikingen" door secundaire golven), de verhoging daarvoor en het gebied achter het schip, waar de waterspiegelverandering gemiddeld te verwaarlozen is. Bij de secundaire scheepsgolven springt het verschil tussen de door boeg en hek veroorzaakte systemen in het oog: de amplitudes van de pieken in het eerste systeem zijn meer dan tweemaal zo groot als die in het tweede.

4 RETOURSTROOM EN SPIEGELDALING OP WATER MET BEPERKTE BREEDTE EN DIEPTE

De invloed van een beperkte waterbreedte wordt volgens Schuster [10] waarneembaar, zodra de verhouding tussen waterbreedte en scheepslengte kleiner dan twee wordt. Volgens Hay [1] gaan de berekeningen als uitgevoerd door Schijf (zie hierna), waarbij van vaarwegen met beperkte breedte en diepte wordt uitgegaan, op zodra de verhouding tussen het grootspantoppervlak van het schip en de natte doorsnede van de vaarweg groter dan 0,08 wordt.

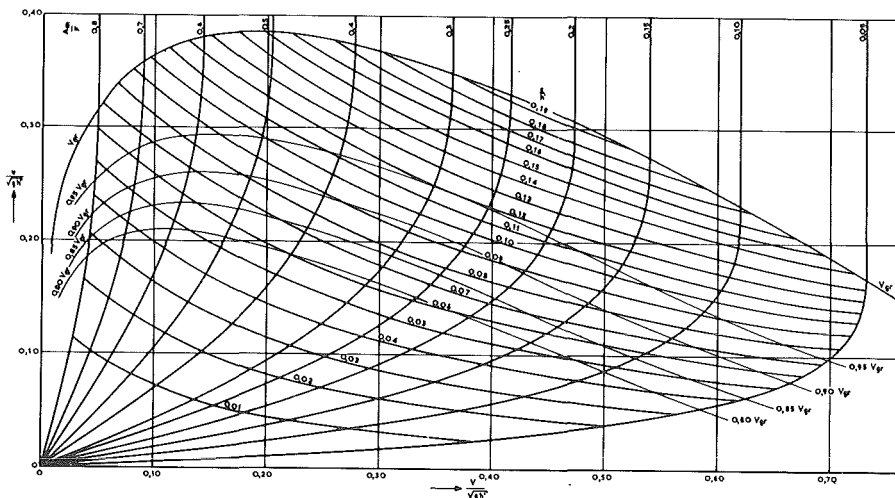
Door Krey [4] is een theorie opgesteld om de waterspiegeldaling en retourstroom te berekenen, die optreden bij de vaart van schepen op kanalen met beperkte breedte en diepte. De berekeningswijze heeft alleen betrekking op de primaire scheepsgolf: secundaire scheepsgolven worden verwaarloosd. Een verdere beperking van de theorie is, dat zij slechts geldt voor schepen, die ter plaatse van de kanaalas varen. Ook kan met behulp van deze theorie alleen het gemiddelde van spiegeldaling en retourstroom, over het gehele kanaalprofiel naast het schip tussen boeg en hek, worden bepaald. Bij deze theorie wordt uitgegaan van een met het schip meebewegend assenkruis. Ten opzichte van dat assenkruis gedraagt het schip zich als een obstakel in stromend water (zoals een pijler in een rivier). De snelheid van het stromende water is daarbij gelijk aan de snelheid van het schip ten opzichte van een vast assenstelsel. Spiegeldaling en retourstroom in het kanaal ter plaatse van de door het schip veroorzaakte vernauwing kunnen dan worden bepaald met de vergelijking van Bernoulli en de continuïteitsvoorwaarde.

Deze theorie is verder uitgewerkt door Schijf [11, 12]. In beide bovengenoemde vergelijkingen is een regelmatige snelheidsverdeling over het dwarsprofiel aangenomen. Voor minder gelijkmatige stroming voerde Schijf een factor α in. De waarde daarvan loopt bij de door hem onderzochte schepen bij hoge snelheden naar 1,0. Verder werkte Schijf met dimensieloze parameters. Enige resultaten van zijn berekeningen zijn gegeven in het diagram op figuur 5.

De berekeningswijze van Schijf is geschikt om een eerste benadering te kunnen vinden voor de in een vaarweg te verwachten waarden voor retourstroom en spiegeldaling. Bij lage scheepssnelheden blijken echter nogal grote verschillen op te treden tussen de op deze wijze berekende en de in werkelijkheid gemeten waterspiegelveranderingen. Ook de onmogelijkheid om rekening te houden met buiten de kanaalas varende schepen wordt als een gemis gevoeld.

Aan de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde van de Technische Hogeschool Delft wordt door Bouwmeester gewerkt aan een mathematisch model, dat in eerste instantie een betere benadering van retourstroom en spiegeldaling, ook bij lagere scheepssnelheden, mogelijk moet maken voor ter plaatse van de kanaalas varende schepen. In dat model worden onder andere de schroefkracht en het motorvermogen van het schip ingevoerd. Dit in tegenstelling tot de berekening volgens Schijf, die van een zuivere potentiaalstroming uitgaat. De ontwikkeling van dit model is vrijwel voltooid. Over enige tijd zal het gepubliceerd worden.

Daarnaast wordt door het Waterloopkundig Laboratorium in het kader van het onderzoek "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen (M 1115)" een mathematisch model ontwikkeld, waarmee ook rekening kan worden gehouden met buiten de



V = scheepssnelheid t.o.v. de oever (m/s) A_m = oppervlakte grootspant (m²)
 V_{gr} = grenssnelheid t.o.v. de oever (m/s) F = oppervlakte kanaaldoorsnede (m²)
 u = retourssnelheid t.o.v. de oever (m/s) h' = F gedeeld door spiegelbreedte B (m)

$$\frac{V}{\sqrt{gh'}} = \frac{\sqrt{2 \frac{z}{h'}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{A_m}{F} \frac{z}{h'}\right)^2 - 1}}$$

$$\frac{V_{gr}}{\sqrt{gh'}} = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \left[1 - \frac{A_m}{F} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_{gr}}{\sqrt{gh'}}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{u}{\sqrt{gh'}} = \left(1 - \frac{A_m}{F} \frac{z}{h'} - 1\right) \frac{V_s}{\sqrt{gh'}}$$

Voor V_{gr}

$$\frac{z}{h'} = \frac{1}{3} \left[1 - \frac{A_m}{F} \left(\frac{V_{gr}}{\sqrt{gh'}}\right)^2\right]$$

Figuur 5 Scheepssnelheid, retourstroom en spiegeldaling volgens Schijf ($\alpha = 1, 0$)

kanaalas varende schepen. Naast de schroefkracht wordt daarin ook de wrijving langs scheepshuid en kanaalbodem in de berekening meegenomen. De ontwikkeling van dit programma is echter nog in een minder gevorderd stadium dan dat van Bouwmeester.

5 HAALGOLF EN VOLGSTROOM

Achter varende schepen treedt een zeer gecompliceerde waterbeweging op. Het water, dat in de retourstroom tegen de vaarrichting in beweegt, moet daar tot stilstand komen. Dit verschijnsel wordt gecombineerd met een verhoging (ten opzichte van de oorspronkelijke waterstand) van de waterspiegel achter het schip. En dat, terwijl naast het schip door de retourstroom juist een verlaging van de waterspiegel aanwezig is. De daardoor veroorzaakte helling in de waterspiegel verplaatst zich met een snelheid gelijk aan de scheepssnelheid ten opzichte van bodem en oever, terwijl de relatieve snelheid van deze discontinuïteit ten opzichte van het water nog groter is, door de aanwezige retourstroom.

Bij lage **scheepssnelheden** is de waterspiegeldaling naast en waterspiegelverhoging achter het **schip** veelal gering. Dientengevolge is de helling in de waterspiegel naast het **hek** van het schip niet erg steil. Zonder veel moeite kan het water in de **retourstroom** dan vertragen. Bij toenemende snelheden wordt de helling steiler. Eerst leidt dit tot een verandering van de waterbeweging boven het talud. Het water, dat nodig is om het door de retourstroom drooggevalen taludgedeelte naast het schip weer aan te vullen, kan niet langer zonder meer door het "uitbuigen" van de stroomlijnen in de retourstroom worden geleverd. Dat water moet voor een deel van achteren over het talud worden aangevoerd, waardoor daar hoge snelheden optreden. Deze snelheden worden hier verder volgstromsnelheden genoemd.

De **snelheid**, waarmee de bovenomschreven discontinuïteit in de waterspiegel over het talud beweegt, is gelijk aan de **scheepssnelheid**. Daardoor zal, bij toenemende **scheepssnelheid**, deze snelheid over een steeds grotere afstand uit de oever de **voortplantingssnelheid** van een lange golf bij de betreffende waterdiepte boven het talud overtreffen. In dat gebied vertoont de overgang tussen het gebied met spiegel­daling naast en spiegelverhoging achter het schip soms het uiterlijk van een bewegende watersprong of brekende golf ("bore"). Dit verschijnsel wordt wel de "haalgolf" van het schip genoemd. Bij zeer hoge **scheepssnelheden** kan soms zelfs over de volle breedte van de vaarweg tussen schip en oever deze eigenaardige brekende golf optreden.

Direkt achter het schip treedt hetzelfde verschijnsel op als boven het drooggevalen taludgedeelte: de retourstroom kan niet zonder meer het water, dat daar uit continuïteitsoverwegingen moet worden aangevoerd, leveren. Ook in het zog van het schip komen daardoor (ten opzichte van de kanaalbodem) hoge snelheden in de vaarrichting van het schip voor. Voor de belasting van de kanaaloevers levert dit verschijnsel echter geen probleem op.

Achter en naast het schip bevinden zich verder de **secundaire scheepsgolven** (zie paragraaf 3). Deze kunnen de haalgolf versterken. Overigens zijn de snelheden van grote schepen op beperkt water, waarbij een sterke spiegel­daling (en daardoor een sterke haalgolf) wordt veroorzaakt, meestal gering ten opzichte van die bij de vaart op onbeperkt water. De amplitudes van de secundaire scheepsgolven (in sterke mate afhankelijk van de **scheepssnelheid**) zijn onder die omstandigheden dan ook veelal gering.

6 KRITISCHE SNELHEDEN EN GRENSSNELHEID

In de voorgaande paragrafen wordt herhaaldelijk het belang van de **scheepssnelheid** voor de waterbeweging rond een schip aangeroerd. Deze **scheepssnelheid** is in de praktijk voor zelfvarende schepen aan beperkingen onderhevig. In het algemeen komen die beperkingen hierop neer, dat de **scheepssnelheid** - onafhankelijk van het motorvermogen - niet (of slechts onder zeer bepaalde voorwaarden) in staat is een bepaalde kritische grens te overschrijden. De verschillende kritische snelheden en grenssnelheden worden hieronder behandeld.

Zoals in paragraaf 3.7 is uiteengezet, is de golflengte van de transversale secundaire scheepsgolven (op onbeperkt water) evenredig met het kwadraat van de **scheepssnelheid**. Wanneer bij korte schepen met groot motorvermogen de **scheepssnelheid** steeds verder wordt opgevoerd, nadert bovengenoemde golflengte uiteindelijk tot de **scheeps­lengte**. In dat geval versterken boeg- en hekgolf elkaar maximaal. Bij verder toenemende **scheepssnelheid** zou de afstand tussen boeg- en hekgolf groter worden dan de **scheeps­lengte**. Het schip zou dan tegen de eigen boeg­golf moeten opvaren. Alleen kleine schepen met bijzondere vorm kunnen hogere snelheden bereiken, door te gaan "**planeren**". Voor een normaal schip fungeert de snelheid, waarbij $V = C = \sqrt{gL/2\pi}$ als een maximaal te bereiken snel-

heid. Deze snelheid kan worden aangeduid met "kritische snelheid (betrokken op de scheepslengte)".

Wanneer de waterdiepte h klein wordt ten opzichte van de golflengte λ , dan kan de formule voor de voortplantingssnelheid van de transversale secundaire scheepsgolven ($C = \sqrt{g\lambda} \operatorname{tgh} (2\pi h/\lambda)/2\pi$) worden benaderd door $C = \sqrt{gh}$. Zoals uiteengezet in paragraaf 3.5 neemt de waarde ϕ (de hoek tussen de vaarlijn van een schip en de lijn, waar transversale en divergerende secundaire scheepsgolven elkaar snijden) toe met een toenemend Froudegetal, totdat voor $V/\sqrt{gh} \approx 0,9$ een maximum van 90° wordt bereikt. Onder die omstandigheden vallen divergerende en transversale golven samen, en bereikt de golfvormende weerstand van de schepen een zeer hoge waarde. Het is in de praktijk voor de bestaande zelfvarende schepen vrijwel onmogelijk deze snelheid te overschrijden. De scheepssnelheid $V = 0,9 \sqrt{gh}$ kan daarom met "kritische snelheid (betrokken op de waterdiepte)" worden aangeduid. Bereikt een schip overigens toch op een of andere manier een hogere snelheid, dan neemt de golfvormende weerstand weer af.

Door Krietemeyer [5] is een "economische grenssnelheid" gedefinieerd, die hij voor geladen vrachtschepen op $V = 0,7 \sqrt{gh}$ stelde. Die snelheid is gelijk aan de scheepssnelheid, waarbij de invloed van een beperkte waterdiepte op de secundaire scheepsgolven - en daarmee op de golfvormende scheepsweerstand - goed merkbaar wordt. Deze economische grenssnelheid is dus geen fysische begrenzing van de scheepssnelheid en daarom voor de hydraulische verschijnselen niet interessant.

De in het voorgaande beschreven kritische snelheden houden steeds verband met de secundaire scheepsgolven. Een heel ander verschijnsel is de door Schijf [11, 12] aangetoonde grenssnelheid voor een zelfarend schip op water met beperkte breedte en diepte. Deze snelheid, aan te duiden met "grenssnelheid (volgens Schijf)" hangt samen met de in paragraaf 4 beschreven verschijnselen in de primaire scheepsgolf. Opnieuw gaat Schijf hierbij uit van een scheepsvast assenstelsel. Tussen een doorsnede over het kanaal ver vóór het schip en een ter plaatse van het grootspan van het schip past hij de continuïteitsvoorwaarde en de wet van Bernoulli toe:

$$Q = VF = (V + u)(F - A_m - bz) \quad (\text{continuïteitsvoorwaarde}) \quad (1)$$

$$H = h + V^2/2g = h - z + (V + u)^2/2g \quad \text{of}$$

$$2gz = (V + u)^2 - V^2 \quad (\text{Bernoulli}) \quad (2)$$

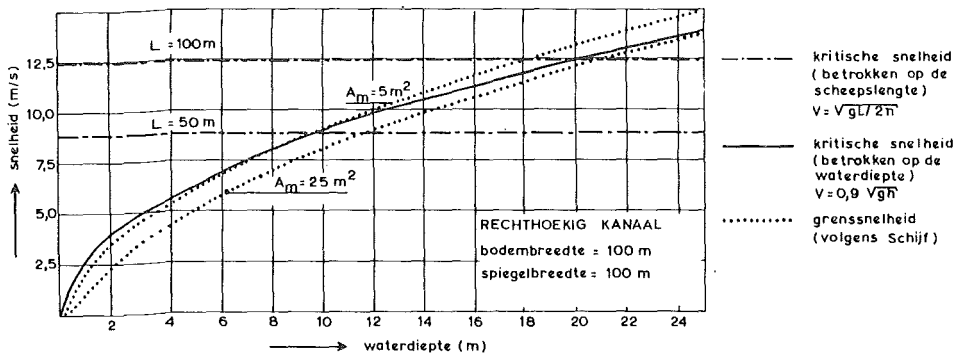
Uit (1) en (2) volgt:

$$Q = (F - A_m - bz) \sqrt{V^2 + 2gz}$$

Differentiatie van Q naar z levert voor $dQ/dz = 0$ de scheepssnelheid, waarbij de afvoer naast het schip maximaal is. De waterdiepte naast het schip is daarbij gelijk aan de grensdiepte voor stromend water. Wanneer de scheepssnelheid nog verder zou toenemen, zou de waterbeweging naast het schip van stromende in schietende afvoer overgaan. Door de sterke afname van de waterdiepte, die daarbij optreedt, kan - ondanks de toename van de watersnelheid - daarbij niet meer voldaan worden aan de continuïteitsvoorwaarde. Daardoor zou zich voor de boeg van het schip water ophopen, waartegen het schip zou moeten opvaren. Een zelfarend schip is daartoe niet in staat.

Hoewel theoretisch bij een veel hogere scheepssnelheid weer zowel aan de continuïteitsvoorwaarde als aan de wet van Bernoulli kan worden voldaan, zijn uit de praktijk geen gevallen bekend waarin zelfvarende schepen dergelijke snelheden bereiken. De bovenbeschreven grenssnelheid (volgens Schijf) is in figuur 5 weergegeven.

Figuur 6 geeft een overzicht van de kritische snelheden en de grenssnelheid (volgens Schijf), voor een vaarweg met een rechthoekige doorsnede ($b = 100$ m) met variabele waterdiepte. Bij geringe waterdiepten zal in het algemeen de grenssnel-



Figuur 6 Kritische snelheden en grenssnelheid (volgens Schijf) in een rechthoekig kanaal profiel

heid (volgens Schijf) de maximale scheepssnelheid bepalen. Bij grotere waterdiepten zal dat de kritische snelheid (betrokken op de waterdiepte) of de kritische snelheid (betrokken op de scheepslengte) zijn, afhankelijk van de scheepslengte.

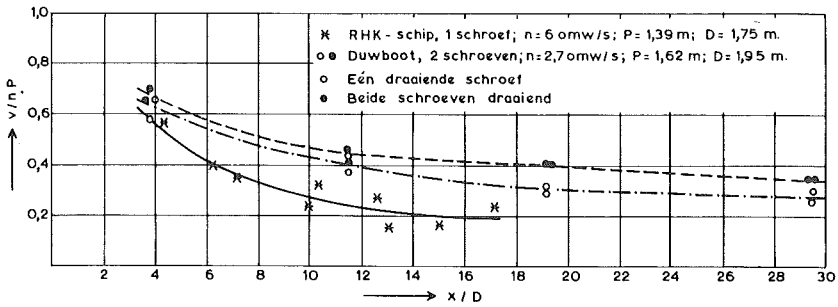
7 SCHROEFSTRAAL

Vlak achter een draaiende schroef treden hoge watersnelheden op. Door de draaiende beweging van de schroeven is het water daar tevens zeer turbulent. De orde van grootte van deze snelheden is gelijk aan het produkt van spoed en toerental van de schroef.

De schroeven van de grootste binnenschepen hebben zowel een diameter als een spoed van 1,5 à 2 m (alleen enkele zeer sterke duwbotten hebben een wat grotere spoed). In verband met het gevaar voor cavitatie van de schroef overschrijdt het toerental van deze grote schroeven vrijwel nooit het aantal van 6 omw/s. Het produkt van toerental en spoed van de schroef kan dan ook voor binnenschepen maximaal op 10 à 12 m/s worden gesteld. Voor een groot binnenschip met een motorvermogen van ca. 750 pk, of een duwboot met 2 schroeven en een vermogen van 750 pk per schroef, wordt dit produkt ongeveer 8 m/s.

Voor grote zeeschepen is deze waarde groter: voor een triocontainerschip (motorvermogen ca. 60.000 pk) en een supertanker (motorvermogen ca. 30.000 pk) werden waarden van 12 à 13 m/s berekend. De werkelijk optredende waarden, direct achter de schroef, zullen lager liggen dan de berekende waarden ten gevolge van rendementsverliezen in de voortstuwing van de schroeven.

Uit enige oriënterende proeven, verricht in het Waterloopkundig Laboratorium, blijkt dat de gemiddelde snelheid in de schroefstraal bij toenemende afstand tot de schroef slechts langzaam afneemt (zie figuur 7). Deze proeven zijn gedaan met stilliggende binnenschepen. Op een afstand van 4 maal de schroefdiameter werd gemiddeld nog ongeveer 60% gemeten van de snelheid, die door vermenigvuldiging van toerental en spoed van de schroef wordt verkregen. Op 10 respectievelijk 20 maal de diameter is dit percentage nog 30 à 40 respectievelijk 20 à 30, terwijl voor een duwboot met 2 draaiende schroeven bij deze afstanden nog 50% respectievelijk 40% werd gevonden. In concreto betekent dit, dat bij een binnenschip met een schroef, die een vermogen van ca. 800 pk afgeeft, op ongeveer 7, 15 en 30 m achter de schroef nog snelheden in de orde van grootte van achtereenvolgens 5, 3 en 2 m/s kunnen optreden.



Figuur 7 Watersnelheden in de schroefstraal als functie van de afstand tot de schroef

Direkte aanval van de taludverdediging door dergelijke schroefstralen treedt vrijwel alleen op, wanneer een stilliggend schip met vol vermogen van de oever wil wegvaren. Bij normale vaart zal de schroefstraal alleen de taludverdediging raken bij relatief grote drifthoeken en dicht langs de oever varende schepen. Hierbij kan gedacht worden aan ongeladen schepen, die met sterke zijwind te kampen hebben. De snelheden in de schroefstraal zullen dan ten opzichte van de oever veel geringer zijn dan de bij een stilliggend schip gemeten waarden. Dat komt, omdat de richting van de schroefstraal tegengesteld is aan de vaarrichting, zodat de snelheid van het water in de schroefstraal van een varend schip bij benadering gelijk zal zijn aan de watersnelheid in de schroefstraal van een stilliggend schip, minus de scheepssnelheid.

De waterbeweging in de schroefstraal is dus vooral van belang voor taludverdedigingsconstructies op plaatsen, waar veel schepen blijven wachten of aanleggen, zoals nabij sluizen en beweegbare bruggen.

8 FACTOREN, DIE DE WATERBEWEGING ROND SCHEPEN BEÏNVLOEDEN

De waterbeweging rond varende schepen wordt uiteraard in belangrijke mate beïnvloed door vorm en afmetingen van de schepen. Voor wat de afmetingen betreft zijn vooral interessant de lengte L , de diepgang T en het grootspant A_m (dat is de grootste dwarsdoorsnede van het onder de waterspiegel gelegen deel van het schip). Voorts zijn de vormgeving van boeg en hek van belang, evenals de aanwezigheid van plotselinge veranderingen in de dwarsdoorsnede van het schip.

Naast de afmetingen van het schip zijn die van de vaarweg van belang. Met name betreft dat de waterdiepte h , de breedte op de waterspiegel b , de natte dwarsdoorsnede F en de geometrie van de begrenzingen (taludhellingen, hermen enz.) van de vaarweg. Ook de plaats van het schip in de vaarweg speelt een belangrijke rol. Hetzelfde geldt voor in de vaarweg optredende stromingen (rivieren, kanalen in tijgebieden). Bovendien moeten genoemd worden de inzinking en trim van de schepen en eventuele roer- en drifthoeken.

Van veel belang voor de waterbeweging rond varende schepen is vanzelfsprekend ook de scheepssnelheid. Die scheepssnelheid is op zijn beurt weer afhankelijk van de bovengenoemde grootheden, alsmede van het motorvermogen van het schip en de rendementen van overbrenging en schroef.

Tenslotte moeten als grootheden, die de waterbeweging (en ook de scheepssnelheid) beïnvloeden worden genoemd: de zwaartekrachtsversnelling g , en de soortelijke massa ρ , kinematische viscositeit ν en oppervlaktespanning σ van de vloeistof.

De laatste vier variabelen zijn voor model en prototype vrijwel gelijk en nauwelijks te beïnvloeden. Daarom kunnen zij een reden zijn voor het optreden van schaal-effecten bij modelonderzoek. Daar de grootte van de meeste hydraulische verschijnselen rond varende schepen door modelonderzoek is bepaald, zal in de volgende paragraaf eerst worden ingegaan op de schaal-effecten bij modelonderzoek.

9 SCHAALEFFEKTEN BIJ ONDERZOEK MET MODELBOTEN

Onderzoek naar de waterbeweging rond varende schepen kan in een fysisch model plaatsvinden. Daarbij wordt gewerkt met de schaalregels volgens Froude. Daar de dichtheid voor model en prototype gelijk is, is de krachtenschaal gelijk aan die voor de volumina. Door uit te gaan van de schaalregels volgens Froude wordt de zwaartekracht op de juiste schaal weergegeven. Hetzelfde geldt dan ook voor de zogenaamde golfvormende weerstand van schepen.

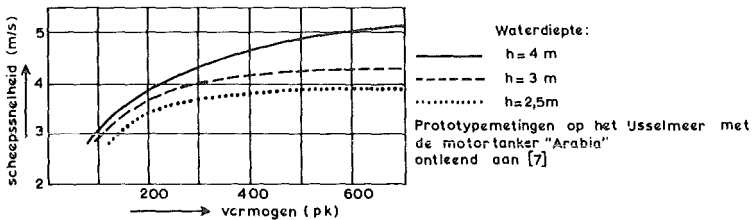
De wrijvingsweerstand van schepen is onder meer afhankelijk van het Reynoldsgetal, betrokken op de scheepslengte ($Re_L = VL/\nu$). Dit Reynoldsgetal is voor model en prototype verschillend, wanneer de schaalwetten volgens Froude worden toegepast. Daardoor kan de wrijvingsweerstand van schepen niet op Froude-schaal worden weergegeven. De wrijvingsweerstand - en daardoor de totale weerstand - blijkt bij een bepaalde scheepssnelheid voor een model groter te zijn dan uit overeenkomende prototype-omstandigheden bij toepassing van de schaalregels volgens Froude zou volgen. Ook de schroefkracht is niet geheel op Froude-schaal weer te geven, doordat ook de waterbeweging rond de schroef door wrijvingseffecten wordt beïnvloed.

Om beide factoren, die de snelheid van modelboten ongunstig beïnvloeden (verlagen), te compenseren (zonder van de geometrische gelijkvormigheid van de schroef in model en prototype af te wijken), kan δ het schroeftoerental worden verhoogd, δ een extra sleepkracht worden uitgeoefend. In het eerste geval zal de schroefstraal in het model wat sterker zijn, dan onder overeenkomende prototype-omstandigheden. Voor onderzoek naar de schroefstraal is deze methode dan ook minder geschikt. Beide methoden kunnen niet verhinderen, dat door de extra hoge wrijvingsweerstand de hoeveelheid water, die in de grenslaag direkt naast de modelboot in de vaarrichting meebeweegt, groter is dan in het prototype.

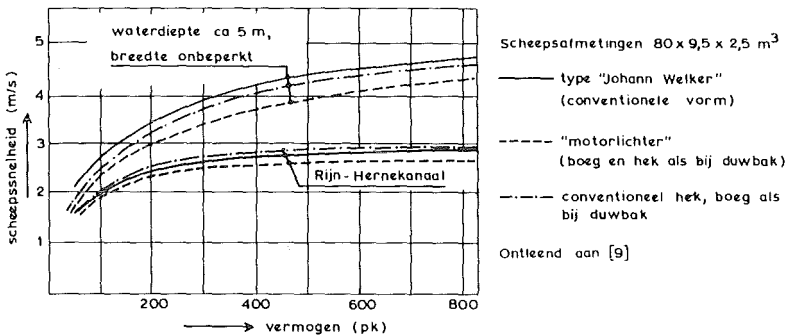
Behalve de krachten door wrijving zijn ook die tengevolge van de oppervlaktespanning onderhevig aan schaalinvloeden. Deze krachten worden beschreven door de schaalregels volgens Weber, waarbij vooral de oppervlaktespanning σ een grote rol speelt. Deze capillaire krachten worden pas interessant bij golven met een golflengte kleiner dan enige centimeters. Bij de schaalfactoren, die in het Waterloopkundig Laboratorium voor onderzoek naar de waterbeweging rond binnenschepen worden gehanteerd, blijken de golflengten voldoende groot te zijn, om geen merkbare invloed te hoeven vrezen van het niet voldoen aan de schaalregels volgens Weber.

Het zal duidelijk zijn, dat voor een gegeven schip de sloopssnelheid in sterke mate wordt bepaald door het motorvermogen en de schroefrendementen. Op vaarwater, dat in breedterichting onbepert is, is verder vooral de waterdiepte van belang (zie figuur 8). Hoe kleiner de waterdiepte, hoe geringer de sloopssnelheid. Verder is de vormgeving van de boeg en het hek van belang. Door Schüle [9] zijn proeven beschreven met een Rijn-Hernekanaalschip met achtereenvolgens conventionele vormgeving van boeg en hek, met een conventioneel hek en een boeg als van een duwbak, en met boeg en hek als bij een duwbak. Het eerste schip gaf op water met beperkte diepte bij een bepaald motorvermogen de hoogste snelheid, het tweede een weinig en het derde een beduidend lagere snelheid (zie figuur 9).

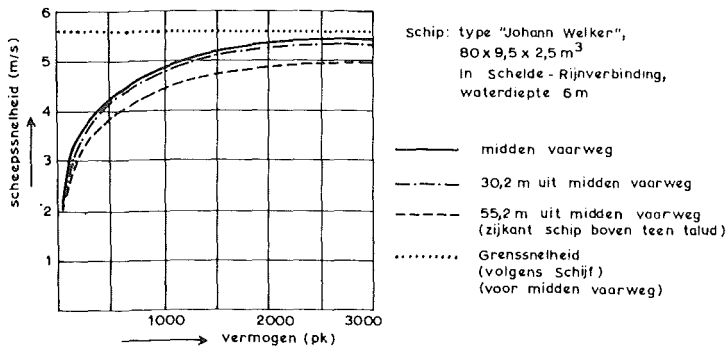
Op water met beperkte diepte en breedte is daarnaast vooral de verhouding tussen grootspant en kanaaldoorsnede (A_m/F) van belang. Neemt dit quotiënt af, dan neemt bij gelijkblijvend motorvermogen ook de sloopssnelheid af. Vaart het schip buiten de as van de vaarweg, dan neemt de sloopssnelheid (weer bij gelijkblijvend vermogen) eveneens af, vooral wanneer de afstand tot de oever erg klein wordt (zie figuur 10).



Figuur 8 Invloed van de waterdiepte op de sloopssnelheid



Figuur 9 Sloopssnelheid als functie van de vorm van boeg en hek



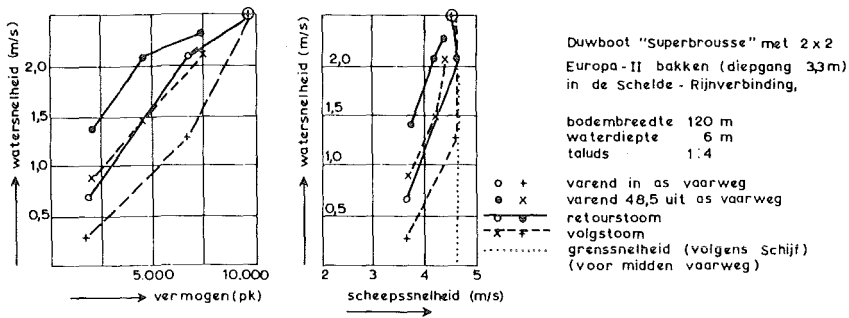
Figuur 10 Scheepssnelheid als functie van de plaats in de vaarweg

11 INVLOED VAN DIVERSE VARIABLEN OP DE WATERBEWEGING

In de paragrafen 3 ... 5 zijn het primaire en secundaire scheepsgolfsysteem beschreven. De waterbeweging op een bepaald punt in het kanaal is de resultante van beide soorten scheepsgolven. Ook als de primaire golf overheersend is, zoals in smalle, ondiepe vaarwegen naast grote schepen met groot motorvermogen, zijn daarnaast altijd secundaire golven aanwezig die de waterbeweging beïnvloeden.

Aan de hand van modelproeven zal worden behandeld hoe, en op welke manier een aantal parameters de waterbeweging rond varende schepen beïnvloeden. Daarbij wordt de invloed op de maximaal gemeten waarden van retourstroom, spiegeldaling en volgstroom behandeld. Daar de volgstroom boven het talud bij toenemende afstand uit de oever sterk afneemt, dienen de gegeven waarden slechts als vergelijkingsmateriaal. Waar de volgstroom ter onderlinge vergelijking van meetresultaten wordt gebruikt, zijn de metingen uitgevoerd op punten, waar de waterdiepte boven het talud gelijk was. De in deze en volgende paragrafen te noemen volgstroom-snelheden kunnen dan ook niet zonder meer als ontwerpgegeven worden gebruikt.

Wanneer het motorvermogen van een schip in een vaarweg met beperkte afmetingen steeds verder toeneemt, wordt op zeker moment de grenssnelheid bereikt. Neemt het motorvermogen verder toe, dan resulteert dat wel in een heviger waterbeweging - met name achter het schip - maar de scheepssnelheid neemt niet verder toe of wordt zelfs minder groot (zie figuur 11). Voor de hand ligt het, om in dergelijke gevallen het motorvermogen te kiezen als parameter om de waterbeweging te beschrijven. Dat sluit meteen aan bij de in praktijk beschikbare scheepsgegevens.

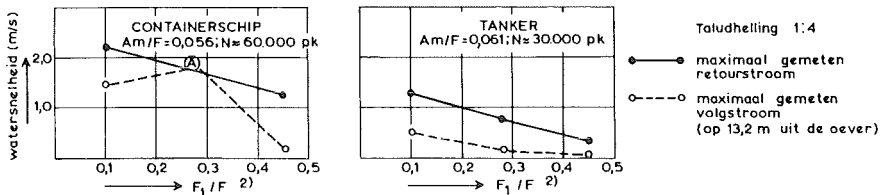


Figuur 11 Maximaal gemeten watersnelheden als functie van scheepssnelheid en motorvermogen

Een probleem bij de keuze van deze parameter is dat, tengevolge van onder andere schaaleffecten, het bij modelonderzoek zeer moeilijk is een goede benadering van het gesimuleerde prototypevermogen te geven. Afwijkingen tot 10% van het opgegeven prototypevermogen zijn dan ook zeker niet uitgesloten.

Vaart een schip buiten de kanaalas, dan neemt de scheepssnelheid bij gelijkblijvend motorvermogen wat af. Retourstroom en spiegeldaling tussen schip en dichtstbijzijnde oever worden groter dan tussen het schip en de andere oever. Hetzelfde geldt voor de haalgolf en de volgstroomsnelheden boven het talud. In betrekkelijk brede vaarwegen kan de maximaal gemeten volgstroomsnelheid bij op enige afstand van het talud varende schepen toch groter zijn dan bij dicht langs het talud varende schepen (wanneer het secundaire scheepsgolvensysteem sterk ontwikkeld is en de haalgolf erdoor wordt versterkt, zie paragraaf 5). Een voorbeeld hiervan geeft punt A uit figuur 12.

In verhouding tot het motorvermogen en de plaats in het kanaal is de invloed van de overige factoren uit paragraaf 8 (voor zover onderzocht), die de maximaal optredende waterbeweging rond een gegeven schip beïnvloeden, minder groot. Systematische proeven met een duweenheid met 2 x 2 Europa-II bakken met een diepgang van 3,3 m en 4,0 m gaven - bij gelijk vermogen van de duwboot (en dus een verschillende scheepssnelheid!) en onder overigens gelijke omstandigheden - geen verschillen van betekenis in de maximaal optredende watersnelheden en -spiegelveranderingen. Dezelfde eenheid, maar met een diepgang van de bakken tussen 0,7 m (boeg voorste bak) en 1,3 m (hek achterste bak) gaf bij een motorvermogen van 1500 à 2000 pk lagere waarden voor de waterbeweging dan bij een diepgang van 3,3 m. In het kanaalprofiel van de Schelde-Rijnverbinding bleek een Rijn-Hernekanaalschip met een diepgang van 2,5 m dezelfde of hogere maximale gemeten waarden voor retourstroom, spiegeldaling en volgstroom boven de taluds te geven, dan een schip met een gemiddelde diepgang van 1,2 m. De secundaire scheepsgolven achter het schip waren, evenals de scheepssnelheid, in het algemeen wél hoger bij de geringere diepgang.



Figuur 12 Maximaal gemeten watersnelheden boven het talud als functie van de plaats van het schip in het kanaal 1) 2)

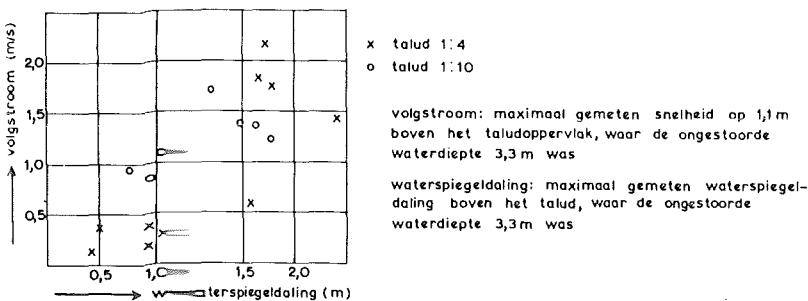
1) De meetresultaten zijn ontleend aan een studie naar de stabiliteit van de oevers in de voorgestelde bochtafsnijding bij Bath in de Westerschelde. In opdracht van de Deltadienst van Rijkswaterstaat werden daartoe door het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation metingen verricht, die door het Waterloopkundig Laboratorium werden uitgewerkt en geïnterpreteerd.

2) De mate van excentrisch varen wordt in deze figuur uitgedrukt in de verhouding tussen de kanaaldoorsnede tussen schip en oever (F_1) en totale kanaaldoorsnede (F).

Ook het varen met roer- en drifthoeken langs de kanaaloevers geeft slechts ondergeschikte verschillen ten opzichte van het varen met een roer- en drifthoek van 0° . Dat geldt althans voor de onderzochte evenwichtsdrifthoeken in de orde van 1° à 2° . Bij zijwind blijken de drifthoeken wel tot 10° te kunnen oplopen. De invloed van dergelijke grote drifthoeken op de waterbeweging naast het schip is nog niet onderzocht.

Bij afnemende waterdiepten in een gegeven kanaal wordt de waterbeweging rond de schepen heviger, maar de toename is zeker niet spectaculair (bij gelijkblijvend motorvermogen). De vermindering van de scheepssnelheid bij afnemende waterdiepte werkt blijkbaar de versterking van de waterbeweging tegen.

De indruk bestaat, dat (in punten met gelijke waterdiepte boven beide taluds) boven een flauw talud bij eenzelfde spiegel-daling de volgstream sterker is dan boven een steiler talud. Metingen in het kader van het modelonderzoek naar de afsnijding bij Bathelijken die indruk te bevestigen. De onderzochte taluds hadden hellingen van $1:4$ en $1:10$. In figuur 13 zijn de meetresultaten uitgezet voor meetpunten boven beide taluds, waar de (ongestoorde) waterdiepte $3,3$ m was.



Figuur 13 Invloed van de taludhelling op de volgstream

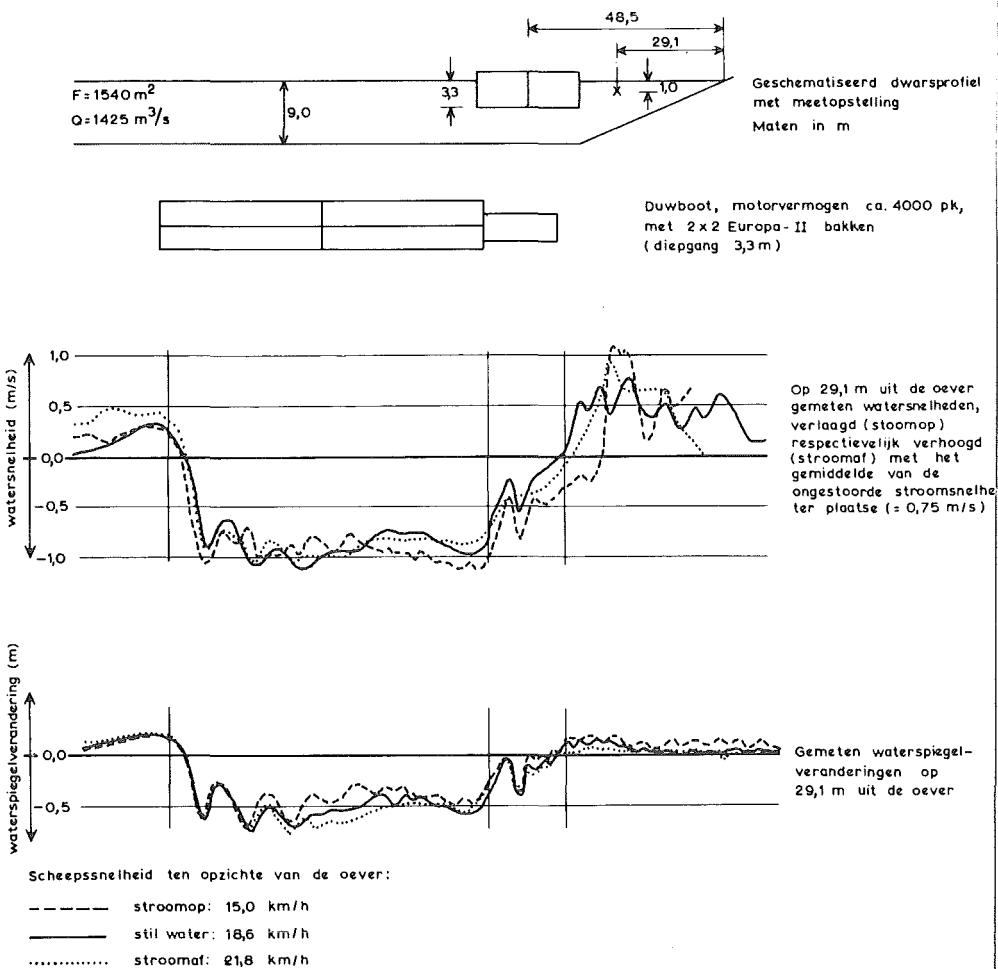
12 WATERBEWEGING ROND OP STROOM VARENDE SCHEPEN

Door de vaarweg stromend water - bijvoorbeeld door getijwerking - beïnvloedt de scheepssnelheid. Als eerste benadering kan de scheepssnelheid ten opzichte van het stromend water in een gegeven vaarweg gelijk worden gesteld aan de scheepssnelheid op stilstaand water onder dezelfde omstandigheden. De resulterende retourstroom naast het schip ten opzichte van de oever kan dan voor stroomop varende schepen gelijk worden gesteld aan de som van de retourstroom (bij hetzelfde motorvermogen) op stil water, en de (niet door scheepvaart gestoorde) stroomsnelheid in de vaarweg. Bij stroomaf varende schepen is de resulterende retourstroom tegengesteld aan de (ongestoorde) stroomsnelheid en daarom voor de oeververdediging niet interessant.

De waterspiegel-daling is op stromend water ongeveer gelijk aan die op stilstaand water (bij gelijke relatieve scheepssnelheid ten opzichte van het water). Voor de volgstream lijkt hetzelfde te gelden als voor de retourstroom. Hier zal dus de hoogste waarde verwacht moeten worden bij stroomaf varende schepen. Op de

plaats, waar hoge waarden voor de volgstroom plegen op te treden - boven het talud, dicht bij de snijlijn van waterspiegel en oever - is de waarde van de ongestoorde stroomsnelheid meestal het laagst van alle plaatsen in het kanaal. Daarom zal de maximale waarde voor de volgstroom op stromend water niet sterk afwijken van die op stil water.

Figuur 14 geeft een voorbeeld van de gemeten waterbeweging, veroorzaakt door een duweenheid. Daarbij zijn de watersnelheden bij de stroomaf- en stroomopvarende duweenheid verhoogd respectievelijk verlaagd met het gemiddelde van de ter plaatse gemeten ongestoorde stroomsnelheid. Deze gegevens zijn ontleend aan modelonderzoek, uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van de Directie Benedenrivieren van Rijkswaterstaat, in verband met de reconstructie van de Dordtse Kil.



Figuur 14 Waterbeweging naast een duweenheid op stromend en op stil water

13 OVERZICHT VAN GEMETEN WAARDEN VOOR DE WATERBEWEGING BOVEN TALUDS

Zoals in de voorgaande paragrafen is toegelicht, is de belasting van de taluds in vaarwegen in sterke mate afhankelijk van de afmetingen van schip en vaarweg, de plaats van het schip in de vaarweg, en het door het schip geleverde motorvermogen. Om een indruk te krijgen van de (orde van) grootte van snelheden en waterspiegelveranderingen boven de taluds van vaarwegen, is tabel 1 samengesteld. In die tabel zijn de maxima gegeven van alle gemeten waarden voor retourstroom en spiegeldaling boven taluds, alsmede de maximaal gemeten waarden voor de volgstroom op een gegeven afstand uit de oever. Het aantal metingen en meetraaien is van geval tot geval verschillend, zodat hogere waarden niet zijn uitgesloten. Tevens zijn alle meetwaarden op veelvouden van 0,5 m/s respectievelijk 0,5 m afgerond. Het zal dan ook duidelijk zijn, dat deze gegevens niet zonder meer bruikbaar zijn als ontwerpcriterium.

Voor vaarwegen, waarin debieten van enig belang kunnen optreden, dient voorts nog rekening te worden gehouden met de conclusies uit de vorige paragraaf. De werkelijk boven een talud optredende snelheden kunnen dan ook aanzienlijk hoger worden dan uit tabel 1 zou volgen.

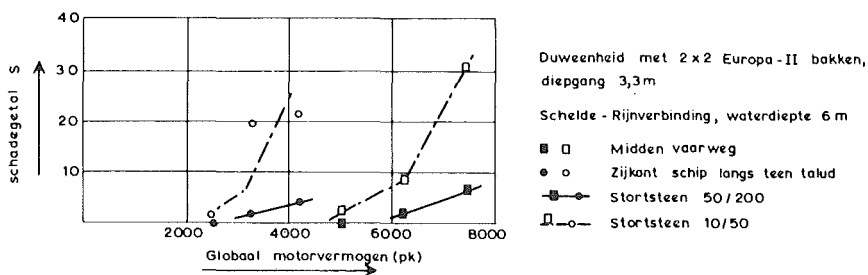
De maximaal gemeten spiegeldalingen treden meestal slechts gedurende korte tijd op. Daarom is de drukdemping, die in het water optreedt, van belang voor de oeververdedigingsconstructie. Door dat verschijnsel treden op enige afstand onder de waterspiegel minder sterke variaties in de waterdrukken op, dan de aan het oppervlak gemeten waterspiegelveranderingen doen verwachten.

De voor de volgstroom gegeven waarden zijn zeker niet zonder meer bruikbaar voor het ontwerp van een verdedigingsconstructie nabij het wateroppervlak. In de eerste plaats omdat dicht bij de snijlijn van (ongestoorde) waterspiegel en taludoppervlak hogere snelheden verwacht moeten worden (die echter niet gemeten konden worden met de beschikbare apparatuur), en in de tweede plaats door de invloed die traagheidskrachten op de stabiliteit van de verdedigingsconstructie kunnen hebben.

14 STABILITEIT VAN EEN TALUDVERDEDIGING VAN STORTSTEEN IN EEN DUWVAARTKANAAL

Ten behoeve van het ontwerp van de Schelde-Rijnverbinding is door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van de Deltadienst van Rijkswaterstaat de stabiliteit van stortsteen 50/200 op de taluds van dat kanaal onderzocht. Daarnaast zijn enkele proeven gedaan naar de stabiliteit van stortsteen 10/50. De taludhelling was steeds 1:4. De in diverse kleuren geleverde stortsteen werd in vakjes in het model aangebracht. Daardoor was het mogelijk de plaats vanwaar en de richting waarin de stortsteen verplaatst werd, globaal te bepalen. Wanneer stenen werden verplaatst gebeurde dat op of dicht onder de waterlijn. Op meer dan 0,5 m boven of meer dan 2,0 m onder de (ongestoorde) waterspiegel werden vrijwel geen verplaatsingen geconstateerd. De verplaatsingsrichting was voornamelijk horizontaal, in de vaarrichting van het schip. Doordat de gekleurde vakken betrekkelijk groot waren, behoeven deze verplaatsingen niet precies evenwijdig aan de kanaalas te zijn geweest. Een belangrijk deel daarvan kan wel degelijk een component in neerwaartse (of opwaartse) richting hebben gehad. De overige verplaatsingen waren voor het merendeel langs het talud naar beneden gericht.

Zowel wat betreft de plaats vanwaar als de richting waarin de stenen werden verplaatst, konden tussen stortsteen 10/50 en 50/200 geen verschillen van betekenis



Figuur 15 Schade aan stortsteen door een passerende duweenheid

worden geconstateerd. Uiteraard trad een begin van schade aan stortsteen 10/50 op bij lagere motorvermogens dan aan stortsteen 50/200. Een voorbeeld van de meetresultaten van het onderzoek naar de stabiliteit van beide typen stortsteen geeft figuur 15. Daarin is het schadegetal S (een maat voor het aantal verplaatste stenen) uitgezet tegen het motorvermogen van een van de onderzochte scheepstypen, varend op twee verschillende plaatsen in het kanaal.

15 BELASTING VAN OEVERVERDEDIGINGEN DOOR DE WATERBEWEGING

In het voorafgaande is een overzicht gegeven van de bestaande kennis op het gebied van de waterbeweging in vaarwegen, veroorzaakt door scheepvaart. Die waterbeweging kan een oeververdediging belasten in de vorm van de secundaire scheepsgolven, de retourstroom, de waterspiegeldaling, de volgstroom, de haalgolf of de schroefstraal. Deze hydraulische verschijnselen belasten een oeververdediging op verschillende wijzen, en werken vaak slechts op een deel van de constructie.

Secundaire scheepsgolven werken voornamelijk in een zône rond de (ongestoorde) waterspiegel. Met toenemende diepte onder de waterspiegel vermindert de belasting op de oever sterk. De snelheden en versnellingen in deze golven kunnen, vooral wanneer de golven op het talud breken, schade aanrichten aan de bovenlaag van de constructie. De snelle wisselingen in waterdiepte boven de constructie kunnen in de constructie en de ondergrond drukgradiënten veroorzaken, zowel in verticale als in horizontale richting. Dit kan leiden tot oplichten van (delen van) de constructie of het uitspoelen van de ondergrond.

De watersnelheden in de retourstroom kunnen erosie van wanden en bodem van een vaarweg veroorzaken. Omdat de retourstroom over het gehele dwarsprofiel van de vaarweg hoge waarden bereikt, is bijzondere aandacht vereist voor de diepte onder de waterspiegel, tot waar de taluds worden verdedigd. In bepaalde gevallen kan het gewenst zijn, om een oeververdediging door te zetten tot beneden de teen van het talud, of om (een deel van) de bodem te verdedigen.

De waterspiegeldaling is een veel langduriger verschijnsel dan een dal van de secundaire scheepsgolven, en treedt over een veel groter oppervlak van de oeververdediging op. Vooral voor dichte constructies kan dat oplichten van de constructie veroorzaken. Ook uitspoelen van de ondergrond (ook door "lekken" in dichte constructies) kan door de waterspiegeldaling veroorzaakt worden.

De watersnelheden in de haalgolf (de volgstroom) en de daarbij optredende versnellingen bereiken in een zône nabij de waterspiegel hoge waarden. In dat gebied bestaat een reëel gevaar voor erosie van de bovenlaag van een constructie (zie ook paragraaf 14).

Het front van de haalgolf kan boven het talud zeer steil worden. Daardoor kunnen in de constructie en ondergrond sterke drukgradiënten in horizontale richting optreden. Ook hierdoor zou gevaar voor instabiliteit van de ondergrond kunnen ontstaan.

De in de schroefstraal optredende snelheden kunnen eveneens erosie van de bovenlaag van de constructie veroorzaken (zie Kuhn [6]). Deze belasting treedt op enige afstand onder de waterspiegel op en is sterk plaatselijk.

Voor een meer uitgebreide beschouwing over de belasting van de oevers van vaarwegen door de optredende waterbeweging wordt verwezen naar de inleiding tot dit symposium door Van de Velde.

16 DE PLAATS VAN HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN IN HET ONTWERP VAN EEN OEVERVERDEDIGING

Alvorens de hydraulische randvoorwaarden voor het ontwerp van een oeververdediging in een bestaande of aan te leggen vaarweg kunnen worden gekwantificeerd, dienen eerst een aantal basisgegevens bekend te zijn. Deze gegevens hebben betrekking op:

- Het dwarsprofiel van de vaarweg (op grond van verwachte verkeersintensiteit, vereiste capaciteit van de vaarweg, veiligheid van de vaart, uitvoeringstechnische wensen, aanleg - en onderhoudskosten enzovoorts);
- Te verwachten waterdiepten in en debieten door de vaarweg;
- De te verwachten scheepstypen, waarvoor de vaarweg toegankelijk is (bijvoorbeeld 6-baks duweenheden al dan niet toegestaan);
- De schepen, die als maatgevend voor het ontwerp van de oeververdediging worden gekozen;
- Eventuele restrictieve voorschriften voor die schepen met betrekking tot de vaarsnelheid en de afstand tot de oever;
- De maatgevende afstand van die schepen tot de oever;
- Het maatgevende motorvermogen van die schepen als functie van de afstand tot de oever;
- Grondmechanische en uitvoeringstechnische eisen aan taludhelling en eventuele bermen.

Over het te verwachten motorvermogen van een schip als functie van de afstand uit de oever zijn geen betrouwbare gegevens bekend. Een onderzoek naar dat verschijnsel is dringend gewenst. Bij een dergelijk onderzoek kan bijvoorbeeld gedacht worden aan radarwaarnemingen op drukke vaarwegen (om plaats en snelheid van de schepen vast te leggen), in combinatie met het achteraf (bijvoorbeeld aan een sluis) vastleggen van de gegevens van de interessante schepen.

Wanneer de in het voorgaande beschreven basisgegevens zijn verzameld, kunnen hydraulische randvoorwaarden voor die oeververdediging worden bepaald. Dat kan - afhankelijk van gewenste nauwkeurigheid of van reeds uitgevoerd onderzoek - gebeuren door een bureaustudie of door onderzoek in een fysisch model. Eventueel kan dit leiden tot een gewijzigd dwarsprofiel of het alsnog instellen van restrictieve voorschriften voor de scheepvaart.

De te ontwerpen constructie zal in staat moeten zijn, met een acceptabel geachte hoeveelheid onderhoud, onder meer de belasting door de waterbeweging tengevolge van scheepvaart te weerstaan. In het algemeen zal het aanbeveling verdienen het voorlopige ontwerp te onderzoeken in een fysisch model (of door middel van een proefvlak in het prototype), waarin de maatgevende hydraulische randvoorwaarden op verantwoorde wijze kunnen worden nagebootst.

In deze bijdrage is slechts op summiere wijze melding gemaakt van de mogelijkheden, die prototypeonderzoek biedt. De volgende bijdrage zal deze materie nader behandelen.

LITERATUUR

- 1 HAY, D. Harbour Entrances, channels and turning basins. The Dock and Harbour Authority, 1968, pp. 269-276
- 2 HAVELOCK, T. H., The propagation of groups of waves in dispersive media, with application to waves on water produced by a travelling disturbance. Proceedings, Royal Society of London, Series A, 1908, pp. 398-430
- 3 JOHNSON, J. W. Ship Waves in Navigation Channels Proceedings, Sixth Conference on Coastal Engineering, Chap. 40, 1958, pp. 666-690
- 4 KREY, H. Fahrt der Schiffe auf beschränktem Wasser. Berlin, Schiffbau, 1913, no. 12, 13, 16, 17
- 5 KRIETEMEYER, J. H. Ontwikkelingen op technisch gebied bij de binnenscheepvaart. Delft, T. H., Onderafdeling scheepsbouwkunde, 1970
- 6 KUHN, R. Erprobung von Deckwerken durch Schifffahrtsversuche. Schiff und Hafen, 23, 1971, no. 3, März, pp. 194-198
- 7 MANEN, J. D. van, en LAMMEREN, W. P. A. van. Model and Ship Trials in Shallow Water. International Shipbuilding Progress, 4, 1957, no. 31, March
- 8 SCHÄLE, E. Böschungsströmung und Schiffsabsenkung. Schiff und Hafen, 1974, no. 1, Januar, pp. 40 ... 46
- 9 SCHÄLE, E. Naturgrosse Propulsions-, Manövrier- und Festigkeitsversuche mit 80-m-Motorgüterschiffen in konventioneller und Einfachbauweise. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, 1972, no. 5, pp. 192-197
- 10 SCHUSTER, S. Untersuchungen über Strömungs- und Widerstandsverhältnisse bei der Fahrt von Schiffen in beschränktem Wasser. Berlin, J. S.T.G., 1952, pp. 244-279.
- 11 SCHIJF, J. B. Lisbon, XVIIth International Navigation Congress, 1949, Section I, Communication 2
- 12 SCHIJF, J. B. en JANSEN, P. Ph. Rome, XVIIIth International Navigation Congress, 1953, Section I, Communication 1
- 13 SORENSEN, R. M. Waves Generated by Model Ship Hull Journal of the Waterways and Harbours Division, A.S.C.E., Vol. 95, No. WW4, Proc. Paper 6910. Nov., 1969, pp. 513-538
- 14 THOMSON, W. (Lord Kelvin), On ship waves Proceedings, Institute of Mechanical Engineers, 1887, pp. 409-433

| vaarweg | schip | motorvermogen | plaatsaanduiding schip | | waterspiegeldaling ¹⁾ | retourstroom ¹⁾ | volgstream ^{1,2)} | |
|--|---|---|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------|
| | | pk | - | F ₁ /F ³⁾ | m | m/s | m/s | |
| Bathafening van Bath 6000 à 8000 m ² (metresultaten) | tanker, 9000 TDW, en containerschip, 62000 TDW | 25.000 à 35.000 | eigen vaarhelft langs talud | 0,3 - 0,5 ca. 0,1 | 0,5 1,0 à 1,5 | 0,5 à 1,0 1,5 à 2,0 | 0,5 0,5 | |
| | containerschip, 62000 TDW | 55.000 à 65.000 | midden vaarweg eigen vaarhelft langs talud | ca. 0,5 ca. 0,3 ca. 0,1 | 1,0 1,0 à 1,5 1,5 à 2,5 | 1,0 à 1,5 1,5 à 2,0 1,5 à 3,0 | 1,0 1,5 à 2,0 1,5 à 2,0 | |
| Kil 1500 m ² (metresultaten) | vrachtschip, ca. 4000 TDW | 3.000 à 4.000 | eigen vaarhelft | 0,25 - 0,35 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| | duweenheid met 2x2 Europa-II bakken, waterverplaatsing ca. 12000 m ³ | 1.500 à 2.500 | langs talud | 0,12 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | |
| | | 3.500 à 4.500 | langs talud | 0,12 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| | Rijn-Hernekanaalschip, waterverplaatsing ca. 1500 m ³ en onderzoekingsvaartuig, waterverplaatsing ca. 300 m ³ | 600 à 800 | boven talud | 0,05 - 0,06 | 0,5 | 0,5 à 1,0 | < 0,5 | |
| Rijn-Rijnverbinding 800 m ² (metresultaten) | Duweenheid met 2x2 Europa-II bakken, waterver- plaatsing 10000 à 14000 m ³ | 1.500 à 2.000 | eigen vaarhelft | 0,3 - 0,5 | < 0,5 | 0,5 à 1,0 | < 0,5 | |
| | | | langs talud | ca. 0,1 | 0,5 à 1,0 | 1,5 | 1,0 | |
| | | 4.000 à 5.000 | langs talud | ca. 0,1 | 1,0 à 1,5 | 2,0 | 1,5 | |
| | Rijn-Hernekanaalschip, water- verplaatsing 800 à 1500 m ³ | 6.000 à 8.000 | eigen vaarhelft langs talud | 0,3 - 0,5 ca. 0,1 | 1,0 à 1,5 1,5 | 2,0 à 2,5 2,0 à 2,5 | 1,0 à 2,0 2,0 à 2,5 | |
| | | 900 à 1.100 | eigen vaarhelft langs talud | 0,3 0,1 | < 0,5 0,5 à 1,0 | 0,5 1,0 à 1,5 | < 0,5 0,5 | |
| | Onderzoekingsvaartuig, waterverplaatsing ca. 300 m ³ | 1.800 à 2.200 | eigen vaarhelft langs talud | 0,3 0,1 | 0,5 à 1,0 1,0 | 1,5 1,5 | 1,0 1,5 | |
| | | 500 à 1.000 | eigen vaarhelft langs talud | 0,3 0,1 | < 0,5 0,5 à 1,0 | 0,5 1,0 à 1,5 | 0,5 0,5 à 1,0 | |
| | | 1.300 à 1.700 | eigen vaarhelft langs talud | 0,3 0,1 | 0,5 1,0 | 1,0 1,5 | 0,5 1,0 à 1,5 | |
| | Rijnkanaal 800 m ² (prototypemetingen) | Duweenheid met 2x2 Europa-II bakken, waterverplaatsing 10000 à 11000 m ³ | 1.000 à 1.500 | eigen vaarhelft boven talud | 0,2 - 0,5 0,05 - 0,1 | < 0,5 0,5 | 0,5 1,0 | - 0,5 |
| | | | ca. 500 | langs talud | 0,08 | < 0,5 | 0,5 | < 0,5 |
| Duweenheid, waterverplaatsing ca. 2500 m ³ | | ca. 600 | boven talud | 0,04 | 0,5 à 1,0 | 0,5 à 1,0 | 0,5 | |
| | | ca. 900 | boven talud | 0,04 | 0,5 à 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| Rijn-Main-Donaukanaal 170 m ² (prototypemetingen) | Rijn-Hernekanaalschip, waterverplaatsing ca. 1600 m ³ | 300 | eigen vaarhelft | 0,3 - 0,5 | < 0,5 | 1,0 | - | |
| | | ca. 700 | midden vaarweg | 0,5 | 0,5 | 1,5 | - | |

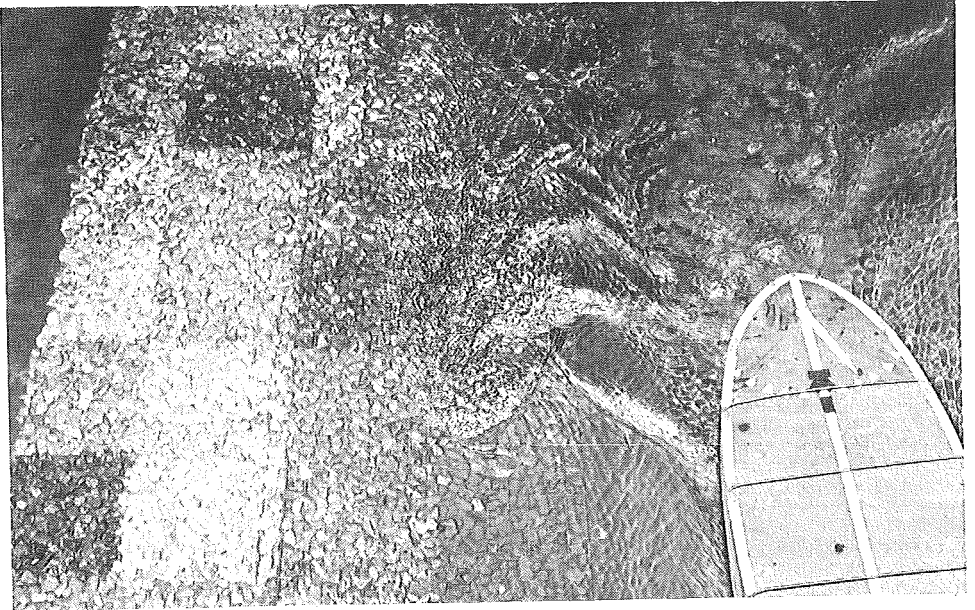
Betreeft de maximaal gemeten waarden, afgerond op 0,5 m respectievelijk 0,5 m/s

Nauw van Bath: gemeten op 13,2 m uit de oever; overige gevallen: op ca. 7 m uit de oever

Verhouding tussen de kanaaldoorsnede tussen schip en oever (F₁) en totale kanaaldoorsnede (F)

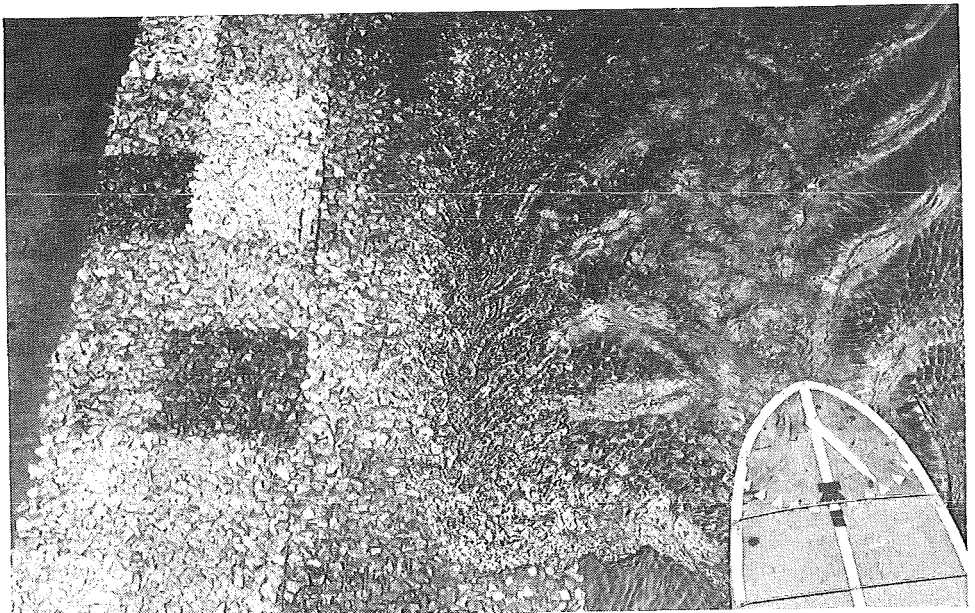
6. De volgstream zal achter bij de oever belangrijk groter zijn dan in de hier gegeven meetpunten!

bel 1 Overzicht van gemeten waarden voor de waterbeweging boven taluds



Snelheid 11, 5 km/h

Rijn-Hernekanaalschip, zelfvarend, langs teen talud, in model van Schelde-Rijn-verbinding (schaalfactor 25) aanval op het talud door de haalgolf



Snelheid 12, 6 km/h

Prototypemetingen

ir. J. U. Brølsma

INHOUD

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Inleiding | 45 |
| 2 | Pollendam | 45 |
| 3 | Hartelkanaal | 48 |
| 4 | Betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid | 51 |
| 5 | Besluit | 55 |

1 INLEIDING

Metingen in prototype vormen naast mathematische en, in de voorgaande bijdrage beschreven, hydraulische modellen een derde mogelijkheid om tot kwantificering van ontwerpisen te geraken. De rol die het zogeheten prototypeonderzoek kan spelen, zal worden toegelicht aan de hand van een tweetal op de stabiliteit van oeverbeschermingsconstructies toegespitste metingen.

De eerste speelde zich medio 1972 af bij de zogeheten Pollendam, het geleidewerk langs de vaargeul naar Harlingen. De tweede prototypemeting vond het afgelopen jaar plaats in het Hartelkanaal en is, in tegenstelling tot zijn voorganger, meer gericht geweest op het vinden van randvoorwaarden voor een modelonderzoek. In beide gevallen zijn de door scheepspassage veroorzaakte stroom en golven geregistreerd, in het laatste geval werden ook drukvariaties in en onder het filterpakket gemeten. Een afzonderlijke beschouwing is gewijd aan de betrouwbaarheid en de reproduceerbaarheid van de uit het Hartelkanaal - metingen verkregen resultaten.

2 POLLENDAM

De Pollendam is een laaggelegen, circa 3 km lange dam langs de vaargeul naar Harlingen (figuur 1).

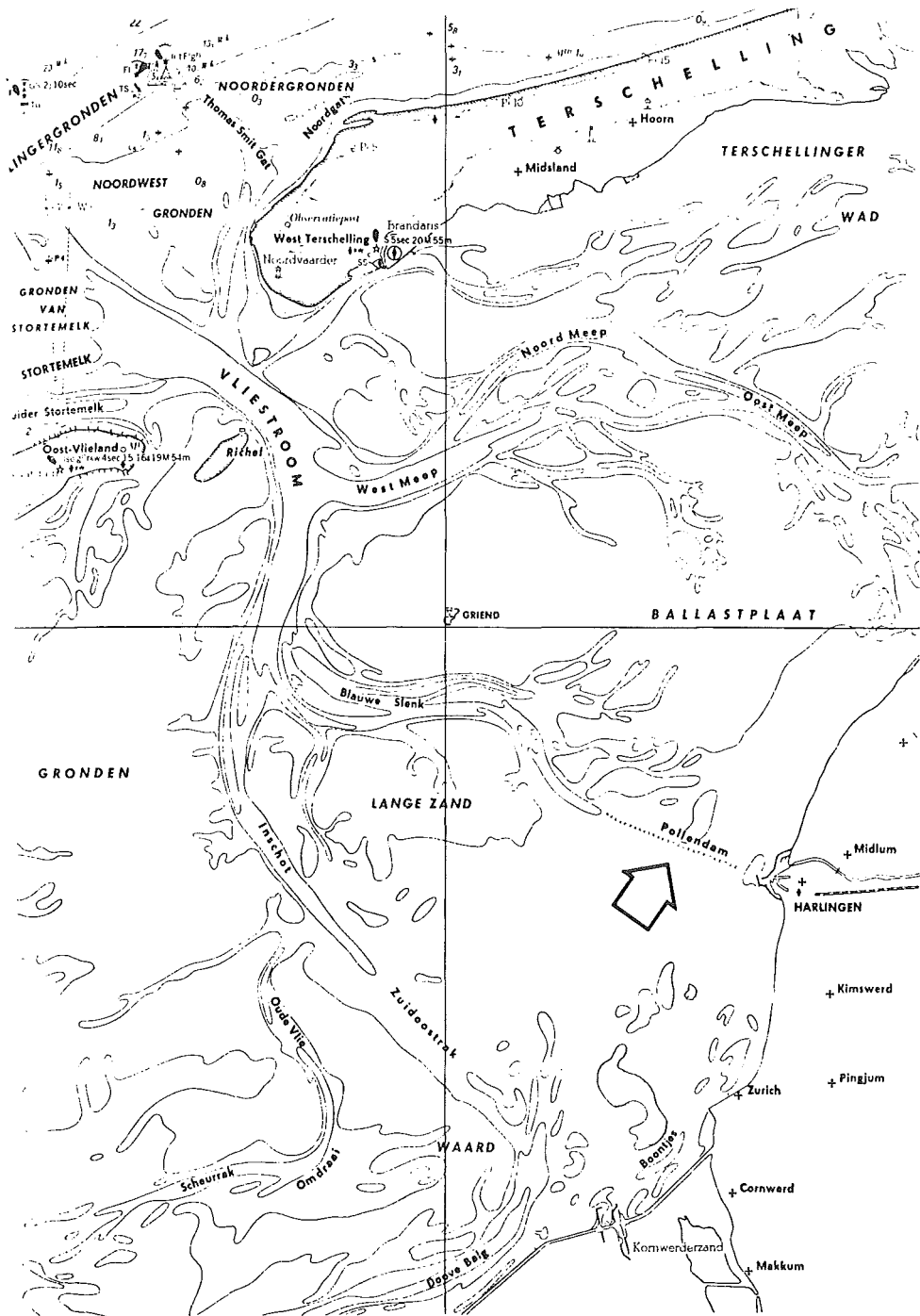
Naar aanleiding van plannen van de firma Doeksen om hier met aanzienlijk grotere en snellere veerschenen te gaan varen, verzocht het beherende arrondissement Friesland-West aan de Studiedienst Hoorn een onderzoek in te stellen naar de mogelijke konsekwenties voor de stabiliteit van de Pollendam. Na overleg tussen de betrokkenen werd besloten tot een tweeledige aanpak:

- 1 prototypemetingen naar de door de aanwezige schepen veroorzaakte waterbeweging; uitgevoerd in september 1972,
- 2 berekening van de toekomstige scheepsinvloeden uit de meetgegevens met behulp van o. m. modelonderzoek voor de Schelde-Rijnverbinding,

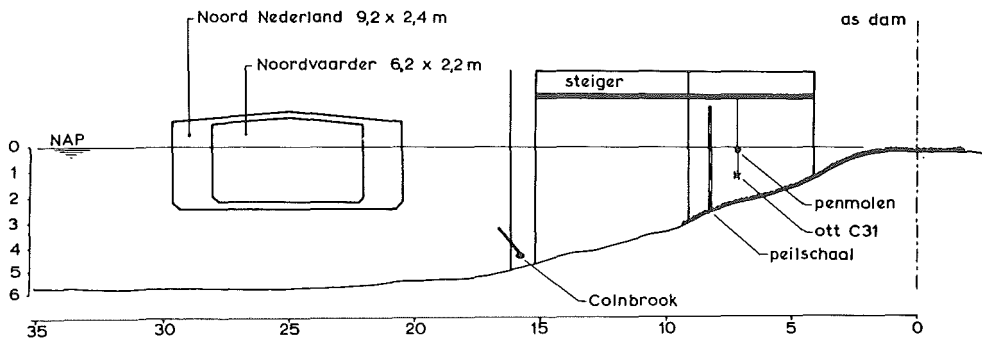
Zoals in de voorgaande bijdrage uiteen is gezet, manifesteert de passage van een schip zich aan de oever als een combinatie van waterspiegelvariaties (primaire en secundaire scheepsgolven) en stroom (retour- en volgstroom), die bepaald worden door o. m. de scheepsvorm, snelheid en afstand tot de oever.

Het effect van de secundaire scheepsgolven en volgstroom doet zich hoofdzakelijk in de zône rond de waterspiegel gevoelen, de retourstroom daarentegen over het hele profiel en dus ook op het onverdedigde deel van het talud. De meting van de waterbeweging beperkte zich dan ook niet tot de golfzone. Aan de teen van de dam werd op 30 cm boven de bodem een "Colnbrook" electro-magnetische stroomsnelheidsmeter geplaatst onder een helling, gelijk aan die van het talud.

Het principe van de e. m. stroomsnelheidsmeter berust op de Wet van Faraday: over een geleider, die wordt bewogen in een magnetisch veld, ontstaat een elektrische spanning, afhankelijk van de bewegingssnelheid en de stand van de geleider. In de opnemer bevindt zich een spoel voor de opwekking van het magnetisch veld, terwijl het langs de opnemer stromend water fungeert als geleider. Door gebruik te maken van twee loodrecht op elkaar geplaatste electrode-paren is het mogelijk zowel de richting als de snelheid te meten. De opwekking van het magnetisch veld en dus de opname van de stroomsnelheidsmeting vindt 40 maal per seconde plaats. Omdat, zeker in 1972, de e. m. meter nog weinig bekend was in de meetpraktijk, werden de belangrijke registraties in de golfzone verricht met de vertrouwde molens: een penmolen en een otmolen C31, verticaal boven elkaar op 10 cm. resp..



Figuur 1 Situatie Pollendam



Figuur 2 Opstelling Pollendam (maten in meters)

110 cm onder het wateroppervlak opgehangen. De bevestiging was verstelbaar in hoogte en kon desgewenst over 180° roteren. De variaties van de waterspiegel zijn vastgelegd door vanaf het steiger een peilschaal te filmen (zie figuur 2). De snelheid van het meetschip werd aan boord geregistreerd door met een stopwatch het tijdsverloop tussen bepaalde dwarsraaien op te nemen; de positie werd bepaald met het sea-fix positiebepalingssysteem.

De waarnemingen zijn gesynchroniseerd door op het moment van passeren enige signaallampjes te doen oplichten; één der lampjes was zichtbaar op de filmopname van de waterspiegelvariaties, de anderen waren voor de waarnemers op het platform een teken om een markering op de registratiestroken aan te brengen.

Het geheel van technische middelen en procedures is kort voor de definitieve metingen beproefd om onverwachte en onaangename verrassingen op de dag zelf te voorkomen. Bij dit soort gecompliceerde en moeilijk te herhalen programma's is een dergelijke tactiek sterk aan te bevelen; de latere proeven in het Hartelkanaal konden dit alleen maar bevestigen.

In totaal zijn 18 metingen verricht met twee vaartuigen: de onlangs naar Angola verkochte veerboot Noord-Nederland (lengte 51,0 m, nat grootspantoppervlak 21 m^2) en het meetvaartuig Noordvaarder (lengte 30,8 m, nat grootspantoppervlak 13 m^2). Beurtelings werd met vol vermogen mee- en tegenstrooms gevaren op afstanden, variërend van 25 tot 45 m tot de as van de dam (de lichtenlijn van de vaargeul ligt op 40 m vanuit het hart van de dam).

Hiermee werd de eerste doelstelling van de proef verwezenlijkt: het verkrijgen van gegevens over de huidige situatie. De stroomsnelheden verschilden weinig voor beide schepen en beliepen bij scheepssnelheden van $4\frac{1}{2}$ à 5 m/s (t.o.v. het water) maximaal 1,25 m/s, gemeten aan de teen van het talud. In de tegengesteld aan de retourstroom gerichte volgstroom en haalgolf werden maxima van circa 1,0 m/s geregistreerd, nu in de hoger op het talud gelegen meetpunten. De indruk bestond dat in de brekende golf, dus niet door de meters geregistreerd, nog hogere snelheden voorkwamen.

Voor de grootste hoogte van de haalgolf werd 1,10 m van top tot dal genoteerd.

De tweede doelstelling van de proef, berekening van de toekomstige scheepsinvloeden, was door de spreiding van de resultaten en het grote aantal variabelen niet met grote nauwkeurigheid te realiseren. Desondanks waren er voldoende gegevens voorhanden om duidelijke konklusies ten aanzien van de verdediging van de Pollendam te trekken:

- 1 de aanwezige bestorting van 10/80 kg was voldoende om weerstand te bieden aan de hoge turbulentie en watersnelheden in de haalgolf. Motorvermogen en snelheid van de grotere schepen zouden niet zoveel hoger zijn dat, mede gelet op de resultaten van laboratoriumonderzoek voor de Schelde-Rijnverbinding, aantasting van de bestorting te duchten viel.

2 de bij de proef gemeten retourstroom was dermate hoog, dat ook zonder grotere schepen voor ontgroning gevreesd zou moeten worden.

Deze conclusies gaven een afdoende antwoord op de in de aanhef gestelde vraag omtrent de huidige en toekomstige bestendigheid van de oeverbescherming tegen scheepsinvloeden.

3 HARTELKANAAL

In september 1974 speelde zich onder auspiciën van de Technische Commissie van de Vereniging Kust- en Oeverwerken een gecompliceerde prototypemeting af op het Hartelkanaal. De proef vormde een onderdeel van en was een eerste aanzet tot een uitgebreid onderzoekprogramma om de dynamische verschijnselen in een filterpakket onder invloed van stroom en golven te analyseren, zulks ter ontwikkeling van nieuwe glooiingsconstructies.

Doel van de meting was in de eerste plaats het vergaren van informatie over de voortplanting van drukvariaties in een stortsteenpakket en door een kunststof filterdoek bij scheepspassages, benevens onderzoek naar het eventueel voorkomen van "drukklappen". De proefneming zou de randvoorwaarden voor een onderzoek naar glooiingsconstructies in het WL moeten opleveren, maar ook een controle op de resultaten van de modelserie "Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen" (Schelde-Rijnverbinding) mogelijk moeten maken.

De voorbereiding en uitvoering van de proef lagen in handen van een werkgroep samengesteld uit vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat, het Waterloopkundig Laboratorium en Gemeentewerken Rotterdam.

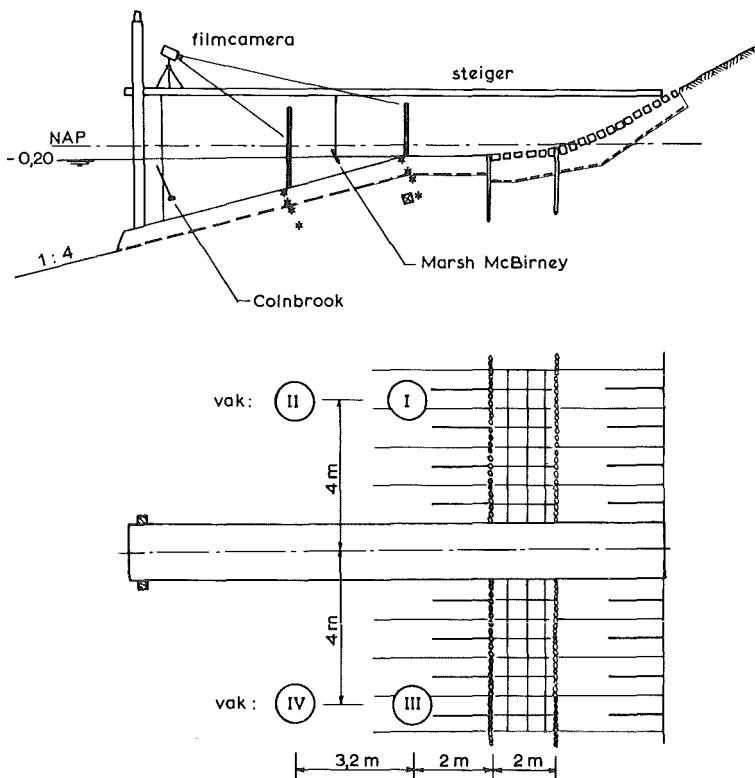
Laatstgenoemde instantie fungeerde tevens als algemeen coördinator.

Als locatie werd het zgn. verlengde Hartelkanaal aangewezen, de druk door duweenheden bevaren route naar het Maasvlaktegebied (figuur 3). De keuze werd deels ingegeven door laatstgenoemde doelstelling van de proef, terugkoppeling naar het modelonderzoek Schelde-Rijnverbinding en deels door een aantal factoren van praktische aard, b. v. een eenvoudige reproduceerbaarheid van de afzonderlijke vaarten door een vast kanaalpeil. De definitieve plaats voor het meetsteiger kon eerst na gedetailleerde peilingen en grondonderzoeken vastgesteld worden. Voor de keuze van een meetvaartuig gold dezelfde overweging als voor de locatie, namelijk de mogelijkheid tot vergelijking met eerder modelonderzoek. Vereist was een verplaatsingsschip met relatief groot motorvermogen van ca. 25 m lengte. Desgevraagd stelde Rijkswaterstaat de schroefsleepboot "Willemskade" ter beschikking (lengte x breedte x diepgang = 24, 1 x 7, 2 x 2, 2 m, vermogen 900 pk).

De kern van de meetapparatuur bestond uit vier groepen van vier waterspanningsmeters en twee gronddrukdozen, bestemd voor het opnemen van de op verschillende plaatsen in het filterpakket heersende drukken, namelijk de bovenzijde van het steenpakket, punten juist boven en juist onder het filterdoek en 30 cm onder het doek (figuur 4). Beide instrumenten berusten op het principe van een doorbuigend membraan, dat voorzien is van rekstrookjes. Bij de waterspanningsmeter staat het membraan rechtstreeks in contact met het water, bij de gronddrukdoos rust de grond om een membraan dat de afsluiting vormt van een met olie gevulde ruimte; aan de onderzijde van deze ruimte bevindt zich het meetmembraan. De verdubbeling van de apparatuur en de twee extra gronddrukdozen dienden ertoe eventuele systematische instrumentfouten te ontdekken en te elimineren.

Om de opnemers te plaatsen moest een duiker de bestorting plaatselijk verwijderen en een lap uit het filterdoek snijden. Dit bood de gelegenheid de karakteristieken van het doek na een verblijf van 3 jaar onder water te vergelijken met fabrieksnieuw weefsel. Laboratoriumtesten bevestigden de visuele indruk, namelijk behoud van de doorlatendheid; dichtslibben, d. w. z. aangroei van de vezels met algen en/of

* = waterspanningsmeter
 ☒ = gronddrukdoos



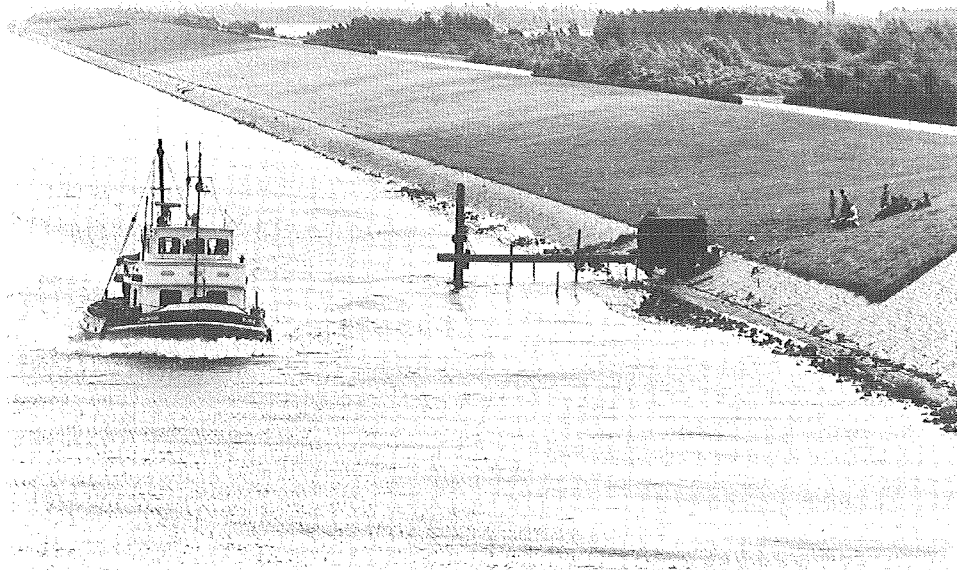
Figuur 4 Opstelling Hartelkanaal

Om een continue registratie van de stroomsnelheden tijdens de scheepspassages te verkrijgen werd gebruik gemaakt van een Colnbrook en een Marsh McBirney electro-magnetische stroomsnelheidsmeter, de eerste discusvormig, de tweede staafvormig.

Beide instrumenten zijn, voorafgaand aan de prototypeproef, uitgebreid in een sleeptank geijkt door de afdeling hydro-instrumentatie van R. W. S., ingeschakeld bij dit deel van het programma. Tot de benodigheden behoorden voorts peilschalen en fotoklokken om de waterspiegelvariaties vast te leggen, dwarsraaien om de scheepsnelheid op te nemen, lengteraaian (uitgezet op de Suurhoffbrug) om de vaarbanen van het meetvaartuig aan te geven en communicatieapparatuur. Ter hoogte van het meetsteiger werd de afstand uit de oever tijdens de passage van het schip fotografisch vastgelegd. Figuur 5 geeft een overzicht van de opstelling langs het Hartelkanaal.

Nadat een week vóór de feitelijke datum een generale repetitie was gehouden, die aanleiding gaf om met name in communicatie en synchronisatie een zekere stroomlijn aan te brengen, is op 3 september 1974 een programma van 22 vaarten gerealiseerd. Hiertoe behoorde tweemaal de passage van een duwboot met 4 bakken, de overige registraties betroffen de sleepboot Willemskade.

Bij een gegeven schip en een gegeven locatie worden golfhoogte en stroom hoofdzakelijk bepaald door afstand uit de oever en snelheid van het passerende schip. Voor beide parameters zijn drie waarden gekozen zodat negen verschillende com-



Figuur 5 De Willemskade passeert op vol vermogen

binaties ontstonden, die merendeels tweemaal gemeten zijn. Eén der belastingsgevallen is vijfmaal herhaald om een betere indruk van de betrouwbaarheid te verkrijgen.

Het zou te ver voeren om alle resultaten te vermelden, een enkel (voorlopig!) getal moge ter illustratie dienen. Met name vaart no. 19 is als zwaarste belastingsgeval interessant. De passage van de Willemskade op 20,4 m (gemeten van de kanaalzijdige perkoenrij) met een snelheid van 4,3 m/s (bij 900 pk) leidde tot een primaire sloopgolf van 1,20 m en retour- en volgstroomsnelheden van circa 1,10 m/s. De maximale afwijking van het hydraulisch drukverloop over de stortsteen bedroeg 10 cm (verhang 1:3 à 1:4), tussen boven- en onderkant doek werd een verval van 6 à 7 cm geconstateerd en tussen het doek en het op 30 cm diep in de zandlaag gelegen punt werd 10 cm gemeten (verhang max. 1:3).

Ook evenwijdig aan de kanaalstraden verhangen op in stortsteen en ondergrond, maximaal 1:3, resp. 1:4.

Drukklappen, dat wil zeggen hoogfrequentie drukvariaties (frequentie hoger dan 10 Hz) traden niet op.

De bovengenoemde combinatie van afstand en snelheid ware als bijzonder extreem te beschouwen voor dit schip. Het is echter niet uitgesloten dat dergelijke belastingen meermalen op de oeverbeschermingsconstructie worden uitgeoefend.

4 BETROUWBAARHEID EN REPRODUCEERBAARHEID

Nadat een eerste bewerking van de uit de prototypemetingen voorgekomen gegevens heeft plaatsgevonden, dient het resultaat op representativiteit getoetst te worden. Twee aspecten zijn van bijzonder belang, te weten de betrouwbaarheid en de repro-

| vaart | ware afstand (m) | ware snelheid (m/s) | amplitude primaire scheepsgolf (m) | | | | | | | | maximale retourstr. (m/s) | maximale volgstr. (m/s) | | |
|-------|------------------|---------------------|------------------------------------|------|------------------|------|--------------|------|--------------|------|---------------------------|-------------------------|------------|------|
| | | | oppervlak | | bovenk. stortst. | | bovenk. doek | | onderk. doek | | | | ondergrond | |
| | | | II | IV | II | IV | II | IV | II | IV | | | II | IV |
| 22 | 19,8 | 4,05 | 0,95 | 1,05 | 0,45 | 0,55 | 0,45 | 0,45 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,70 | 0,80 |
| 25 | 22,4 | 4,20 | 0,75 | 0,85 | 0,35 | 0,45 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,30 | 0,30 | 0,75 | 0,75 |
| 18 | 22,5 | 4,25 | 0,85 | 0,90 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,80 | 0,60 |
| 23 | 22,8 | 4,25 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,55 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,90 | 1,00 |
| 21 | 25,3 | 4,25 | 0,70 | 0,70 | 0,40 | 0,35 | 0,35 | 0,30 | 0,35 | 0,30 | 0,30 | 0,25 | 0,75 | 0,60 |

Figuur 6 Gemeten waarden Hartelkanaal op twee plaatsen

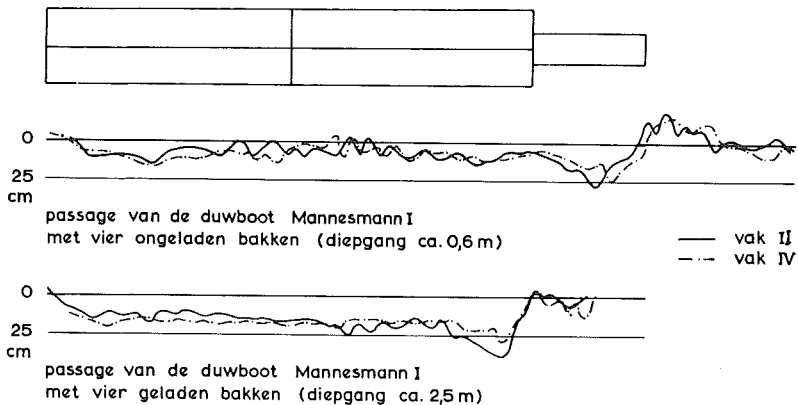
duceerbaarheid. De betrouwbaarheid betreft de meting zelf en het gebruikte instrumentarium. Zo zal men zich moeten afvragen welke stoorsignalen ten gevolge van externe, toevallige invloeden gemeten zijn, of de meters naar behoren hebben gewerkt dan wel systematische of nulpuntsafwijkingen vertoond hebben etc. Met reproduceerbaarheid is in dit verband bedoeld de mogelijkheid om de uitkomsten te relateren aan resultaten van (merendeels hydraulisch) modelonderzoek. De bevindingen van een toets op bovengenoemde aspecten zijn in hoge mate bepalend voor de uiteindelijke bruikbaarheid van het gemetene!

Een meting, zoals bij de Pollendam, waar men te maken heeft met sterk fluctuerende waterstanden en stroomsnelheden, kan in praktijk niet geheel aan het criterium van reproduceerbaarheid voldoen. Dat hierdoor extrapolatie naar een toekomstige situatie sterk bemoeilijkt wordt, is al eerder betoogd. De Hartelkanaalmeting daarentegen leent zich uitstekend ter adstructie van het evaluatieproces. De betrouwbaarheid valt bijvoorbeeld te destilleren uit fig. 6, waarin vijf passages van de Willemskade naast elkaar zijn gezet die in principe alle plaatsvonden bij een vermogen van 600 pk op een afstand van 20 m. uit de oever. Vergeleken zijn de aan weerszijden van het steiger gemeten waarden (vak II en IV), waarbij de amplitudes van de drukvariaties en stroomsnelheden op 5 cm respectievelijk 5 cm/s zijn afgerond.

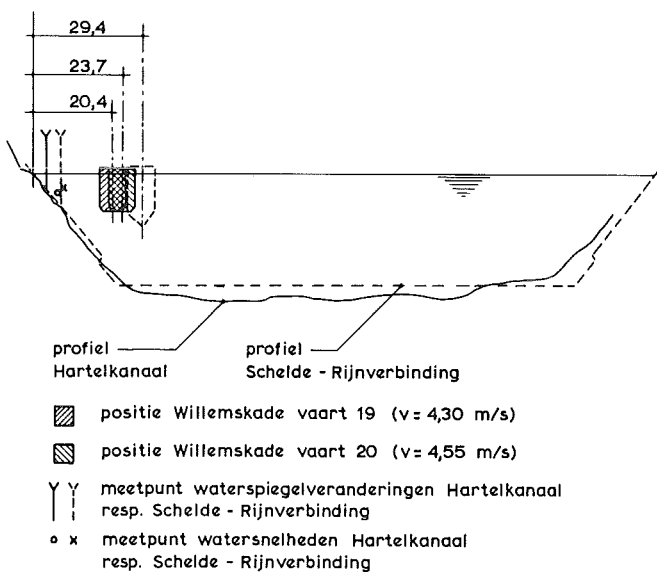
Vrijwel nergens verschilt de amplitude van de primaire scheepsgolf van vak II meer dan één afrondingseenheid van die van vak IV. Hoewel met name in de registratie van retour- en volgstream nog wel fluctuaties zitten, blijkt er over het algemeen een goede samenhang tussen de uitkomsten van meetinstrumenten onderling en de afzonderlijke meetvaarten.

Figuur 7 geeft nogmaals een vergelijking tussen vak II en IV nu echter voor de waterspiegelveranderingen bij passage van de duwboot Mannesmann I. Waarschijnlijk doordat het geladen convooi niet op een rechte koers lag, is de amplitude voor vak II groter dan voor vak IV. Niettemin toont de registratie ook nu een betrouwbaar beeld.

Ir. Van Der Kaa heeft in zijn bijdrage reeds een tabel opgenomen met een overzicht van de bij diverse gelegenheden gemeten waterbeweging onder invloed van de duweenheid met vier bakken. Daaruit blijkt een redelijke overeenkomst tussen deze prototypeproeven en modelonderzoek te bestaan. Daarnaast is het mogelijk de vaarten van de Willemskade op reproduceerbaarheid te toetsen aan de hand van het modelonderzoek ten behoeve van de Schelde-Rijnverbinding. De keuze van de Willemskade (L=24,1 m) was immers ingegeven door de wens een vergelijking met het modelschip Rixt (lengte 29 m.) uit te voeren! Dat ook het kanaalprofiel zich leent voor een vergelijking toont figuur 8. De daarop volgende figuur geeft de stroomsnelheden, gemeten bij de vaarten 19 en 20 van de Willemskade, welke ver-



Figuur 7 Waterspiegelveranderingen

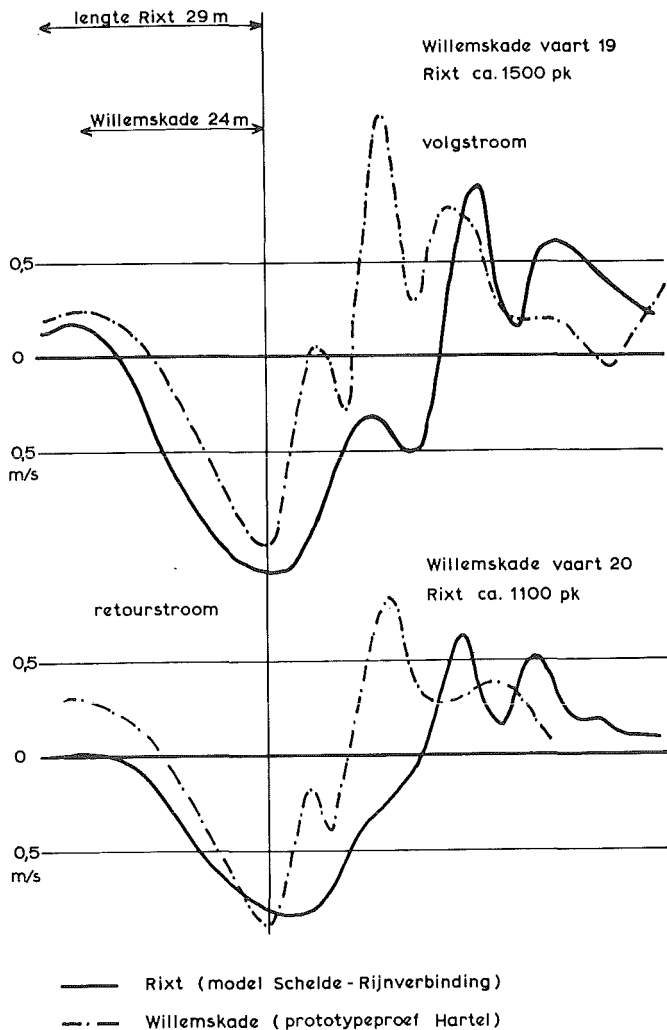


Figuur 8 Vergelijking Hartelkanaal en Schelde-Rijnverbinding (laboratorium-model)

gelijkbaar zijn met de Rixt in het Schelde-Rijnmodel varend langs de teen van het talud met vermogens van (in orde van grootte) 1500 pk, resp. 1100 pk op de in figuur 8 aangegeven posities.

Kwalitatief is er een goede overeenkomst tussen prototype en model en ook kwantitatief zijn de resultaten als bevredigend te bestempelen.

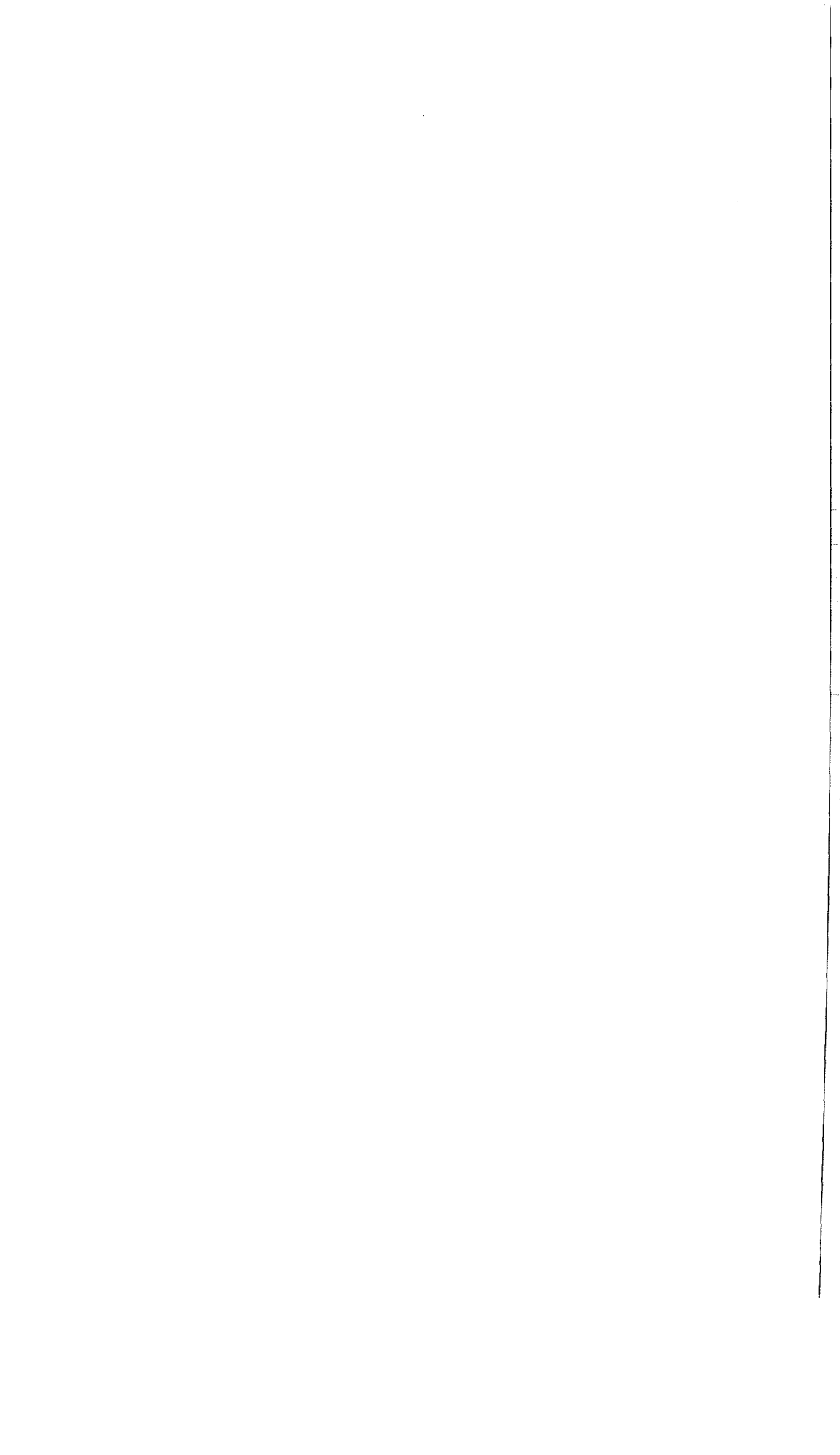
Een belangrijk aspect van het onderzoek Schelde-Rijnverbinding, betrof stabiliteit van de steenbestorting op de taluds. Een "bewijs" van de deugdelijkheid van het laboratoriumonderzoek door middel van prototypemetingen bestond echter niet of nauwelijks. Bij de Hartelkanaalmeting is daarom terdege rekening gehouden met de meting van de stabiliteit van de steenbestorting, welke ter plaatse nagenoeg overeen kwam met de gewichtsklasse 10/80 kg. Dit geschiedde door vóór en direkt ná de kritieke vaarten de ligging van tevoren gemerkte stenen visueel door duikers te



Figuur 9 Stroomsnelheden

laten controleren. Met de "Rixt" varend langs de teen van het talud van de Schelde-Rijnverbinding, trad bij een vermogen van 500 pk een begin van schade op aan stortsteen 10/50 kg, bij circa 800 pk was dat ook het geval voor 50/200 kg. In prototype bleken na vaart no. 19 van de Willemskade meerdere stenen tot maximaal een halve meter verplaatst te zijn, na vaart 20 werden slechts geringe verplaatsingen gevonden en na de daaropvolgende, minder destructieve passages, bleef de bestorting stabiel. De waterbeweging bij vaart 19 is zeer wel vergelijkbaar met die van de "Rixt" bij 1250 á 1750 pk, terwijl vaart 20 overeenkomt met circa 1100 pk. Uit het bovenstaande blijkt dat de resultaten uit het model en de prototypeproef vrij goed overeenkomen.

In het vorenstaande is ingegaan op een aantal aspecten van prototypeonderzoek in relatie met de stabiliteit van oeverbeschermingsconstructies. Een tweetal voorbeelden diende ter adstructie van de mogelijkheden die dit type onderzoek biedt, zoals het direkt verkrijgen van antwoord op gerichte vragen, het vergaren van gegevens ten behoeve van modelonderzoek en toetsing van de uitkomsten van laboratoriumproeven. Ten aanzien van het laatste punt werden bevredigende resultaten geboekt bij vergelijking van de door scheepspassages veroorzaakte waterbeweging in het Hartelkanaal (prototype) en de Schelde-Rijnverbinding (model). Uit het betoog is tevens naar voren gekomen dat de organisatie van prototypemetingen, met name op het punt van synchronisatie en communicatie een wel door-dachte voorbereiding behoeft.



Eigenschappen van kunststoffen welke toepassing vinden in de waterbouw

dr. R. C. Reintjes

INHOUD

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Inleiding | 59 |
| 2 | Kunststoffen als materialen | 59 |
| 3 | Produkten van kunststoffen | 62 |
| 4 | Funktiesplitsing door middel van samengestelde produkten | 62 |
| 5 | Bepalingsmethodieken van eigenschappen van kunststoffen gericht op toepassing in de civiele techniek | 63 |
| | Literatuur | 68 |

1 INLEIDING

Voor u zijn kunststoffen in het algemeen slechts hulpmiddelen om problemen op te lossen. Veel interessanter lijkt mij dan ook het oplossen van de problemen zelf. Dit brengt ongetwijfeld met zich mee dat uw interesse voor kunststoffen op het tweede plan staat. Toch kunnen ze het terrein waarbinnen problemen tot een oplossing kunnen komen, aanzienlijk uitbreiden.

Zoals kunststoffen een belangrijke plaats in hebben genomen op technische, medische, maatschappelijke en andere terreinen zo hebben ze dat ook gedaan in de waterbouw.

De parallel is echter veel verder te trekken. Evenals op de genoemde andere terreinen zijn in de waterbouw met kunststoffen in sommige gevallen bijzondere successen behaald, denkt u maar aan de moderne zinkstukken, blokkenmatten, asfaltmatten, waterdichte bekledingen. In andere gevallen is sprake van redelijke alternatieven (polytheen beschoeiingen), maar helaas is ook sprake van mislukkingen. Vooral door dit laatste staan "de kunststoffen" soms in een kwalijk daglicht. In veel gevallen is echter geen sprake van een slechte kunststof maar van een slecht gebruik van een kunststof of gebruik van een verkeerde kunststof.

Ik wil in mijn voordracht wegen aangeven om het risico op mislukkingen te verlagen en het succesvol benutten van kunststoffen te stimuleren.

Ik zal geen tijd verspillen door u uit te leggen dat de mij toegewezen tijd veel te kort is om een enigermate compleet overzicht te geven. Wel wil ik duidelijk maken uit wat voor gezichtshoek ik spreek.

Ik ben van oorsprong chemicus en heb als zodanig in mijn vroegere werkkring vrij veel met kunststoffen te maken gehad.

Ik ben in de wegenbouw en daarmee in de wereld van de asfalt terecht gekomen, en heb mede dankzij de firma waarbij ik momenteel werkzaam ben, vrij veel te maken met waterbouwkundige en aanverwante zaken. Ik spreek dus noch vanuit de kunststofindustrie noch vanuit de waterbouwkunde maar vanuit de ruimte die tussen deze beide werelden ligt.

Bij het begrip kunststoffen praat je direkt over een nagenoeg onbegrensd terrein van mogelijkheden, mogelijkheden zowel in de zin van mogelijke materialen en produkten als mogelijke toepassingen.

Ik wil me in deze voordracht uiteraard beperken tot uw vakgebied en achtereenvolgens iets zeggen over:

kunststoffen als materialen

kunststofprodukten

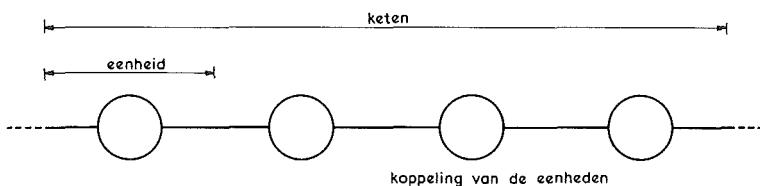
funktiesplitsing door middel van samengestelde produkten

bepalingsmethodieken van eigenschappen van kunststoffen gericht op toepassing in de civiele techniek.

2 KUNSTSTOFFEN ALS MATERIALEN

Wat is een kunststof of meer vaktechnisch gezegd, wat is een polymeer? Een polymeer is een stof die bestaat uit lange ketens welke weer opgebouwd zijn uit een groot aantal gelijkvormige eenheden.

Zowel de ketenlengte als opbouw van de eenheden zelf (figuur 1) kan zeer verschillend zijn, terwijl ook de onderlinge koppeling van de eenheden van zeer uiteenlopende aard kan zijn, factoren die de eigenschappen van het polymeer in belangrijke mate beïnvloeden.

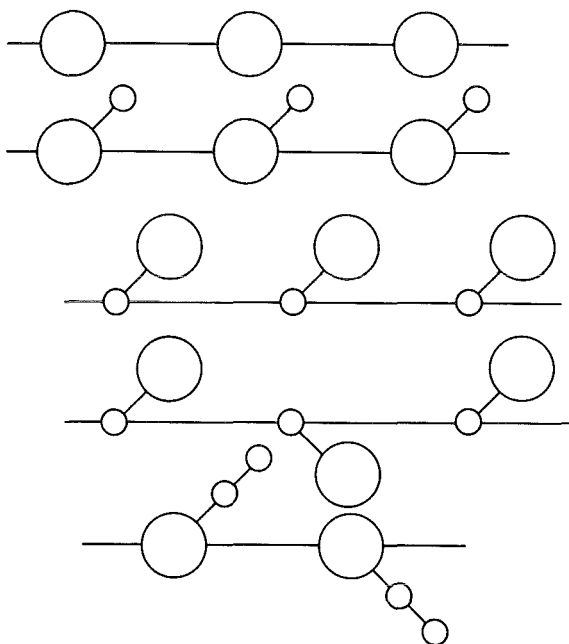


Figuur 1 Polymeer

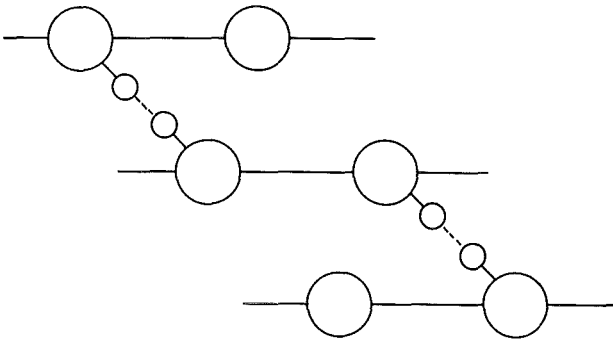
In figuur 2 heb ik getracht de veelheid aan mogelijkheden te demonstreren door middel van enige schetsjes zonder in chemische termen verzeild te raken. Het is niet moeilijk er nog tientallen bij te verzinnen en een probleem voor de gebruiker is dat ze in de praktijk voorkomen ook.

Bovendien kunnen de genoemde eenheden elementen in zich hebben waardoor een fysische of chemische brug gevormd kan worden naar een andere keten (zgn. cross-link) hetgeen weer een eigenschappen bepalend element is (figuur 3). Van ingrijpende betekenis is de wijze waarop de ketens in het polymeer voorkomen. Twee uitersten zijn de klouenvorm (figuur 4) en de gestrekte vorm.

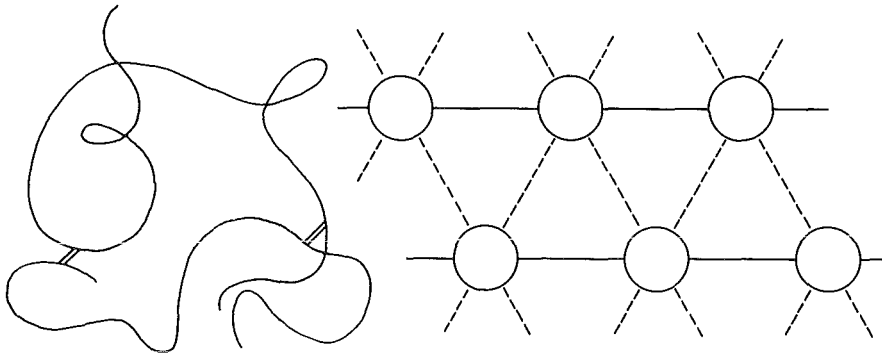
De eigenschappen van een polymeer zoals sterkte, rekbaarheid, permanente deformatie en de resistentie tegen de inwerking van licht, lucht, vocht en chemicaliën worden niet alléén bepaald door de hiervoor omschreven individuele facetten, een rijtje dat verre van compleet is, maar vaak ook door bepaalde combinaties van deze facetten. Het zal u duidelijk zijn dat dit een nagenoeg onbegrensd aantal mogelijkheden oplevert. Ik kan niet op alle facetten ingaan. Twee uitzonderingen wil ik maken. Ten aanzien van de inwerking van licht moet ik u wijzen op het volgende Zonlicht bevat kleine hoeveelheden zeer energierijke straling. Deze is in staat



Figuur 2 Verschillende soorten basiseenheden



Figuur 3 "Crosslinks" in polymeren



kluwenstructuur
met chemische crosslinks
(bijv. rubbers)

gestrekte structuur
met fysische bindingen

Figuur 4

chemische bindingen zoals ze in kunststoffen voorkomen aan te tasten. Dat betekent dat alle gangbare kunststoffen lichtgevoelig zijn. Toch kunnen ze op twee manieren beschermd worden tegen afbraak door licht. Bij één methode wordt de indringdiepte van het licht beperkt door er een pigment in te brengen. Wel bekend is het zwarte polypropyleenbandweefsel, dat zijn zwarte kleur te danken heeft aan het erin aanwezig roet.

Bij een tweede methode bevindt zich in de polymeermassa een hulpstof die populair gezegd nog veel gemakkelijker door licht wordt aangetast dan het polymeer. Daardoor komt het polymeer als het ware "niet aan de beurt". Lichtbestendigheid is dan ook niet in eerste instantie een eigenschap van het polymeer maar hangt in belangrijke mate af van kwaliteit en kwantiteit van de gebruikte hulpstoffen.

Een soortgelijk verhaal geldt voor de inwerking van zuurstof en ozon op veel rubberachtige materialen.

De meeste kunststoffen hebben de laatste 20 jaar enorme verbeteringen ondergaan. Bovendien zijn diverse nieuwe polymeertypen in produktie gekomen. Desondanks bestaat het polymeer dat "alles kan" niet, het heeft nooit bestaan en zal ook nooit komen. Omgekeerd gezien zou zo'n produkt ook economisch onhaalbaar zijn.

Er is juist een veel grotere differentiatie ontstaan in produkten met alle hun specifieke mogelijkheden. Het mogelijke toepassingsgebied is daarmee veel omvangrijker geworden, echter de problemen om een juiste keuze voor een bepaalde toepassing te doen, zijn eveneens vergroot.

Of anders gezegd: om een economisch goed en technisch verantwoord gebruik van kunststoffen te maken wordt een gedetailleerde analyse van de invloeden waaraan het materiaal wordt bloot gesteld van steeds groter belang, naast een goede karakterisering van de mogelijkheden en de beperkingen van eventueel toe te passen materialen. Dat laatste zult u wellicht verwachten van de producenten. Op de problemen die zich daarbij voordoen kom ik nog terug, terwijl u bovendien moet bedenken dat de meeste producenten slechts een beperkt pakket van materialen voeren en de voorlichting nauwelijks vrij kan zijn van commerciële aspecten. De ontwerper valt daarbij de eer te beurt ook de beperkingen van een produkt naar waarde te taxeren en een keuze te doen.

Daar komt bij dat van vele problemen geen goede analyse beschikbaar is, en de bepalingsmethodieken van de eigenschappen vaak mijlen ver afstaan van de in de praktijk optredende omstandigheden.

3 PRODUKTEN VAN KUNSTSTOFFEN

Al pratende ben ik eigenlijk al overgestapt naar de produkten welke van kunststoffen worden vervaardigd.

In vele gevallen worden de eigenschappen van het materiaal als gevolg van het produkt-vervaardigingsproces aanzienlijk gewijzigd, in het algemeen verbeterd. Hierbij dient gedacht te worden aan processen als verspinnen, extruderen, maar ook aan warmtebehandelingen, verstrekken etc.

Bij deze processen worden vooral de fysische eigenschappen veranderd in een mate die sterk afhangt van het proces en de materiaaleigenschappen van de gebruikte polymeren. Bovendien worden de produkten meestal anisotroop d. w. z. dat de eigenschappen in verschillende richtingen verschillen.

Veel processen leveren slechts halffabrikaten op die nog verwerkt moeten worden tot eindprodukten. Daarbij dient gedacht te worden aan de productie van weefsels, vliezen, samengestelde materialen, etc.

Ook de eigenschappen van deze produkten kunnen weer zeer sterk verschillen van de eerder genoemde halffabrikaten.

Als bedacht wordt dat vele polymeren zich voor verschillende processen lenen is het duidelijk dat de verscheidenheid aan eindprodukt-eigenschappen nog aanzienlijk groter is dan de verscheidenheid aan basismaterialen.

4 FUNKTIESPLITSING DOOR MIDDEL VAN SAMENGESTELDE PRODUKTEN

Ondanks de grote variëteit aan mogelijkheden welke ik u zojuist geschilderd heb, blijkt steeds meer dat met één enkel materiaal toch niet volledig aan de te stellen eisen kan worden voldaan, althans niet op een financieel aantrekkelijke wijze. Dit brengt met zich mee dat steeds meer samengestelde produkten op de markt komen. In enkele voorbeelden wil ik u de aantrekkelijkheid daarvan duidelijk maken.

- Wilt u zo goedkoop mogelijk "sterkte" hebben dan blijkt de prijs per eenheid van sterkte veruit het laagste te zijn bij garens en dus ook bij weefsels.
- Als u deze weefsels ook nog waterdicht wilt laten zijn, kan dat min of meer door zeer dicht te weven. Dit brengt echter hoge kosten met zich mee, terwijl wa-

terdichtheid zeer goed en veel goedkoper bereikt kan worden met goedkope polytheensoorten en soms nóg veel goedkoper met andere materialen (bijv. bitumen en harsachtige materialen).

- Van polytheen moet u echter weer weinig resistentie tegen beschadigingen verwachten tenzij u het materiaal zeer dik en daarmee duur en onhandelbaar maakt.
- De prijs per oppervlakte-eenheid filterwerking ligt bij vliezen verreweg het laagst.
- Wilt u deze vliezen ook een sterktefunctie geven, dan kan dat door ze zeer dik te maken. De sterkte wordt dan per eenheid weer duur betaald.

Het gevolg is dan ook, dat in sommige gevallen het economisch aantrekkelijk is de verschillende functies die een produkt moet vervullen te realiseren door het produkt uit diverse samenstellende delen op te bouwen. We spreken dan over functiesplitsing.

Het is een middel om hoge overall-eigenschappen te realiseren tegen relatief lage kosten. Ik wil u enkele voorbeelden geven.

- Bij dubbele polytheenfolies met daartussen een legsel van gesponnen garens of bandgarens wordt de dichtheid verkregen door het folie, de sterkte door de garens. Een dergelijke combinatie is goedkoper dan een zodanig dik folie dat de overeenkomstige sterkte wordt bereikt.
- Bij zgn. spunbonded vliezen wordt de sterkte opgevoerd door de draden op de onderlinge raakpunten aan elkaar te lassen.
- Waterdichte membranen met weefselwapening, bijv. gewapende butylfolies, PVC-folies, bitumenfolies etc, hebben een treksterkte die beduidend gunstiger ligt dan die van de overeenkomstige ongewapende folies.

Met een uitstapje naar de verpakkingindustrie noem ik nog de meerlagige folies die èn dampdicht èn seelbaar èn kookbestendig moeten zijn.

Voor u waarschijnlijk niet zo belangrijk maar bijzonder illustratief is de antiworteldoorgroeiende functie van zeer dunne polyesterfolies.

Met dikten van 10 tot 20 micron zijn deze folies al in staat de doorgroei van riet te voorkomen. Van doorslaggevend belang is hierbij de hoge E-modulus in de beginfase van de rek. Deze folies kunt u het beste vergelijken met het dunne doorzichtige folie dat om uw sigarettenpakje zit. Ik zou u een dergelijke folie natuurlijk niet kunnen aanbevelen voor een waterdichte bekleding, maar opgenomen in een bitumineus membraan of een meerlagig folie bent u voor enkele dubbeltjes per vierkante meter van een lastig probleem af wat u bijvoorbeeld met een enkelvoudig polytheenfolie van een paar honderd micron niet bereikt.

5 BEPALINGSMETHODIEKEN VAN EIGENSCHAPPEN VAN KUNSTSTOFFEN GERICHT OP TOEPASSING IN DE CIVIELE TECHNIEK

Vele kunststoffen zijn in eerste instantie op de markt gekomen als vervangingsmiddel voor bestaande sterk verwante materialen.

Ik doel hierbij uiteraard op de produkten van de textiel-industrie. Als gevolg hiervan zijn ook veel beproevingsmethoden van de textiel-industrie overgenomen, hetgeen uiteraard voor de hand liggend was.

Minder voor de hand ligt het feit dat veel kunststoffen het terrein der civiele techniek zijn binnen getreden met hun textielnormen, terwijl nog beproevingsmethoden worden gehanteerd, waarvan de civiel ontwerper zich zou moeten afvragen welke waarde die voor hem hebben. Daarom wil ik enkele beproevingsmethoden de revue laten passeren. Als eerste zou ik de beproeving van de invloed van het milieu willen noemen. De beproevingsmethoden voor de invloed van lucht, licht, vocht en mikro-organismen zijn vrij ver ontwikkeld en leveren praktische resultaten op, die doorgaans betrekking hebben op ongerekte ma-

terialen. Werken deze invloeden op het materiaal in als het in enigszins gespannen (gerekte) toestand verkeert dan kan de resistentie drastisch teruglopen! Men noemt dergelijke verschijnselen spanningscorrosie. Meestal hebben ze te maken met bepaalde kristallisatieverschijnselen of ketenbreuk van de polymeermolekulen.

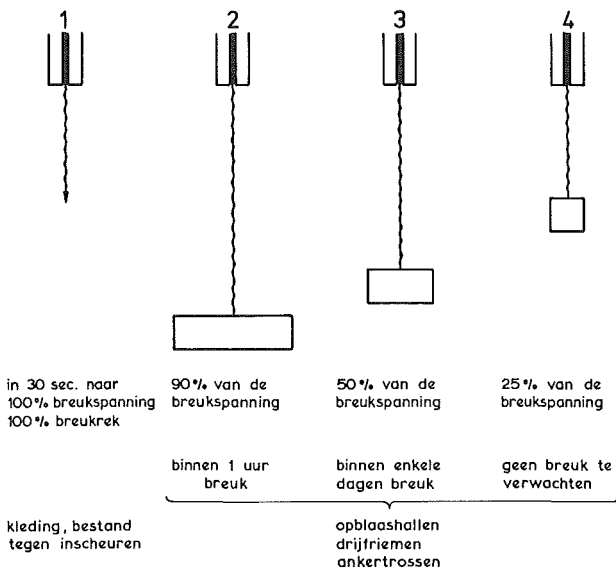
Vooraf bij aanwezigheid van chemicalieën kan spanningscorrosie soms sterk optreden. Onderzoek naar dit soort verschijnselen is tijdrovend, moeilijk te extrapoleren maar vooral ook kostbaar. Er wordt in de vakliteratuur vrij regelmatig over gerapporteerd. Een duidelijk beeld is echter nog niet voorhanden, mede als gevolg van het feit dat dit soort onderzoeken vaak wordt gedaan door producenten van produkten ter ondersteuning van hun verkoop. Tenslotte moet gewaarschuwd worden voor testmethoden waarbij de resultaten van enkele uren geëxtrapoleerd worden naar tientallen jaren. Dit soort technieken is goed voor bedrijfscontrole, om na te gaan of het produkt in de loop der produktie niet wezenlijk verandert, maar niet voor karakterisering van langeduur eigenschappen van materialen of produkten. Het risico is te groot dat het mechanisme van de veroudering bij te geforceerde methoden, wezenlijk anders is dan in de praktijk. Wat je in zo'n geval doet is dan ook een ander verschijnsel extrapoleren, met alle mogelijke gevolgen van dien. Het effect van verouderingen wordt doorgaans bepaald aan de hand van de achteruitgang van één of meer fysieke parameters, in veel gevallen treksterkte en rek. Als gevolg hiervan zijn de resultaten niet meer waard dan datgene wat de gebruikte parameters zelf waard zijn.

Daarmede zijn we dan automatisch bij de meetmethodieken van deze parameters beland. Zoals ik u in het begin noemde worden hiervoor nog veel textiel-technische methoden toegepast.

Om u een voorbeeld te noemen:

Treksterkte en rek van technische garens worden bepaald bij een relatieve vochtigheid van 65% en 20°C en met een zodanige snelheid dat de breuk in ca. 30 seconden tot stand wordt gebracht.

Ik daag u uit mij een civieltechnische omstandigheid te noemen waarbij aan deze voorwaarden voldaan wordt. Dan bij het gebruik van de resultaten van bovengenoemde testen ernstige fouten kunnen worden gemaakt wil ik u demonstreren. (als voorbeeld zijn nylon en polyester weefsels genomen). Bij huishoudelijk gebruik vormen de resultaten een redelijke maat voor de sterkte van kleding, stoffering, etc. Links in figuur 5 is de beproevingsmethode schematisch aangegeven.



Figuur 5

Gaan we naar rechts dan zien we beproevingsmethoden welke beter bij andere praktijkomstandigheden zouden passen maar welke nog in min of meer experimenteel stadium zijn.

U ziet dat u voor een langeduurbelasting slechts op een kwart van de sterkte mag rekenen. Dit soort gevallen doet zich voor als u over belastingen praat zoals ze bij opblaashallen, drijfriemen en ankerrossen optreden. Vooral bij opblaashallen is dit iets waarmee ten aanzien van bepaalde zwaarbelaste punten rekening gehouden moet worden.

Mocht u in het verleden van dit soort materialen gebruik hebben gemaakt met een veiligheidsfactor lager dan 4 dan zou het nu tijd worden om u grote zorgen te gaan maken, ware het niet dat uw belastingspatroon (in de civiele toepassing) waarschijnlijk nog anders ligt.

Wordt niet de spanning opgelegd, waarbij de rek zich vrij aanpast, maar juist de rek opgelegd waarbij de spanning zich vrij aanpast, dan ontstaat het beeld van figuur 6.

Dit wordt bereikt door bijvoorbeeld het rek-veroorzakende lichaam bij een bepaalde rek te ondersteunen.

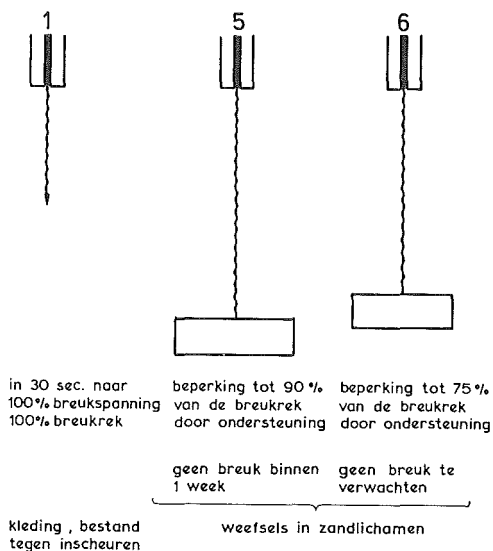
De laatste twee plaatjes samengevat geeft het volgende overzicht (zie fig. 7, pag. 66).

Vergelijkt u 2 en 5 dan ziet u een zeer groot verschil in levensduur als gevolg van een anderssoortige belasting, alhoewel de optredende krachten en rekken althans in de beginfase van dezelfde grootte-orde zijn.

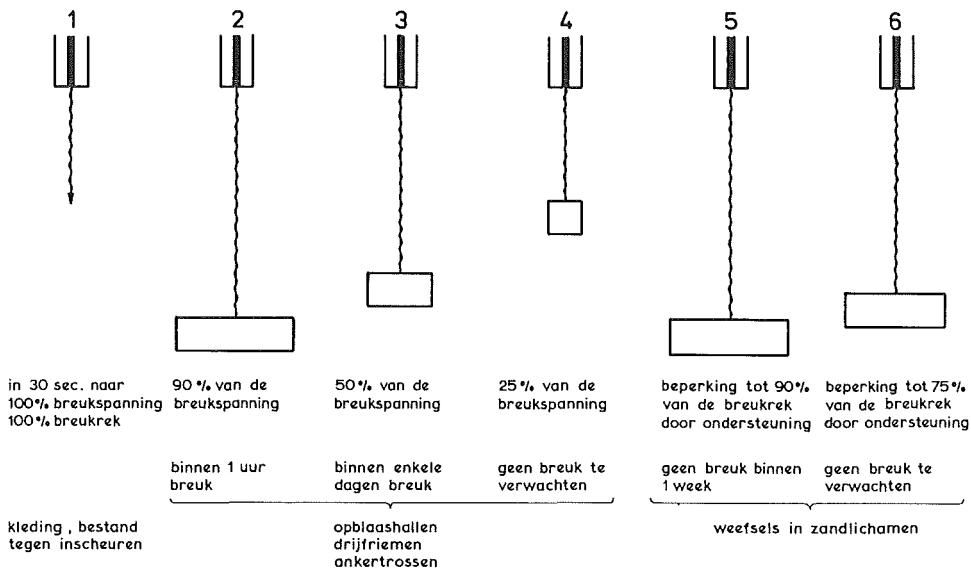
Belasting volgens schema 5 en 6 is in de meeste gevallen in civiele toepassingen aan de orde waar de deformatie door zettingen wordt bepaald.

Een tweede voorbeeld is de grote rek van 400 - 500 - 600 en zelfs 700% die vooral bij folies wordt opgegeven. Dit zijn getallen die vaak elk kritisch denken in één klap vernietigt, ervan uitgaande dat bij zulke rekken het niet mogelijk moet zijn dat het materiaal ooit kapot gaat. . . . mits er een garantie is dat deformaties goed over het gehele oppervlak gespreid worden en daar zit de levensgrote adder.

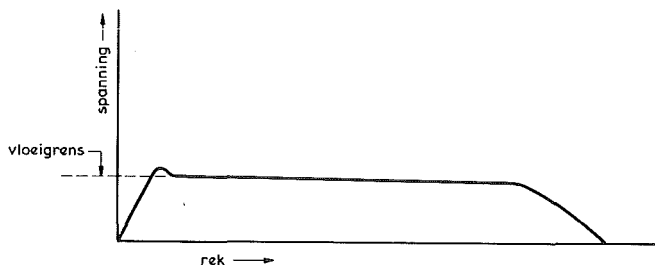
Veel folie materialen vertonen het spanningsrekdiagram van figuur 8. Bevindt een folie zich in een lichaam dat aan zetting onderhevig is (waarin derhalve zettingsverschillen optreden) dan moet de wrijving die het folie in het lichaam ondervindt zo gering zijn dat de kracht, nodig om het folie door het lichaam te verplaatsen, kleiner is dan de spanning behorende bij de vloeigrens. Zodra hieraan, ook al is dat plaatselijk, niet voldaan is, zal de grote potentiële rek niet benut kunnen worden, waardoor breuk op zal treden zelfs bij geringe deformaties, temeer daar



Figuur 6



Figuur 7



Figuur 8

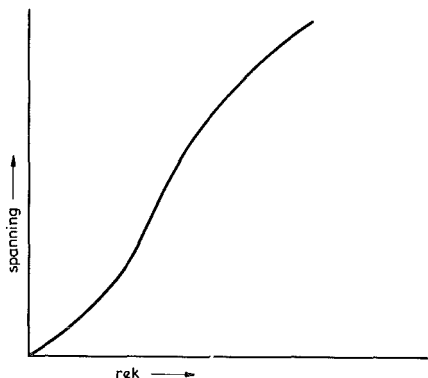
ongekontroleerde vloei bepaald niet voldoet aan het ideale beeld zoals in het plaatje gegeven is en waarop de hoge rekcijfers gebaseerd zijn.

Veel gunstiger ligt dit bij materialen die een progressief spanningsrekdiagram vertonen zoals aangegeven in figuur 9.

Weliswaar geldt dezelfde basisvoorwaarde.

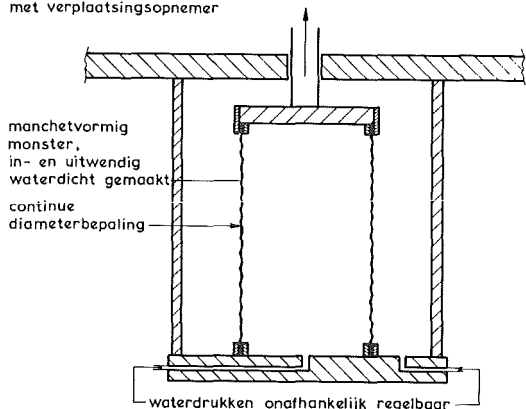
De breukspanningen van dit soort materialen liggen doorgaans hoger, terwijl weinig of geen vloeiverschijnselen optreden waardoor het praktisch gedrag aanzienlijk minder afwijkt van de testresultaten. In een dergelijk geval zal, alhoewel de breukrek, gemeten in het laboratorium beduidend lager ligt, een veel betere spanning- en rekspreiding optreden dan in het geval van de vorige figuur, waardoor de kans op breuk aanzienlijk geringer is.

Tenslotte wil ik u nog wijzen op het feit dat alle cijfermateriaal verkregen wordt uit ééndimensionale metingen. Over de dwars contractie bekommeren we ons helemaal niet, hetgeen vooral bij materialen met een vloeigrens een zeer groot manko is maar ook bij andere materialen, omdat de belasting in civiele toepassingen in het vlak van het materiaal doorgaans alzijdig is. Gelukkig wordt ook op dit gebied gedokterd aan een nieuwe meetmethodiek. 2)3)



Figuur 9

plunjer (verplaatsing instelbaar)
met verplaatsingsopnemer



Figuur 10

In figuur 10 is een zeer vereenvoudigd schema weergegeven van deze nieuwe meet-techniek.

Van het materiaal (momenteel nog uitsluitend vliezen en weefsels) wordt een ronde manchet gemaakt welke in- en uitwendig waterdicht wordt gemaakt. Deze wordt in het apparaat gemonteerd. Binnen het monster en in de buitenwand kunnen de drukverlopen onafhankelijk van elkaar en gecontroleerd opgevoerd worden.

Het zal duidelijk zijn dat daarmee verticale en radiale spanningen naar believen te regelen zijn.

Door meting van de deformaties kunnen spanningsrekresultaten verkregen worden bij gelijktijdige belasting in de twee hoofdrichtingen van het materiaal.

Inmiddels is gebleken dat de resultaten van dit soort metingen beduidend kunnen afwijken van die van de konventionele metingen.

Tot nog toe heb ik slechts gesproken over kunststoffen voor civieltechnische toepassing.

Niet gesproken heb ik over de mogelijkheid om constructies te wijzigen gebruikmakend van de mogelijkheden die kunststoffen bieden. Alhoewel ik niet in staat ben dit gebied te overzien, heb ik de indruk dat de mogelijkheden zeker nog niet uitgeput zijn.

Een tweede aspect waarover ik niet gesproken heb dat echter van grote betekenis kan zijn is het volgende:

Veel gegevens omtrent kunststoffen worden verkregen door gebruik in andere sectoren waar de omstandigheden en de instelling van mensen anders kunnen zijn.

Degene die kunststoffen in de civiele techniek aanbeveelt moet zich realiseren dat het produkt niet met pincet en penseel wordt behandeld, terwijl de ontwerper zich moet realiseren dat hij bij gebruik van kunststoffen soms voorzorgen moet nemen om een succesvolle toepassing mogelijk te maken.

Ook dit soort aspecten dient wel degelijk zowel in technische als economische zin goed bekeken te worden.

Resumerend moet gesteld worden, dat onderzoek en kennis omtrent de toepassing van kunststofprodukten in de civiele techniek nog in de kinderschoenen staan. De omvang van het gebruik van kunststoffen in de civiele techniek, maar vooral de mogelijke omvang wettigen m. i. een goede, min of meer fundamentele aanpak.

Ik heb u in het begin gemeld uit welke gezichtshoek ik spreek. Het zal u duidelijk zijn, dat mijn kennis niet puur uit boekjes komt. Zij vloeit mede voort uit een intensief contact met een bekende kunststoffenindustrie in het oosten des lands, een contact, dat er juist op is gericht een stuk van het gat dat er bestaat tussen kunststofproducent en in dit geval civiele consument op te vullen, een contact waardoor ik bijvoorbeeld ditmaal in staat ben geweest u iets meer te vertellen omtrent datgene, wat u van de producent kan en mag verwachten.

Mijne heren, als u verwacht had van mij oplossingen voor problemen te vernemen, dan heb ik u zeker teleurgesteld.

Ik neem aan, dat het u duidelijk is, dat het geven van oplossingen voor goed gedefinieerde problemen al moeilijk is. Het geven van algemene oplossingen ligt dan ook niet in de lijn der verwachtingen.

Ik hoop u de overtuiging te hebben gegeven, dat voor veel problemen een kunststofoplossing te vinden is. Of deze economisch aantrekkelijk is, zal van geval tot geval kunnen variëren.

Een eerste vereiste is een goede definiëring (in fysische termen) van het probleem. Dat zal vanuit uw discipline gerealiseerd moeten worden.

Intensief onderzoek en overleg met kunststofdeskundigen zullen dan tot een optimale keuze kunnen leiden.

In deze laatste zinnen van mijn voordracht zitten zowel het venijn als de mogelijkheden van de toepassing van kunststoffen in de waterbouw.

LITERATUUR

- 1 Corrosive aspects of fatigue
G. J. Lake
Rubber Age pag. 30 august (1972).
- 2 L'emploi des textiles dans les travaux de terrassement et de drainage.
E. Leflaive, J. Puig.
Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées.
69 - jan. febr. (1974).
- 3 Apparaat voor de bepaling van krachtrekkrommen aan gelijktijdig in twee onderling loodrechte richtingen belaste vliezen en weefsel (Manchet methode).
J. van Leeuwen.
Akzo CTJJN 74/13 (1974).

Filtereigenschappen van kunststofweefsels

ir. T. van der Meulen

INHOUD

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Inleiding | 71 |
| 2 | Indeling van kunststoffilters | 71 |
| 3 | Karakterisering van de filteropening | 76 |
| 3.1 | Inleiding | 76 |
| 3.2 | Uitvoering van de zeefanalyse | 76 |
| 3.3 | Invloed van de zeef tijd op de karakteristieke openingsgetallen | 80 |
| 4 | Karakterisering van de waterdoorlatendheid | 81 |
| 4.1 | Inleiding | 81 |
| 4.2 | Meetopstelling | 82 |
| 4.3 | Bepaling van de karakteristieke grootheden voor de waterdoorlatendheid | 82 |
| 5 | Onderzoek naar de zanddichtheid bij een statische belastingstoestand | 84 |
| 5.1 | Inleiding | 84 |
| 5.2 | Proefopstelling | 85 |
| 5.3 | Analyse van de proefresultaten | 87 |
| 6 | Onderzoek naar de zanddichtheid bij een dynamische belastingstoestand | 89 |
| 6.1 | Inleiding | 89 |
| 6.2 | Proefopstelling | 89 |
| 6.3 | Analyse van de proefresultaten | 89 |
| 7 | Onderzoek naar het dichtslaan van kunststoffilters | 92 |
| 7.1 | Inleiding | 92 |
| 7.2 | Proefopstelling | 92 |
| 7.3 | Analyse van de proefresultaten | 93 |
| 8 | Het dichtslibben van kunststoffilters | 96 |
| 9 | Chemische en mechanische eigenschappen van kunststoffilters | 96 |
| 10 | Conklusies | 97 |
| 11 | Geraadpleegde literatuur | 97 |
| Tabel 1: | Toegepaste zandmengsels bij onderzoek naar de zanddichtheid bij statische belasting | 99 |

1 INLEIDING

Kunststoffen zijn organische verbindingen met een zeer groot molekulgewicht, die uit vele gelijke atoomgroepen zijn opgebouwd (makromoleculaire stoffen) en òf door chemische omzettingen òf uit geheel synthetische stoffen zijn verkregen. De laatste jaren worden steeds meer uit kunststof vervaardigde filters in bodem- en oeverbeschermde konstrukties toegepast. Zij hebben tot doel de zanddichtheid van de verdedigingskonstrukties te waarborgen. Bovendien geldt als eis voor de verdedigingskonstruktie en dus ook voor het daarin verwerkte filter dat de waterdoorlatendheid voldoende is teneinde geen overdrukken onder de konstruktie te kunnen veroorzaken. In hoeverre de filters aan het gestelde doel voldoen hangt af van:

- 1 de korrelsamenstelling van het te beschermen zand
 - 2 de samenstelling van het filter
 - 3 de stromingskondities
 - 4 de opbouw van de verdedigingskonstruktie met inbegrip van het filter
- Op grond van de punten 3 en 4 zal het duidelijk zijn dat niet van de zanddichtheid van een bepaald filter kan worden gesproken, maar van de zanddichtheid onder bepaalde omstandigheden.

Medio 1971 is het Waterloopkundig Laboratorium, in opdracht van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat, gestart met een fundamenteel onderzoek naar de waterloopkundige karakteristieken van kunststoffilters.

Het doel van het onderzoek is tweeledig:

- 1 Het bij verschillende omstandigheden bepalen van een betrekking tussen kenmerkende grootheden van de kunststoffilters samenhangend met de grootte van de openingen enerzijds en de korrelsamenstelling van het te beschermen zandlichaam anderzijds, waarbij de filters aan de zanddichtheids- en waterdoorlatendheidseis voldoen.
- 2 Ontwerpen van eenvoudige standaardmethoden voor de bepaling van de kenmerkende grootheden van de kunststoffilters.

Het onderzoek is als volgt opgezet:

- 1 karakterisering van de filteropening
- 2 bepaling van de waterdoorlatendheid
- 3 bepaling van de zanddichtheid bij statische belastingstoestanden
- 4 bepaling van de zanddichtheid bij dynamische belastingstoestanden
- 5 onderzoek naar het dichtslaan van kunststoffilters

Dit verslag geeft een overzicht van de toegepaste methoden van onderzoek en de daarbij verkregen resultaten.

Analoge onderzoeken worden onder anderen verricht in West-Duitsland [3] , [4] en de Verenigde Staten [8] .

2 INDELING VAN KUNSTSTOFFILTERS

De kunststoffilters die op de markt worden gebracht zijn uiterlijk kenmerkend verschillend. Verschillende indelingen zijn mogelijk. Bij dit onderzoek zijn de kunststoffilters ingedeeld naar de structuur van de draden en hun samenstelling. Vijf groepen zijn onderscheiden, te weten:

- 1 gazen
- 2 bandweefsels
- 3 matten
- 4 doeken
- 5 vliezen

Gazen zijn geweven van dunne, ronde enkelvoudige draden,—zogenaamd rondgaren. Deze draden zijn veelal vervaardigd uit polytheen of polypropeen. Het weefsel kenmerkt zich door een zeer regelmatig openingspatroon en het grote openingspercentage per oppervlakte-eenheid. Figuur 1 en 2 geven een voorbeeld van een gaas.

Bandweefsels onderscheiden zich van gazen door de typisch platte vorm van de draden, zie figuur 3. Iedere draad bestaat uit een (gering) aantal vezels die uit polypropeen- of polytheenfolie worden gesneden, zie figuur 4. Door de platte vorm van de draden is het openingspercentage gering.

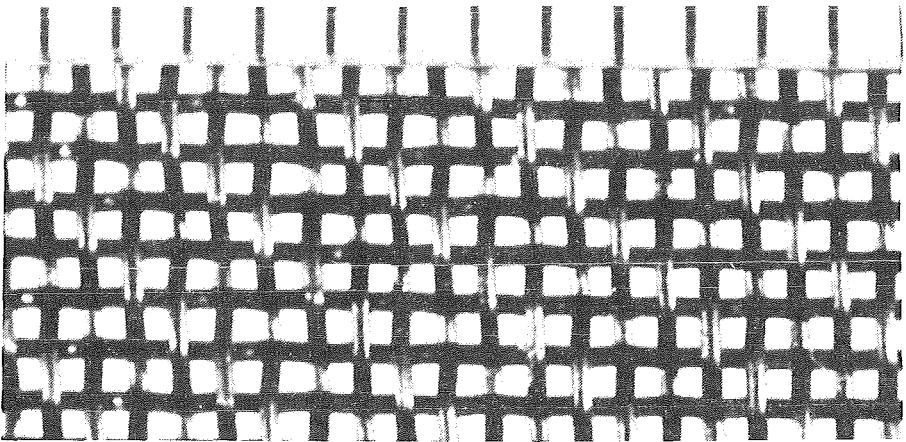
Bij matten zijn de draden vervaardigd uit een groot aantal zeer smalle vezels. Deze draden hebben in tegenstelling tot bandweefsels een typische ronde vorm. Tegenwoordig worden matten veelal van polypropeen gemaakt. Kenmerkend voor de matstructuur is het onregelmatige openingspatroon. Figuur 5 en 6 geven een voorbeeld van een matstructuur en de opbouw van de draden.

Doeken zijn in het algemeen geweven van nylongaren (polyamide, polyacryl), dat gesponnen is uit zeer fijne vezels. Doekweefsels hebben een geringe dikte en bezitten een geringe stijfheid. Een voorbeeld van een doek is gegeven in figuur 7.

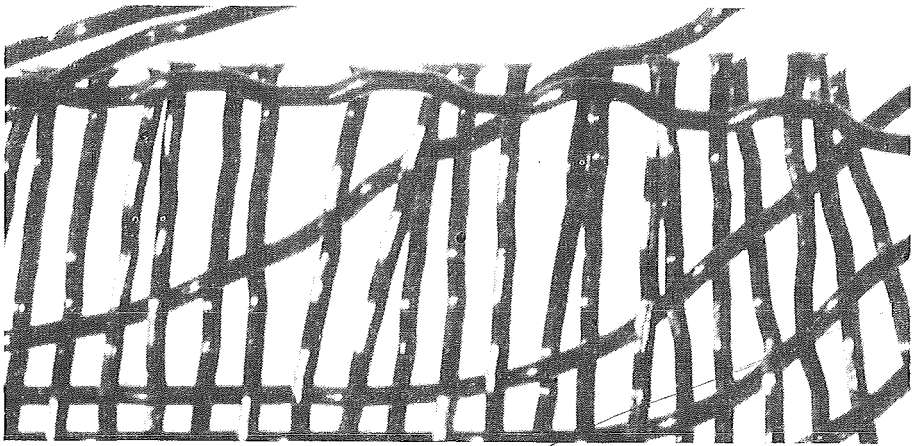
Bij vliezen tenslotte is geen patroon meer waar te nemen; het heeft een zeer warrige structuur, zie figuur 8 en 9. Een aantal vliezen zijn extra verstevigd met een draagweefsel. Het vlies in figuur 10 en 11 is hiervan een voorbeeld.

Het zij vermeld dat ook combinaties van genoemde typen voorkomen.

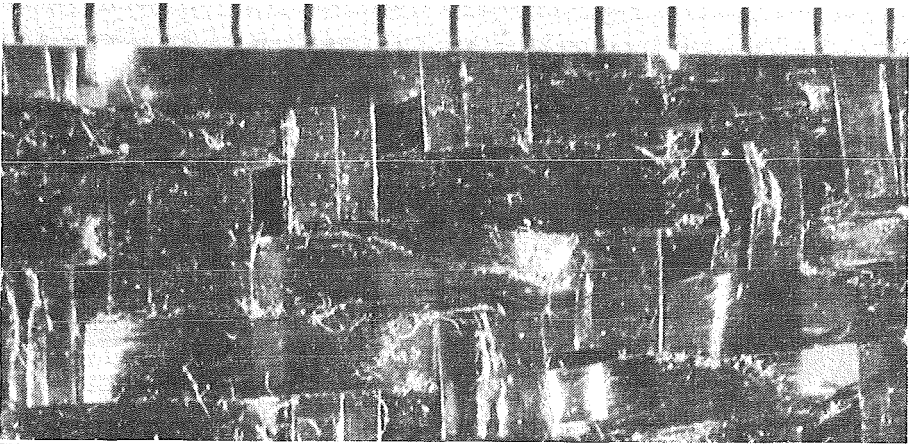
Een uitgebreid overzicht van kunststoffilters die in de waterbouw worden toegepast wordt gegeven door Zitscher [9] ; hierin wordt ook de chemische samenstelling en fysische eigenschappen van kunststoffilters beschreven.



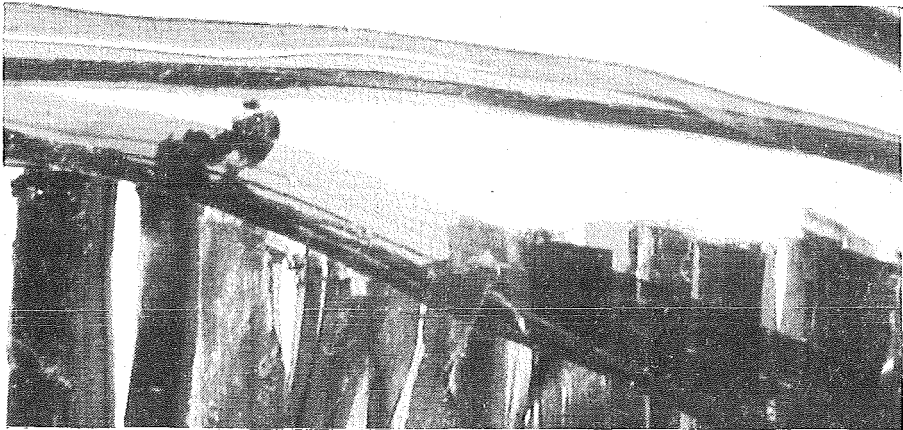
Figuur 1 Gaasstructuur (10 x vergroot)

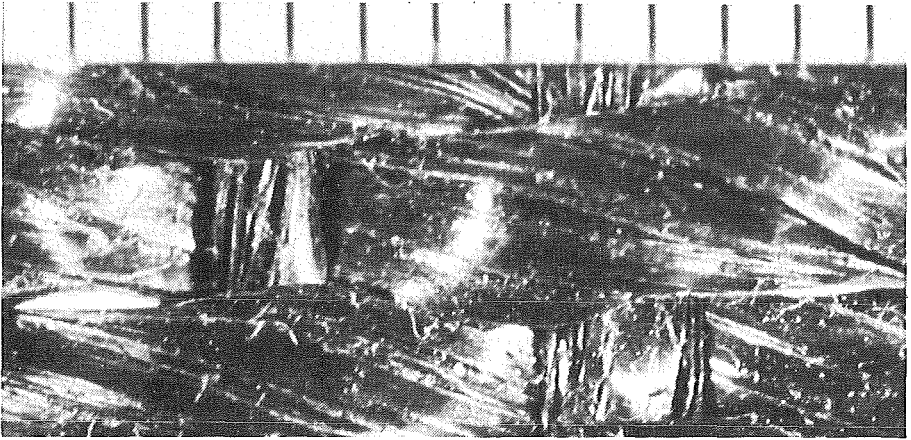


Figuur 2 Detail rondgaren (10 x vergroot)



Figuur 3 Structuur bandweefsel (10 x vergroot)

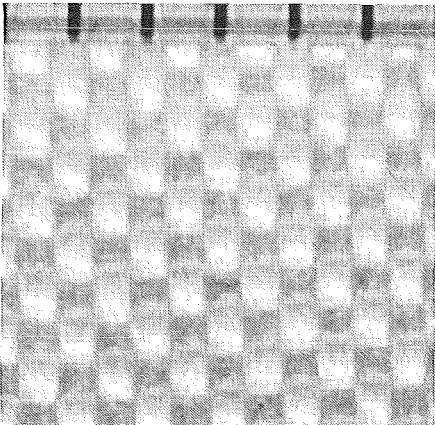




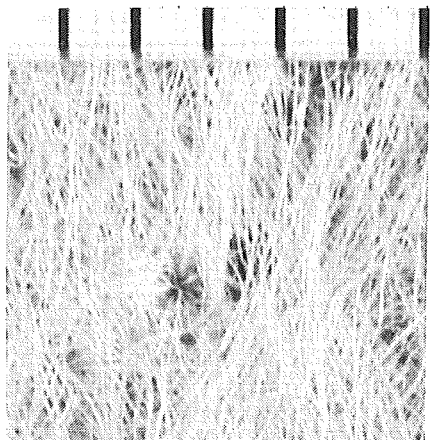
Figuur 5 Matstructuur (10 x vergroot)



Figuur 6 Detail matdraad (10 x vergroot)



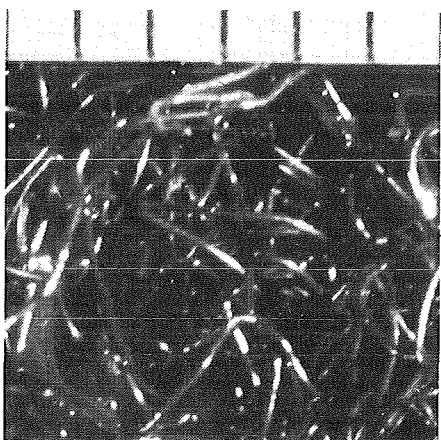
Figuur 7 Detail matdraad (10 x vergroot)



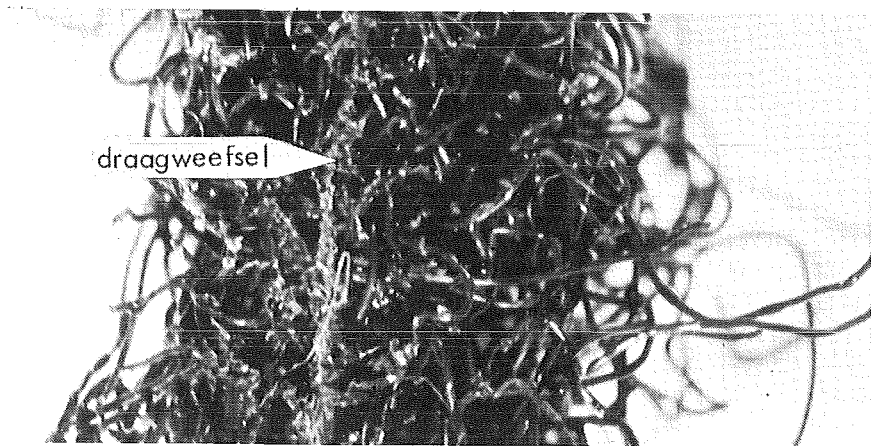
Figuur 8 Bovenaanzicht vlies (10 x vergroot)



Figuur 9 Zijaanzicht vlies (10 x vergroot)



Figuur 10 Bovenaanzicht vlies met draagweefsel (10 x vergroot)



Figuur 11 Zijaanzicht vlies met draagweefsel (10 x vergroot)

3 KARAKTERISERING VAN DE FILTEROPENING

3.1 Inleiding

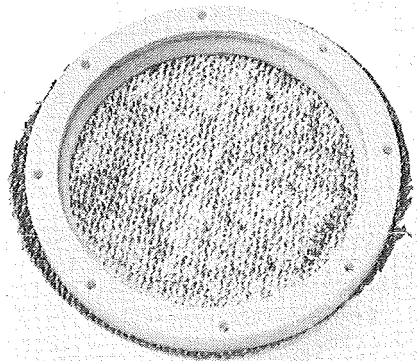
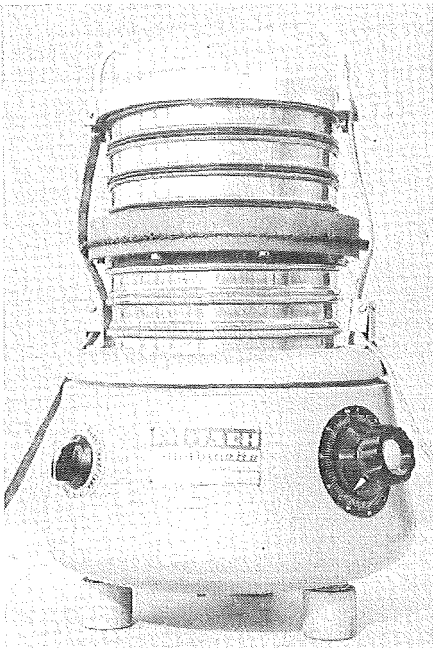
Van de kunststoffilters, die in de waterbouw worden toegepast, vertonen er een aantal een weinig uniform openingspatroon. Het bepalen van de maaswijdte van dit soort filters door middel van lengtemeting is erg moeilijk, terwijl voor filters uit de categorie vliezen een dergelijke procedure in het geheel niet mogelijk is. Teneinde alle kunststoffilters aan dezelfde procedure voor het bepalen van de openingsgrootte te kunnen onderwerpen, is een methode gebruikt, waarbij de weefselopening wordt bepaald voor middel van een zeefanalyse.

3.2 Uitvoering van de zeefanalyse

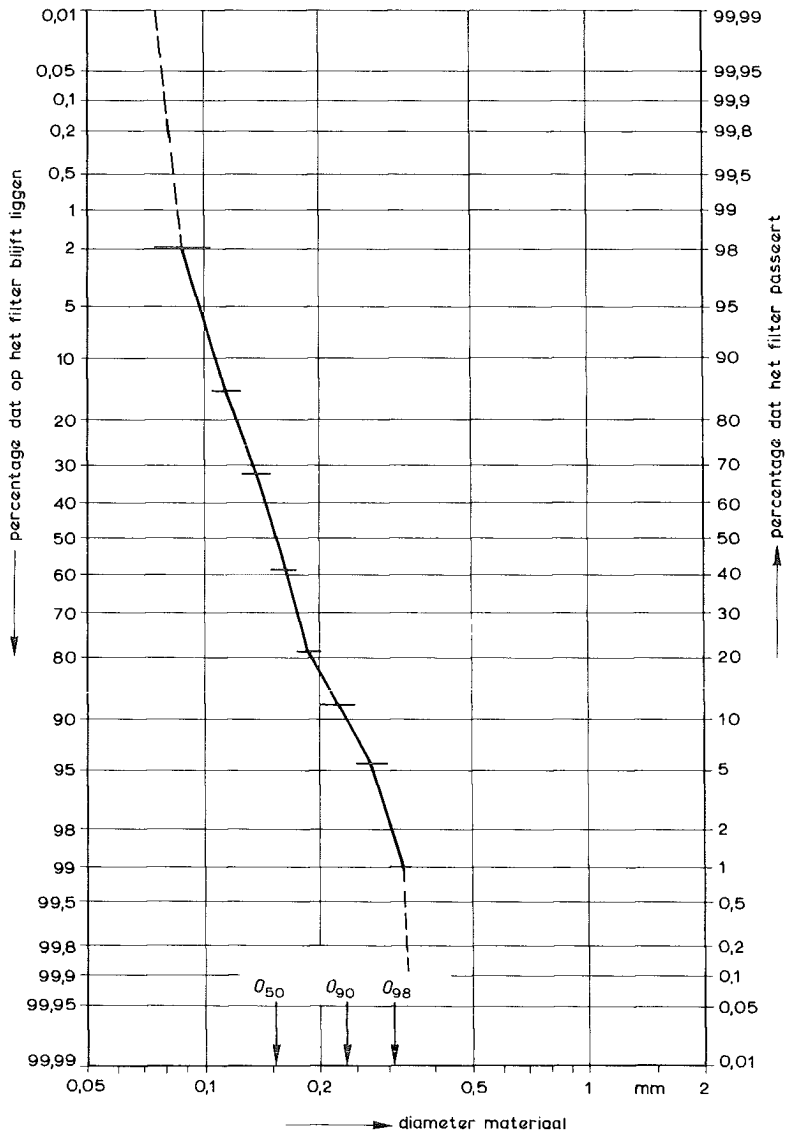
Het filter wordt in een genormaliseerd zeefraam $\varnothing 0,20$ m geplaatst (zie figuur 12) en fungeert als zeef voor een aantal nauw begrensde zeeffrakties. De volgende 20 zandfrakties worden gebruikt:

| | | | | | | | |
|---|-----------|----|-----------|----|-------------|----|-------------|
| 1 | 50 - 75 | 6 | 175 - 200 | 11 | 420 - 500 | 16 | 1700 - 2400 |
| 2 | 75 - 105 | 7 | 200 - 250 | 12 | 500 - 600 | 17 | 2400 - 3400 |
| 3 | 105 - 125 | 8 | 250 - 300 | 13 | 600 - 850 | 18 | 3400 - 4800 |
| 4 | 125 - 150 | 9 | 300 - 350 | 14 | 850 - 1200 | 19 | 4800 - 6800 |
| 5 | 150 - 175 | 10 | 350 - 420 | 15 | 1200 - 1700 | 20 | 6800 - 9600 |

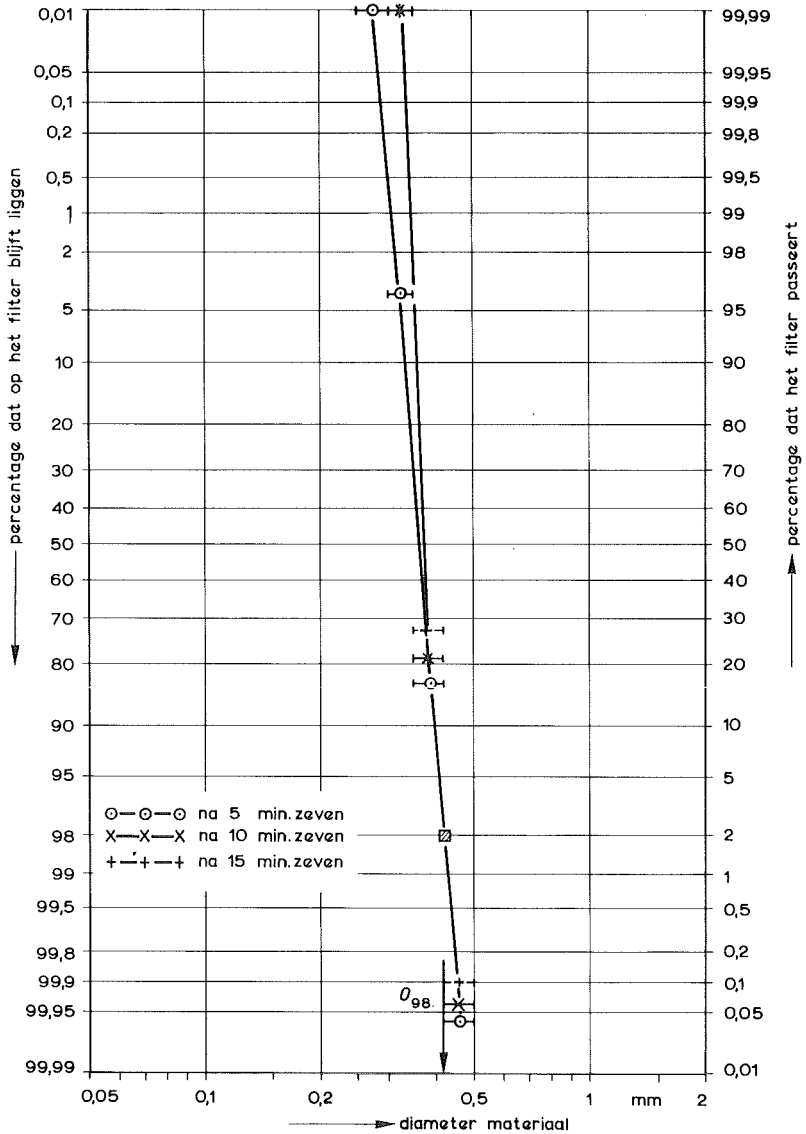
(Waarden in mikrons; 1 mikron (μ) = 10^{-6} m).



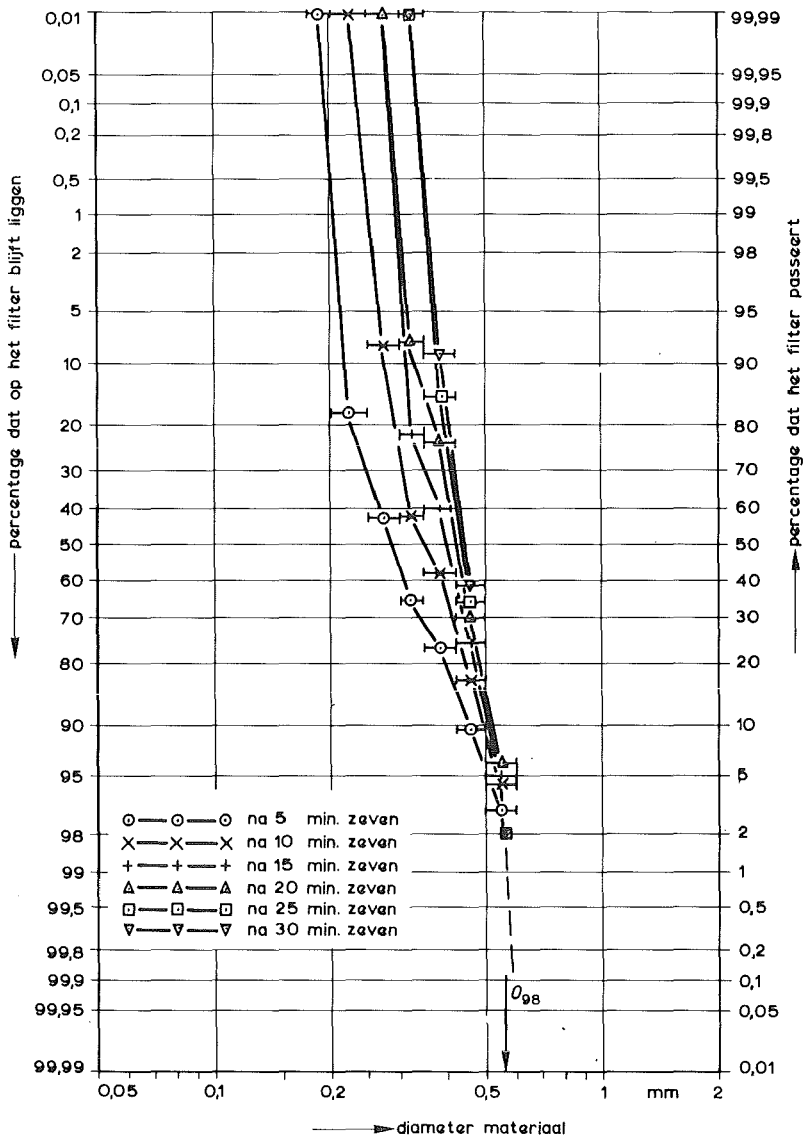
Figuur 12 Proefopstelling voor de bepaling van de openingskarakteristieken van kunststoffilters



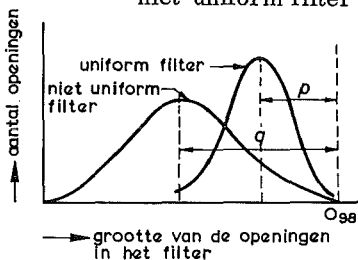
Figuur 13 Zeefanalyse



Figuur 14 Effekt zeef tijd op de ontwikkeling van de zeefkromme voor een uniform filter



Figuur 15 Effekt zeef tijd op de ontwikkeling van de zeefkromme voor een niet-uniform filter



Schets a Verdeling openingsgrootte

Met de bovengenoemde zeef wordt van een reeks opeenvolgende zandfrakties (in de orde van grootte van de filteropening), per fractie het gewichtspercentage zand bepaald, dat na 5 minuten droog zeven door het filter is gegaan, uitgaande van 50 gram van een bepaalde fractie droog zand. Voor het zeven wordt gebruik gemaakt van een Fritsch Analysette (type 03.002) met een trilfrequentie van 50 Hz en een verticale amplitude (dit is de maximale uitwijking vanuit de middenstand) van 0,75 mm. (Er zij op gewezen dat in sommige instructiebladen bij zeefapparatuur met amplitude tweemaal de maximale uitwijking vanuit de middenstand wordt bedoeld.) Op deze wijze wordt van het filter een zeefkromme bepaald, die een indruk geeft van de grootte en de regelmatigheid van de openingen. De verkregen zeefkromme wordt gekarakteriseerd door de volgende grootheden:

- 0_{50} , komt overeen met de gemiddelde zanddiameter van de fractie, waarvan 50% door het filter gaat
- 0_{90} , komt overeen met de gemiddelde zanddiameter van de fractie, waarvan 10% door het filter gaat
- 0_{\max} , komt theoretisch overeen met de zanddiameter die de grens vormt tussen de fractie, waarvan nog een gedeelte door het filter gaat en de fractie die er niet meer doorheen gaat.

De maximale opening aldus gedefinieerd stuit op praktische bezwaren:

- 1 0_{\max} is geen "exacte" maat, doordat zeeffrakties met een bepaalde bandbreedte worden toegepast. Zij is kleiner of gelijk aan de bovengrens van de zandfractie met de grootste gemiddelde zanddiameter die door het filter gaat. Hoe breder de fractieband is, des te groter de afwijking met de werkelijke maximale opening kan zijn.
- 2 de bepaling van de gewichtspercentages zanddoorgang kleiner dan 1% van het oorspronkelijke materiaal, impliceert een zeer grote nauwkeurigheid, die slechts schijnbaar is voor de gevolgde procedure.

Op grond van deze overwegingen wordt als praktische maat voor de karakterisering van de grootste openingen die waarde aangemerkt, die overeenkomt met de gemiddelde zanddiameter van de fractie, waarvan 2% door het filter gaat, 0_{98} . In figuur 13 wordt een voorbeeld gegeven van een zeefkromme en zijn de 0_{50} , 0_{90} en 0_{98} aangegeven.

3.3. Invloed van de zeef tijd op de karakteristieke openingsgetallen

Teneinde het effect van de zeef tijd op de in paragraaf 3.2 genoemde grootheden 0_{50} , 0_{90} en 0_{98} te onderzoeken is voor een aantal filters de ontwikkeling van de zeefkromme met tijdsintervallen van 5 minuten nagegaan. Indien de zeefkromme van 5 minuten als uitgangspunt wordt genomen, blijkt dat bij olopende zeef tijden er een rotatie om 0_{98} plaatsvindt, waarbij de zeefkromme steeds steiler wordt. 0_{98} is het enige punt van de verkregen zeefkromme, dat na 5 minuten zeven praktisch gesproken de eindwaarde heeft bereikt. De ontwikkeling van de zeefkromme in de tijd is voor een tweetal filters weergegeven in figuur 14 en 15. Het is duidelijk, dat, naarmate de zeefkromme verkregen na 5 minuten zeven flauwer verloopt, de verandering van 0_{50} en 0_{90} in de tijd sterker is; vergelijk hiervoor de ontwikkeling van de relatief steile zeefkromme uit figuur 14. met de ontwikkeling van de flauwe zeefkromme uit figuur 15. Ingevoerd wordt nu als maat voor de steilheid van de zeefkromme de faktor $0_{50}/0_{98}$ ($0 < 0_{50}/0_{98} \leq 1$). Deze steilheidsfaktor is een funktie van de weerstand van het weefsel tegen zanddoorgang van de zanddiameters kleiner dan 0_{98} en wel zo dat bij een geringe weerstand de verhouding $0_{50}/0_{98}$ sneller tot 1 gaat naderen.

De weerstand tegen zanddoorgang wordt in het algemeen bepaald door:

- 1 De uniformiteit in de grootte der openingen van het filter
 Bij een niet-uniform filter is het verschil tussen de gemiddelde en de maximale filteropening groter dan bij een uniform filter, zie schets a, pag 79 ($q > p$). Dit houdt in dat er bij een uniform filter relatief meer openingen beschikbaar zijn waarmee korrels in de orde van 0_{98} kunnen worden uitgezeefd. Dit heeft al na een zeer korte zeef tijd een relatief steile zeefkromme tot gevolg.
- 2 De gesommeerde filteropening (dit is het totaal aanwezige oppervlak aan openingen) per oppervlakte-eenheid. Bij filters met een platte brede draad, zoals bijvoorbeeld bandweefsels, is de gesommeerde filteropening klein in vergelijking met filters bestaande uit dunne ronde draden zoals gazen. Bovendien speelt hier het aantal draden of vezels per lengte-eenheid een grote rol.
- 3 De dikte en de structuur van het filter. Een grotere dikte van het filter zal in het algemeen een hogere weerstand tegen zanddoorgang tot gevolg hebben. Dit hangt samen met de structuur van het filter.

In figuur 16 is voor een drietal filters, die representatief zijn voor hun groep, de steilheidsfactor weergegeven als functie van de zeef tijd.

Het blijkt dat de factoren, die de steilheidsfactor beïnvloeden duidelijker worden geaccentueerd bij een korte zeef tijd. Voegen we hierbij het feit dat de 0_{98} reeds na 5 minuten haar eindwaarde heeft bereikt, dan lijkt het zinvol, mede vanuit economisch oogpunt, de zeef tijd van 5 minuten als standaard zeef tijd voor filters te gebruiken.

Op grond van de voorgaande beschouwing, kunnen de groottheden 0_{50} , 0_{90} en 0_{98} als volgt worden geïnterpreteerd:

- 1 De groottheid 0_{98} geeft een praktische benadering van de maximale filteropening.
- 2 De groottheid 0_{50} is een louter kwalitatief (tijdsafhankelijk) gegeven. Dit geldt in mindere mate ook voor 0_{90} .
- 3 De verhouding $0_{50}/0_{98}$ geeft een indruk van de weerstand van het filter tegen zanddoorgang van zanddiameters kleiner dan 0_{98} .

4 KARAKTERISERING VAN DE WATERDOORLATENDHEID

4.1 Inleiding

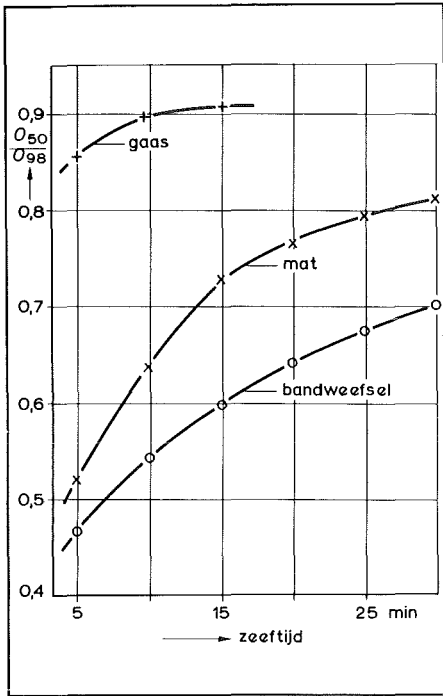
Bij de beschrijving van stroming door poreuze media wordt gewoonlijk gewerkt met de filtersnelheid u_f die gedefinieerd wordt als het debiet per eenheid van het totale oppervlak. De relatie tussen het verhang i , dit is het verval per lengte-eenheid, en de filtersnelheid u_f kan worden voorgesteld door ([2] , [6]):

$$i = b \cdot u_f^n \quad (1)$$

waarbij:

b = weerstandskoefficiënt, in $m^{-n} \cdot s^n$
 n = exponent.

Voor $n = 1$ geeft bovenstaande vergelijking de wet van Darcy weer, die voor de laminaire stromingstoestand geldt, terwijl voor $n = 2$ deze vergelijking het verband tussen filtersnelheid en verhang weergeeft voor volledig turbulente stroming. Voor het overgangsgebied ligt de waarde van n tussen 1 en 2.



Figuur 16 Steilheidsfactor als functie van de zeeftijd

4.2 Meetopstelling

Ter bepaling van de waterdoorlatendheid wordt het filter (proefstuk \varnothing 0,06 m) in een toestel geplaatst zoals weergegeven in figuur 17 en 18. In dit toestel wordt een waterstroom ingesteld, waardoor er een verval over het weefsel ontstaat. De toevoer wordt trapsgewijs opgevoerd, waarbij steeds het optredende verval Δh en het afgevoerde debiet Q wordt gemeten. Het gemeten verval over de weefsels varieerde van 1×10^{-3} tot 1 m, terwijl de stroomsnelheid (Q/F_{filter}) maximaal varieerde van 5×10^{-4} m/s tot 1×10^{-1} m/s. Tevens wordt de watertemperatuur gemeten.

4.3 Bepaling van de karakteristieke grootheden voor de waterdoorlatendheid

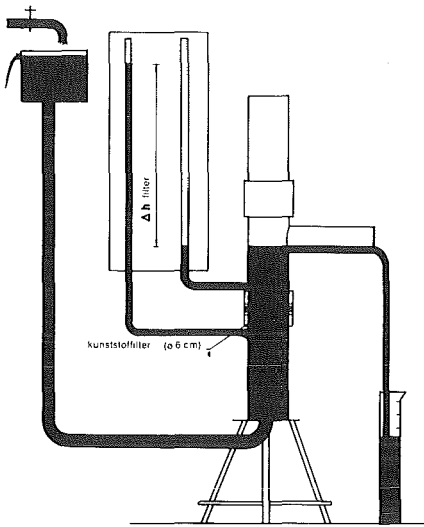
Met de proefopstelling, zoals beschreven in 4.2, wordt niet het verhang i maar het verval Δh gemeten als functie van u_f . De meetresultaten zijn daarom in eerste instantie weergegeven in de vorm:

$$\Delta h = a \cdot u_f^n \quad (2)$$

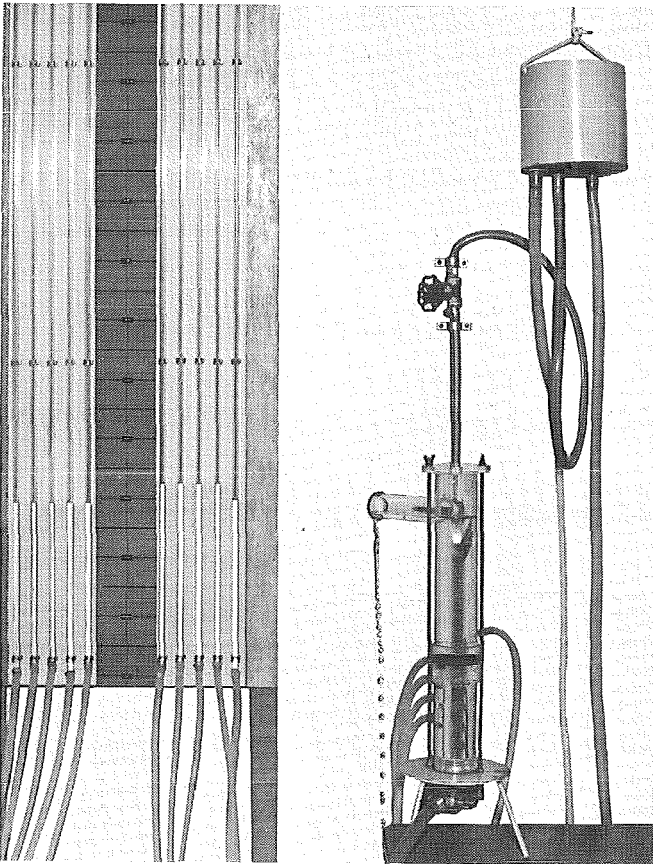
waarin:

$$a = \text{weerstandsfactor in } m^{1-n} \cdot s^n$$

Door de meetresultaten op dubbellogaritmisch papier uit te zetten, kunnen de grootheden a en n eenvoudig grafisch worden bepaald. Na deling van Δh door de dikte van het filter Δs wordt vergelijking (2) teruggebracht tot (1), waarbij $b = a/\Delta s$. Uit de resultaten van de doorlatendheidsproef blijkt, dat binnen de grenzen van het meetbereik de grootheden a , b en n meestal konstanten zijn. Voor die filters, waarbij dit niet het geval is, worden de coëfficiënten bepaald uit de meetresultaten met filtersnelheden $u_c \geq 1 \times 10^{-2}$ m/s.



Figuur 17 Meetopstelling waterdoorlatendheidsproef



Figuur 18 Overzichtsfoto van de meetopstelling voor de bepaling van de waterdoorlatendheid van kunststoffilter

Het duidelijk lokaliseren van bepaalde filtereigenschappen in bovengenoemde koëfficiënten afzonderlijk is niet mogelijk gebleken. Wel geldt dat voor een open filter de grootte van de stromingsweerstand klein is in verhouding met een dicht filter. In figuur 19 is het verhang i_1 voor $u_f = 1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ van een aantal van de onderzochte filters, onderscheiden naar groep, weergegeven als functie van de karakteristieke maat voor de filteropening 0_{90} . Uit deze figuur blijkt de algemene tendens, dat i_1 kleiner is naarmate 0_{90} toeneemt. Voorts blijkt dat voor eenzelfde 0_{90} de vliezen en vooral de gazen in het algemeen meer doorlatend zijn per eenheid van lengte in de stromingsrichting dan de doeken en de bandweefsels. Dit wordt veroorzaakt door de geringe dikte van de doeken en bandweefsels en hun geringe openingspercentage per oppervlakte-eenheid.

Teneinde een indruk te krijgen van de hydraulische weerstand van de kunststoffilters ten opzichte van een granulaair filter is in figuur 19 tevens i_1 weergegeven als functie van D_{90} en de steilheidsfactor D_{90}/D_{20} voor zand, bepaald volgens Kozeny:

$$i = \alpha \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} : \frac{\nu}{gD^2} \cdot u_f \quad (3)$$

waarin: α = koëfficiënt, $\alpha = 500$

ν = kinematische viscositeit, $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ bij 10° C

D = karakteristieke korreldiameter (m), $D \approx D_{20}$

ϵ = porositeit, $\epsilon = 0,37$

Uit figuur 19 blijkt, dat voor $0_{90} = D_{90}$ de kunststoffilters in het algemeen doorlatender zijn per eenheid van lengte, dan het af te dekken korrelmateriaal. (Er zij overigens op gewezen dat de formule van Kozeny slechts een globale indruk geeft van de filterweerstand.) Het is echter onjuist om uit de gemeten vervallen over de kunststoffilters, zoals bepaald in dit hoofdstuk, konklusies te trekken over de toe te passen bestorting op de weefsels teneinde opdrijven te voorkomen. Zoals in hoofdstuk 7 wordt behandeld, kan bij een statische belastingstoestand de doorlatendheid van de weefsels in combinatie met granulaire filters afnemen door het dichtslaan van de kunststoffilters.

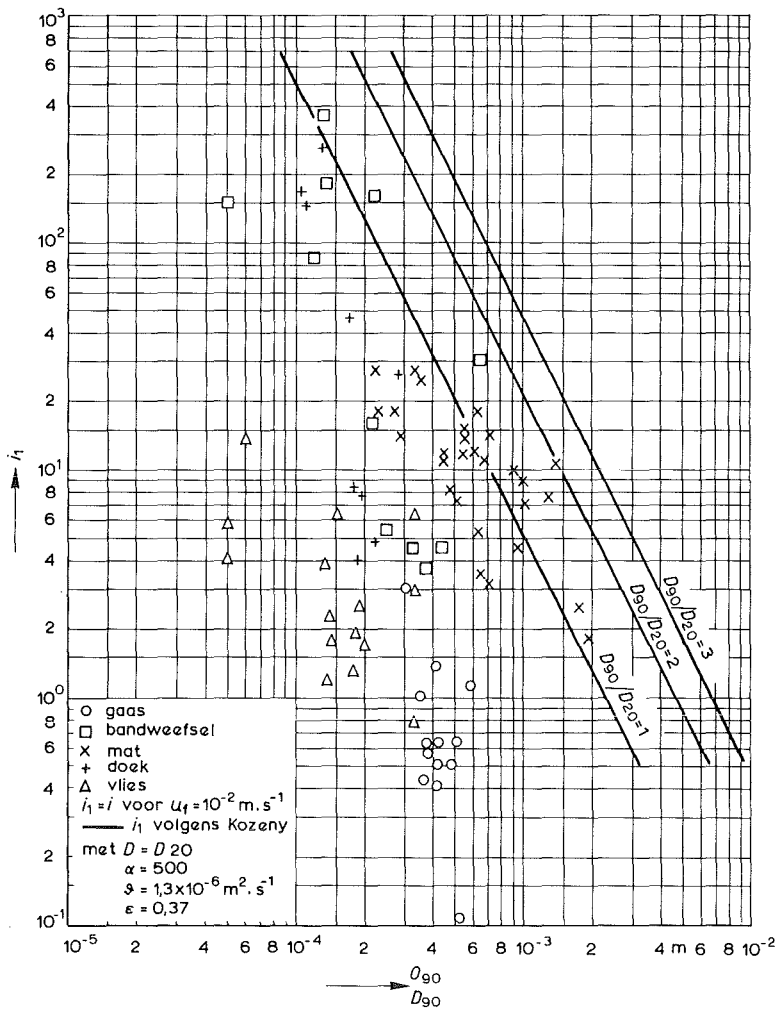
5 ONDERZOEK NAAR DE ZANDDICHTHEID BIJ EEN STATISCHE BELASTINGSTOESTAND

5.1. Inleiding

De zanddichtheid van een kunststoffilter is in de eerste plaats afhankelijk van de korrelsamenstelling van het te beschermen zand in relatie tot de grootte van de filteropeningen.

Voorts is van belang de opbouw van de verdedigingskonstruktie met inbegrip van de plaats van het filter hierin. Deze invloed is bijzonder groot [7]. Gebleken is dat de plaatsing van kunststoffilters onmiddellijk op het zandbed een veel hogere zanddichtheid tot gevolg heeft in vergelijking tot gevallen waarbij het filter niet direkt aansluit op de zandbodem. Tenslotte wordt de zanddichtheid beïnvloed door de stromingskondities ter plaatse van het kunststoffilter.

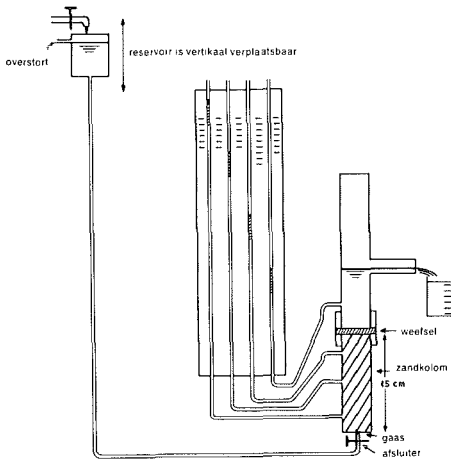
In dit hoofdstuk wordt het zanddichtheidsonderzoek beschreven bij een statische belastingstoestand in de vorm van een permanente grondwaterstroming met een richting loodrecht op het filter.



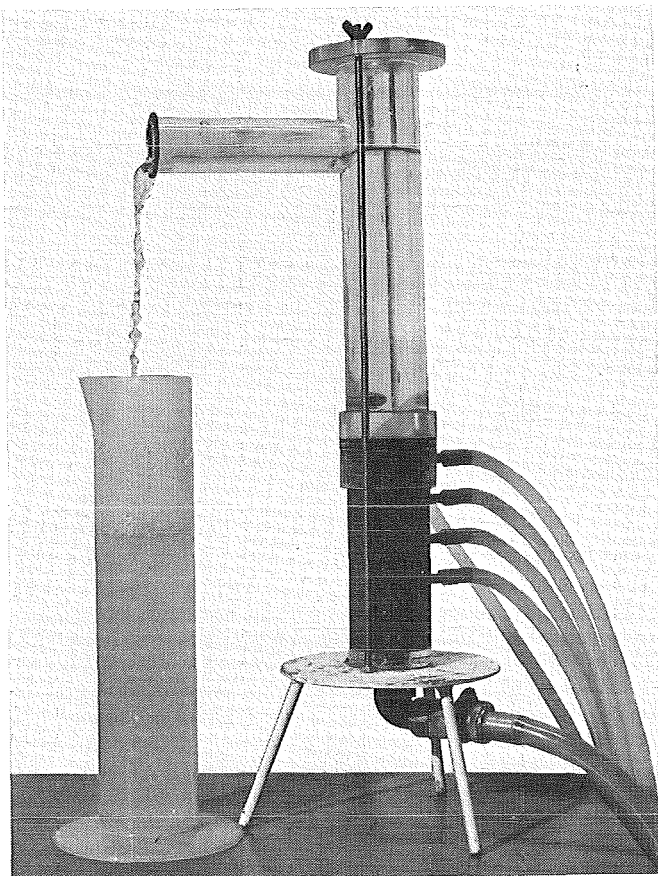
Figuur 19 Verhang i_1 als functie van D_{90} , D_{90}/D_{20} en D_{90}/D_{20}

5.2 Proefopstelling

Voor de statische belastingstoestand wordt gebruik gemaakt van het filterapparaat, zoals weergegeven in figuur 20 en 21. In dit toestel wordt een zandkolom aangebracht. De korrelsamenstelling van dit filter is variabel. De lengte van de zandkolom is ca. 0,15 m; de diameter is 0,05 m dit is voldoende om voor zanddiameters $< 1500 \mu$ geen randeffekten te introduceren [5]. De zandkolom wordt aan de bovenzijde afgedekt door een weefsel (proefstuk \varnothing 0,06 m), zodanig dat de ruimte tussen het weefsel en het zandoppervlak nihil is. Het korrelfilter wordt onderworpen aan een opwaarts gerichte grondwaterstroom, die wordt geïntroduceerd door de stijghoogte aan de onderzijde van het filter langzaam trapsgewijs op te voeren, opdat de zandkolom niet vroegtijdig geruïneerd wordt door dynamische effecten. Bij iedere belastingstrap wordt het verloop van de stijghoogte over het totale filter afgelezen, het debiet bepaald en gekonstateerd of er al dan niet zand door het kunststoffilter treedt.



Figuur 20 Filterapparaat



Figuur 21 Overzichtsfoto van de meetopstelling voor de bepaling van de zanddichtheid van kunststoffilters bij statische belastingstoestand

Het kritieke verhang varieerde bij herhaalde beproeving van eenzelfde filterkombinatie maximaal met een faktor 2 à 3. Er vanuit gaande dat in de praktijk verhangen $i > 2$ à 3 uitzonderingen zijn, is, gezien de spreiding in de waarde voor het kritieke verhang, een verhang $i = 7$ ingevoerd als vergelijkingsbasis voor de zanddichtheid van kunststoffilters bij statische belastingstoestand.

Voor het zanddichtheidsonderzoek zijn in totaal 30 kunststoffilters onderzocht evenredig verdeeld over de vijf onderscheiden groepen. De toegepaste zandfilters zijn in tabel 1 (pag. 99) samengevat.

5.3 Analyse van de proefresultaten

Ter beoordeling van de zanddichtheid van een bepaald kunststoffilter wordt ingevoerd het zanddichtheidsgetal. Dit is een verhoudingsgetal tussen een nader te bepalen karakteristieke grootte voor de opening van het kunststoffilter en een kenmerkende grootte voor de opening van het kunststoffilter en een kenmerkende grootte van het zandfilter, waarbij nog juist geen doorgaand zandverlies optreedt.

Bij een aantal proeven is gekonstateerd dat na een belastingverhoging in het eerste stadium zandtransport door het kunststoffilter plaats vond van de fijnere frakties uit de bovenste lagen van het zandfilter. Na enige tijd stopte dit transport echter, doordat zich onder de kunststof een natuurlijk granulaair filter had opgebouwd. De overgebleven grovere fraktie van het oorspronkelijke materiaal in de bovenste laag van het korreelpakket fungeert dus als filter voor de onderliggende lagen. Op grond van deze filterwerking is het zinvol om in het zanddichtheidsgetal als karakteristieke waarde voor de zeefkromme van het zandfilter de grootte D_{90} te introduceren, aangevende dat een kunststoffilter zanddicht is voor een bepaald zandmengsel indien 10 gewichtsprocenten van het zandmengsel groter is dan een bepaalde waarde.

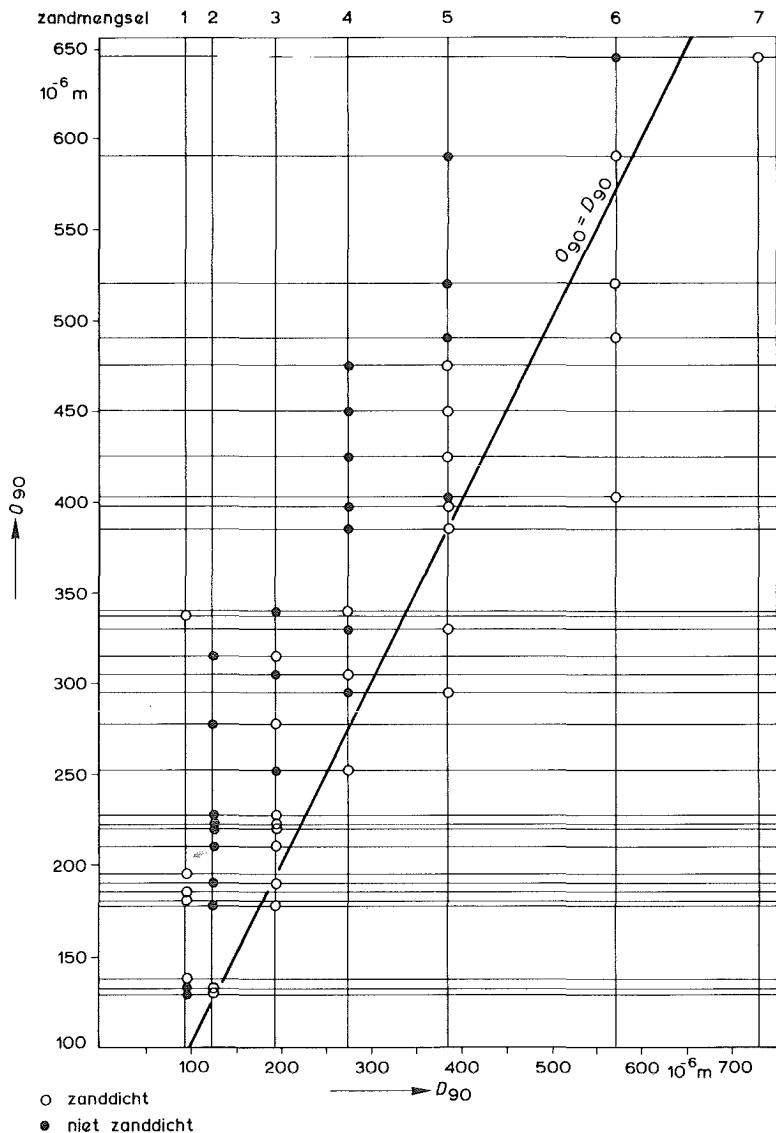
De keuze van de karakteristieke grootte voor de opening van het kunststoffilter is gebaseerd op de overweging, dat het aldus geformeerde zanddichtheidsgetal een zo onafhankelijk mogelijke grootte moet zijn. Hiertoe is de afhankelijkheid onderzocht van de verhoudingsgetallen $0_{90}/D_{90}$ en $0_{50}/0_{90}$, waarbij het weefsel nog juist zanddicht is, met karakteristieke grootte voor de kunststoffilteropeningen voor de groepen matten, gazen, bandweefsels en doeken; de vliezen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten vanwege hun duidelijk van de rest afwijkende zanddichtheid. Het blijkt dat de grootte $0_{50}/D_{90}$ voor de genoemde groepen duidelijk verschillend is, afhankelijk van de steilheidsfaktor $0_{50}/0_{98}$; de waarde $0_{90}/D_{90}$ is voor deze groepen vrijwel gelijk. Bovendien is de waarde $0_{90}/D_{90}$ onafhankelijk van de karakteristieke filteropening 0_{90} . Op basis van bovenstaande beschouwing wordt het zanddichtheidsgetal voor statische belastinggevallen geformuleerd als $0_{90}/D_{90}$.

In figuur 22 zijn enige proefresultaten weergegeven. Uit een statistische analyse van de proefresultaten blijkt, dat met een betrouwbaarheid van 90% het zanddichtheidsgetal $0_{90}/D_{90} \geq 1,0$; dit geldt voor de groepen 1 tot en met 4 (zie paragraaf 2).

Deze waarde is onafhankelijk van de steilheid van de zeefkromme van het toegepaste filter.

Indien voor uniform materiaal i. p. v. D_{90} de bovengrens van de zandfraktie, waarbij het kunststoffilter nog juist zanddicht is (D_{grens}), in het zanddichtheidsgetal wordt toegepast, blijkt met dezelfde betrouwbaarheid $0_{90}/D_{\text{grens}} \geq 1,0$. Hieruit kan worden gekonkludeerd, dat voor kunststoffilters behorende tot de groepen matten, gazen, bandweefsels en doeken, aan de zanddichtheid wordt voldaan indien $0_{90}/D_{90} \leq 1,0$.

Voor vliezen ligt deze grens aanzienlijk gunstiger. Hiervoor kan worden gesteld dat voor zanddichtheid moet gelden: $0_{90}/D_{90} \leq 1,8$.

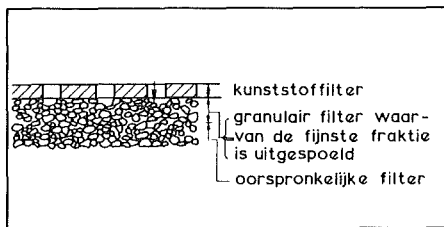


Figuur 22 Overzicht zanddichtheidsproef voor zandserie I (zie tabel 1 pag. 99)

Uit het voorgaande blijkt dat in alle gevallen een aanzienlijk deel van het granulaire filtermateriaal kleiner mag zijn dan D_{90} . De maximale opening van het kunststoffilter blijkt dus niet maatgevend te zijn voor het uitspoelen van zand bij statische belasting.

Hiervoor zijn twee oorzaken aan te wijzen, namelijk:

- 1 de filterwerking, zoals hierboven beschreven
- 2 de boog- of gewelfwerking van de korrels rond de openingen in het kunststoffilter waardoor de korrels elkaar verhinderen door de weefselopening te worden weggespoeld. Deze gewelfwerking is kenmerkend voor de statische belastings-toestand.



Schets b Boogwerking

6 ONDERZOEK NAAR DE ZANDDICHTHEID BIJ EEN DYNAMISCHE BELASTINGSTOESTAND

6.1 Inleiding

Het onderzoek naar de zanddichtheid van kunststoffilters bij een statische belastingstoestand toont aan dat het zanddichtheidsgetal gunstig wordt beïnvloed door gewelfwerking van de korrels rond de weefselopeningen. Het is duidelijk dat een dynamische belasting, die deze gewelfvorming en mogelijk ook de opbouw van een natuurlijk filter afbreekt, het zanddichtheidsgetal ongunstig zal beïnvloeden. De eis waaraan een kunststoffilter moet voldoen, teneinde bij sterk dynamische belastingstoestanden de zanddichtheid te waarborgen wordt in dit hoofdstuk besproken.

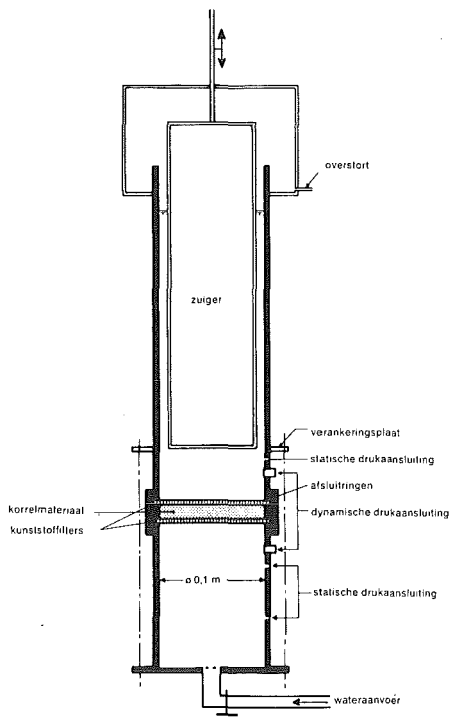
6.2. Proefopstelling

Voor de dynamische belastingstoestand wordt gebruik gemaakt van het apparaat, zoals is weergegeven in figuur 23 en 24. In het toestel worden 2 kunststoffilters $\varnothing 0,11$ m aangebracht. De ruimte tussen deze filters wordt opgevuld met 150 gram korrelmateriaal. Bij het begin van de proef wordt de filterkonstruktie aan een opwaarts gerichte waterstroom onderworpen, waarbij het stijghoogteverval over het filter, evenals aan het einde van de proef, wordt afgelezen. Daarna wordt de konstruktie aan een dynamische belasting onderworpen, door de zuiger in beweging te zetten. De amplitude en frequentie van de zuiger zijn regelbaar. De waterdrukken rond het filter kunnen worden geregistreerd. De duur van de dynamische belasting is 15 minuten.

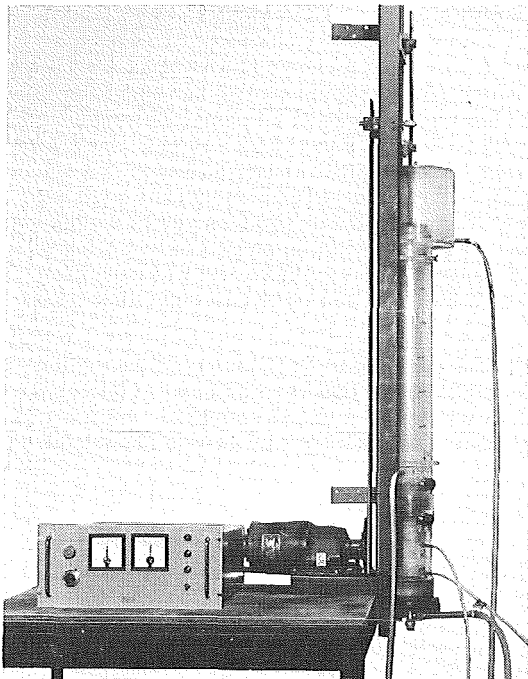
Bij een lage frequentie is het dynamische drukverloop bij benadering sinusvormig. Echter bij hoge frequenties en een grote amplitude treden verstoringen in de vorm van onderdrukken op, doordat bij de opgaande beweging van de zuiger de ruimte onder de zuiger door de traagheid van het water niet direkt kan worden aangevuld.

6.3 Analyse van de proefresultaten

Uit een serie proeven, waarbij amplitude en frequentie is gevarieerd, blijkt, dat, naarmate de frequentie hoger en de amplitude groter is, de uitspoeling van vergelijkbaar korrelmateriaal groter is. De meest extreme belastingstoestand die met het dynamisch apparaat opgewekt kan worden is als uitgangspunt voor het zanddichtheidskriterium bij dynamische belastinggevallen genomen; dit betekent een amplitude (dit is de maximale afwijking van de zuiger vanuit zijn middenstand) $H_0 = 7$ cm en een frequentie $f = 2.0 \text{ s}^{-1}$. Als korrelfilters zijn zowel mengsels



Figuur 23 Dynamisch apparaat



Figuur 24 Overzichtsfoto van de meetopstelling voor de bepaling van de zanddichtheid van kunststoffilters bij dynamische belastingstoestand

als vrijwel uniform materiaal met een gemiddelde zanddiameter gelijk aan 0_{98} genomen. Enige proefresultaten zijn in figuur 25 weergegeven. Uit de proeven-serie blijkt dat in principe het korrelmateriaal met een diameter kleiner dan 0_{98} uitgespoeld kan worden ongeacht het type kunststoffilter. Dit beantwoordt aan de verwachtingen, daar het mechanisme van gewelfvorming, dat het korrelfilter bij statische belasting beschermde, nu verstoord is; deze proef is dus vergelijkbaar met de zeefproef. Uit het bovenstaande blijkt dat 0_{98} een zeer belangrijke maat voor het kunststoffilter is.

Uit het voorgaande kan de konklusie getrokken worden, dat, indien de dynamische belasting de opbouw van een natuurlijk filter niet toelaat, voor de zanddichtheid van het kunststoffilter onder sterk dynamische belastingen theoretisch moet gelden:

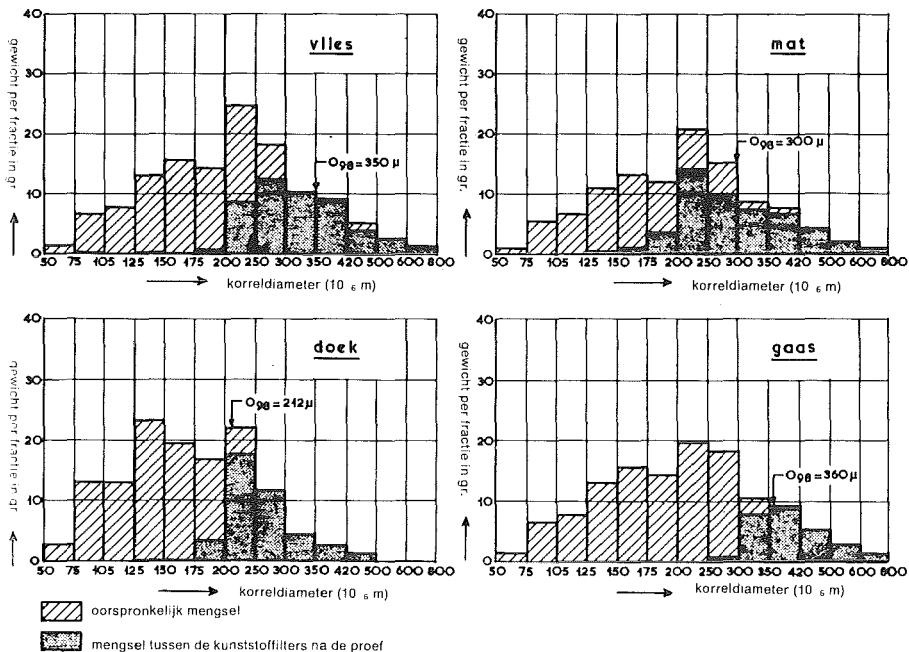
$$\frac{0_{98}}{D_{\min}} \leq 1,0 \quad (4)$$

Laat men voor praktische gevallen 15% zanddoorgang toe (de fijnste frakties), dan moet worden voldaan aan de voorwaarde:

$$\frac{0_{98}}{D_{15}} \leq 1,0 \quad (5)$$

Echter, indien zich bij dynamische belastingstoestanden onder het kunststoffilter, evenals bij een statische belastingstoestand, ook een natuurlijk filter opbouwt, dan kan beredeneerd worden, dat de aanwezigheid van circa 15 gewichtspercentages zand met een diameter groter dan 0_{98} in het korrelfilter al voldoende is voor praktische zanddichtheid, dat wil zeggen een zanddichtheid zodanig, dat geen verzakkingen in de verdedigingskonstruktie optreden. Dan moet gelden:

$$\frac{0_{98}}{D_{85}} \leq 1,0 \quad (6)$$



Figuur 25 Enige proefresultaten van het onderzoek naar de zanddichtheid van kunst-

Daar voor zandmengsels, die in de natuur voorkomen, de faktor D_{85}/D_{15} een waarde 2 à 3 kan aannemen, zal het duidelijk zijn, dat het zich al dan niet opbouwen van een natuurlijk filter onder het kunststoffilter van zeer groot belang is voor de eis die men aan de maximale opening van een kunststoffilter moet stellen. Onderzoek naar dit verschijnsel verdient daarom aanbeveling.

Er zij op gewezen dat bovengenoemde eisen extremen zijn. Voor minder sterke dynamische belastingen kunnen de eisen aanzienlijk gunstiger liggen. Dit zal per geval onderzocht moeten worden. Hierbij treedt echter de moeilijkheid op, dat prototype-omstandigheden niet eenvoudig in belastingen met een bepaalde amplitude en frequentie, zoals opgewekt door het hiervoor beschreven dynamische apparaat, vertaald kunnen worden. Andere proefopstellingen zijn dan noodzakelijk.

Tenslotte zij vermeld dat de bovengenoemde analyse alleen geldig is voor stroming loodrecht op het grensvlak.

7 ONDERZOEK NAAR HET DICHTSLAAN VAN KUNSTSTOFFILTERS

7.1 Inleiding

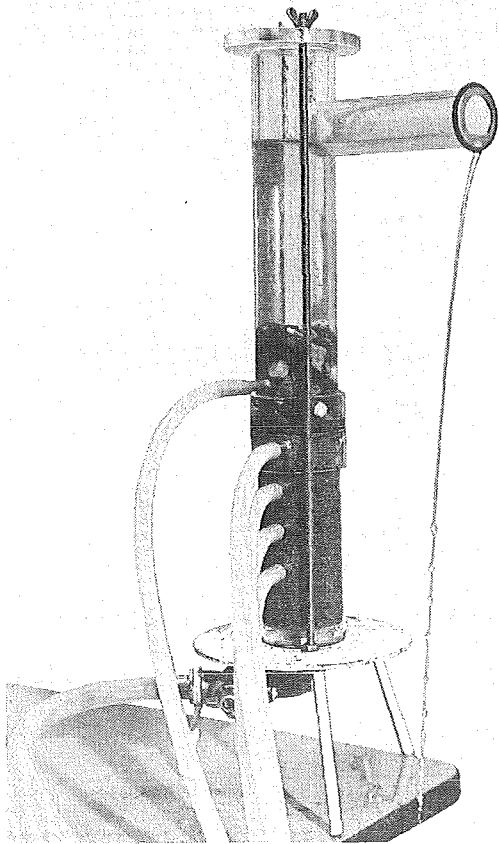
Het uitgangspunt bij het ontwerpen van filters is, dat in de richting van de stroming de doorlatendheid van de opeenvolgende lagen niet mag afnemen. Kunststoffilters, als onderdeel van een filterkonstruktie, moeten voldoende waterdoorlatend zijn teneinde het grondwater snel te kunnen afvoeren, zodat verweking van de ondergrond met vergroting van de kans op afschuiving en het optreden van grote overdrukken worden vermeden. Het doorlatendheidskriterium voor filters houdt in, dat, indien de stabiliteit van het basismateriaal tegen stromingsdruk van het grondwater verzekerd is, het filtermateriaal niet zal worden opgelicht, mits $\rho_{\text{filtermateriaal}} \geq \rho_{\text{basismateriaal}}$, waarin ρ de soortelijke massa is. De soortelijke massa van kunststoffilters is gewoonlijk kleiner dan die van het basismateriaal, zodat het bovengenoemde doorlatendheidskriterium niet zonder meer stabiliteit van het kunststoffilter inhoudt. Dit zal steeds afzonderlijk bekeken moeten worden. Uitgangspunt hierbij is het optredende verval over het kunststoffilter in relatie tot de soortelijke massa. Indien de waterdoorlatendheid van het kunststoffilter niet beïnvloed wordt door de aanwezigheid van het onderliggende zandbed is bij gegeven filtersnelheid het optredende verval over het kunststoffilter te bepalen met de proefopstelling zoals beschreven in hoofdstuk 4.

Echter het aanwezige zandfilter kan het kunststoffilter ook gedeeltelijk dichtslaan. Onder dichtslaan van kunststoffilters wordt verstaan, de afname van de waterdoorlatendheid ter plaatse van het kunststoffilter, doordat korrels uit het onderliggende zandpakket de openingen van het kunststoffilter afsluiten.

In dit hoofdstuk zal de waterdoorlatendheid van de kunststoffilters in combinatie met een zandfilter worden besproken. Dit onderzoek beperkt zich tot statische belastingsomstandigheden waarbij het filter wordt onderworpen aan een permanente grondwaterstroom.

7.2 Proefopstelling

Voor het onderzoek naar het dichtslaan van kunststoffilters is voor een proefopstelling gekozen, die vrijwel analoog is aan de opstelling bij het onderzoek naar de zanddichtheid van kunststoffilters bij de statische belastingsstoestand, zie hoofdstuk 5. Het verschil is echter dat nu circa 10 cm grof grind op het kunststoffilter is aangebracht, zie figuur 26, teneinde de situatie in het prototype zo goed mogelijk



Figuur 26 Proefopstelling voor het onderzoek naar het dichtslaan van kunststoffilters

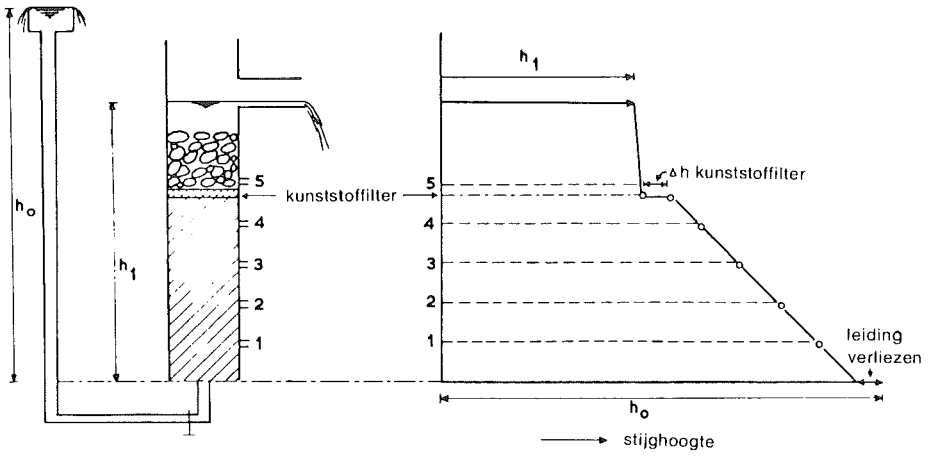
te reproduceren. Het filter wordt weer onderworpen aan een opwaarts gerichte grondwaterstroom, geïntroduceerd door trapsgewijze opvoering van de stijghoogte aan de onderzijde van de filterconstructie. Per belastingstrap worden het debiet en het verloop van de stijghoogte over het filter bepaald.

Het verval over het kunststoffilter wordt bepaald als het verschil tussen de door extrapolatie verkregen stijghoogte in het korrelfilter aan de onderzijde van het kunststoffilter en de stijghoogte juist boven het kunststoffilter, zie schets c. Het verval over het onderste gedeelte van de grindafdekking wordt verwaarloosbaar klein verondersteld.

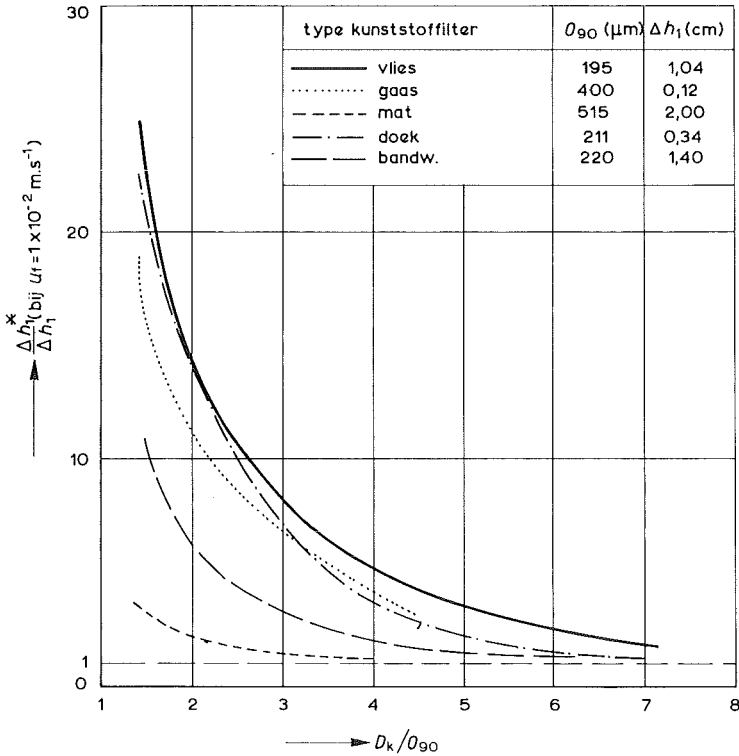
7.3 Analyse van de proefresultaten

Voor het onderzoek naar het dichtslaan van kunststoffilters is gebruik gemaakt van zowel uniforme als gegradeerde zandfilters.

Bij de uniforme granulaire filters zijn zandfrakties toegepast met korrelgroottes $D_k > 0,90$, omdat juist bij deze korreldiameters voor afdichting van de filteropeningen moet worden gevreesd. Enige proefresultaten zijn afgebeeld in figuur 27.



Schets c Stijghoogteverloop



Δh_1 = verval over het kunststoffilter zonder beïnvloedend zandfilter

Δh^*_1 = verval over het kunststoffilter met beïnvloedend zandfilter

D_k = gemiddelde zanddiameter van de uniforme fractie

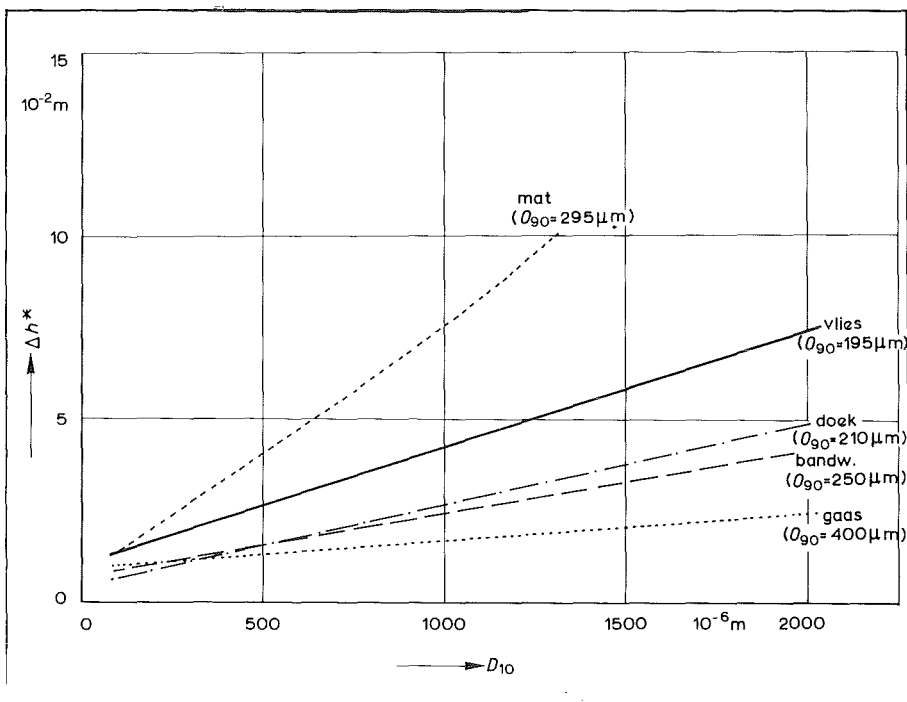
0_{90} = karakteristieke openingsmaat van het kunststoffilter

U_f = $1 \times 10^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (filtersnelheid)

Figuur 27 Invloed van zandfilters op de doorlatendheid van kunststoffilters

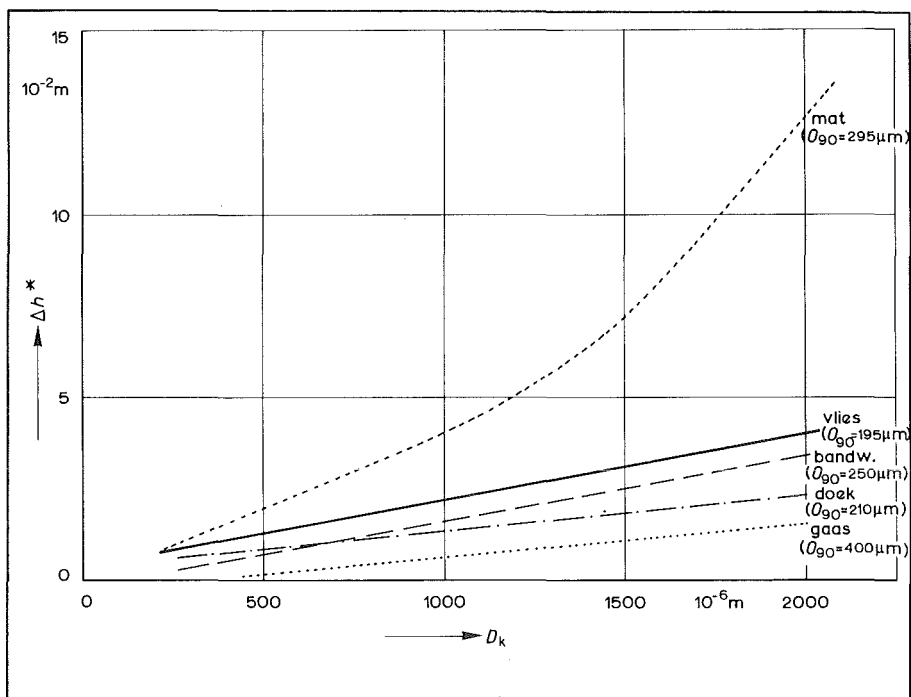
Hierin is de verhouding $\Delta h_1^*/\Delta h_1$, waarin Δh_1^* en Δh_1 de vervallen over het kunststoffilter voorstellen, respectievelijk met en zonder een beïnvloedend zandfilter bij een filtersnelheid $u_f = 1 \times 10^{-2}$ m/s, weergegeven als functie van $D_k/0_{90}$. De waarde D_k is hierbij de gemiddelde zanddiameter van de "uniforme" zandfracties. Voor analoge resultaten bij toepassing van gegradeerde zandmengsels dient in figuur 27 D_k vervangen te worden door D_{10} à D_{20} . Figuur 27 illustreert de algemene trend, dat toepassing van zand met een diameter juist groter dan 0_{90} (voor $D_k \leq 0_{90}$ is dit niet onderzocht) aanleiding geeft tot sterk verhoogde vervallen over de kunststoffilters, die tenminste een orde groter kunnen zijn dan het verval berekend uit de waterdoorlatendheidsproeven zoals vermeld in hoofdstuk 4. Als gevolg van het dichtslaan van de kunststoffilters blijkt de hydraulische weerstand dusdanig op te lopen, dat voor het kunststoffilter steeds een hogere weerstand per lengte-eenheid wordt gevonden dan voor het zandfilter. Daar de dikte van de kunststoffilters gewoonlijk zeer gering is, zal de totale weerstand van het kunststoffilter relatief klein blijven. Dit wordt geïllustreerd in de figuren 28 en 29 waar het verval over een aantal kunststoffilters is weergegeven als functie van D_k en D_{10} , respectievelijk van uniforme en gegradeerde zandfilters, bij een verhang in het zandfilter $i = 2$. Deze figuren tonen aan dat in het algemeen slechts relatief lichte bestorting nodig is teneinde het kunststoffilter voor opdrijven te behoeden, zeker wanneer het verhangen in zandfilters betreft waarbij $i_{\text{zandfilter}} \leq 1$.

De konklusie, die uit de voorgaande analyse kan worden getrokken, is, dat toepassing van kunststoffilters voor zanden met een korreldiameter in de orde van 0_{90} en groter aanleiding kan geven tot een aanzienlijke verhoging van de hydraulische weerstand van het kunststoffilter ten opzichte van de weerstand bepaald bij een filter zonder beïnvloedend zandpakket. Echter voor praktijkomstandigheden waarbij relatief geringe filtersnelheden en verhangen optreden blijken de vervallen over de kunststoffilters geen bijzonder hoge waarden aan te nemen.



Figuur 28 Verval over kunststoffilter Δh^* als functie van D_k van uniforme zandfilters voor $i_{\text{zandfilter}} = 2$

figuur is verwisseld met die van fig 29.



Figuur 29 Verval over kunststoffilter Δh^* als functie van D_{10} van gegradeerde zandfilters voor $i_{\text{zandfilter}} = 2$

8 HET DICHTSLIBBEN VAN KUNSTSTOFFILTERS

Naast het dichtslaan kan ook het dichtslibben van kunststoffilters, dat wil zeggen een afname van de doorlatendheid door het zich afzetten van zeer fijn korrelmateriaal (slib) in het weefsel, gevolgen hebben voor de toe te passen bovenbelasting op het weefsel. In hoeverre de kunststoffilters gevoelig zijn voor dichtslibben zal elders worden onderzocht.

9 CHEMISCHE EN MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VOOR KUNSTSTOFFILTERS

In de voorgaande hoofdstukken is uitsluitend aandacht besteed aan de waterloopkundige eisen die aan de kunststoffilters moeten worden gesteld bij toepassing in waterbouwkundige constructies. Daarnaast moet de samenstelling van de kunststoffilters voldoen aan bepaalde chemische en mechanische voorwaarden. Dit kunnen eisen zijn met betrekking tot de treksterkte, slijtvastheid, stijfheid, bestendigheid tegen ultra-violette straling en chemische verontreiniging etc. [3], [9]. De formulering van dit pakket van voorwaarden valt echter buiten het bestek van dit onderzoek.

10 CONCLUSIES

- De opening van kunststoffilters wordt gekarakteriseerd door de grootheden 0_{50} , 0_{90} en 0_{98} . 0_{98} geeft een praktische benadering van de maximale filteropening. De grootheden 0_{50} en 0_{90} zijn een louter kwalitatief gegeven. De verhouding $0_{50}/0_{98}$ geeft een indruk van de weerstand van het filter tegen zanddoorgang van zanddiameters kleiner dan de maximale filteropening.
- De relatie tussen het verhang i en de filtersnelheid u_f kan voor een kunststoffilter goed worden weergegeven door:
 $i = b \cdot u_f^n$
waarin: b = weerstandskoefficiënt
 n = exponent, met $1 \leq n \leq 2$ afhankelijk van de stromingstoestand.
- De waterdoorlatendheid van kunststoffilters zonder een beïnvloedend zandpakket is in het algemeen groter dan van een granulair filter voor $0_{90} = D_{90}$.
- Voor de statische belastingstoestand wordt door matten, gazen, bandweefsel en doeken aan de zanddichtheidseis voldaan indien:
 $0_{90}/D_{90} \leq 1,0$.
Voor vliezen ligt deze grens gunstiger; hiervoor geldt:
 $0_{90}/D_{90} \leq 1,8$.
- Voor de dynamische belastingstoestand wordt aan de zanddichtheidseis voldaan, indien:
 $0_{98}/D_{15} \leq 1,0$.
Hierbij wordt ervan uitgegaan, dat de dynamische belastingstoestand de opbouw van een natuurlijk filter verhinderd en dat een gering percentage (15%) van het onderliggende zand mag uitspoelen.
Indien zich wel een natuurlijk filter kan opbouwen, kan zanddichtheid optreden als
 $0_{98}/D_{85} \leq 1,0$.
Nader onderzoek naar deze verhouding is nodig.
- De zanddichtheidseisen die in dit verslag worden vermeld zijn extremen. Bij minder sterke dynamische of statische belastingsomstandigheden kunnen de eisen aanmerkelijk soepeler zijn. Hiervoor is per geval aanvullend laboratoriumonderzoek noodzakelijk.
- Alle kunststoffilters blijken gevoelig te zijn voor dichtslaan, dat wil zeggen een verhoging van de hydraulische weerstand bij toepassing van kunststoffilters op zanden met korreldiameters $D_k > 0_{90}$ en statische belastingstoestand. Hierbij moet met overdrukken rekening gehouden worden. Deze overdrukken nemen echter voor $i_{\text{zandfilter}} \leq 1$ geen extreem hoge waarden aan.
- Bij toepassing van de resultaten die in dit verslag zijn vermeld, moeten de restricties duidelijk in ogenschouw worden genomen.

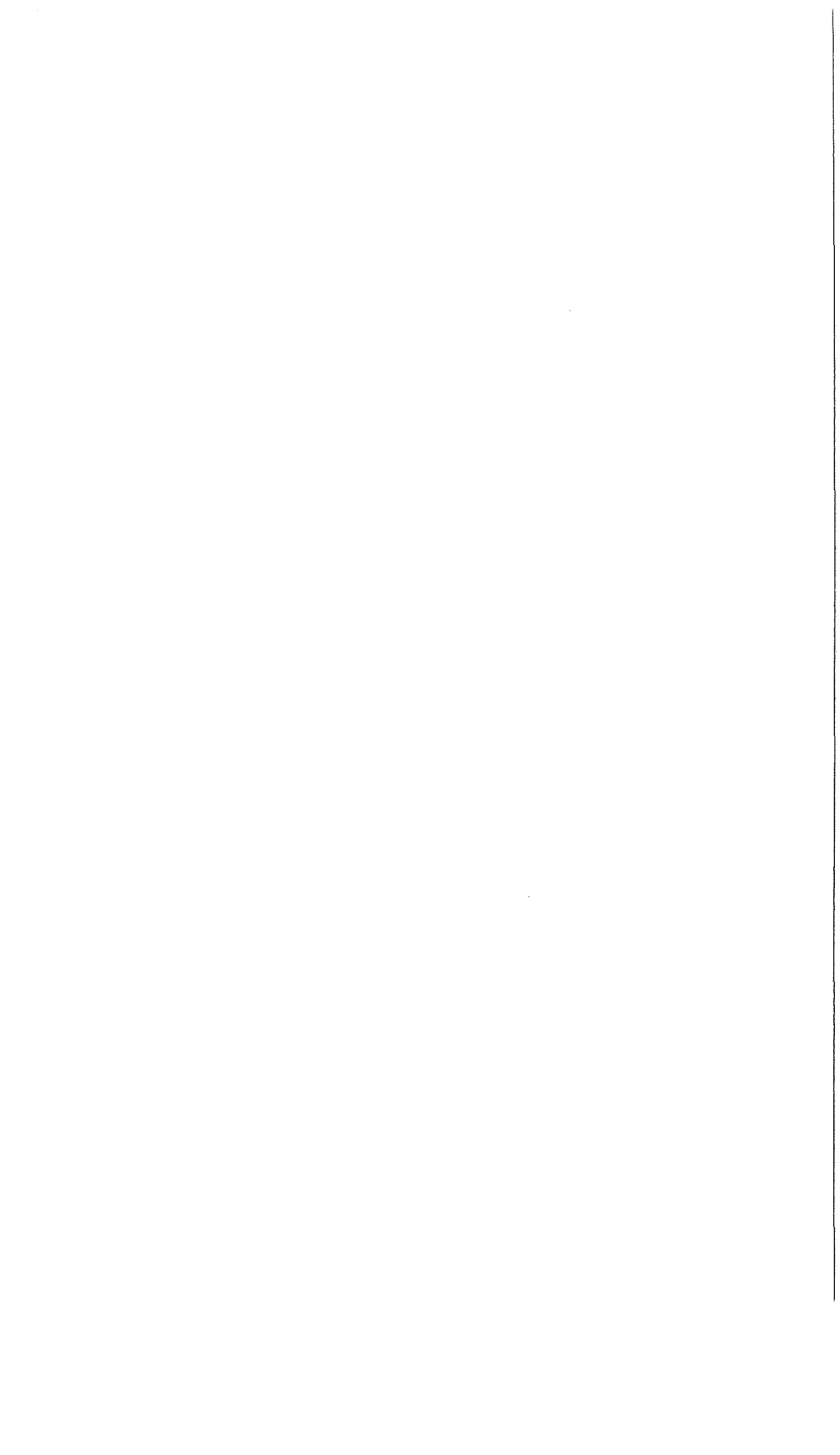
11 GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- 1 ALLEN, T.
"Particle Size Measurement";
Powder Technology Series. Chapman and Hall Ltd., London, 1968.
- 2 KIRKHAM, C. E.
"Turbulent flow in porous media";
University of Melbourne, Water Research Foundation of Australia;
Bulletin No. 11, Febr. 1967

- 3 LIST, H. J.
"Untersuchungen von instationär belasteten Kunststoff-Filtern für den Wasserbau";
Mitt. Blat, der B.A.W. 21, Nr. 35, 1973.
- 4 RAGUTZKI, G.
"Einige Versuchsergebnisse über Filtereigenschaften von Kunststoffgeweben und deren Verwendung im Lahnungsbau";
Forschungsstelle für Insel und Küstenschutz; die Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung. Jahresbericht 1969. Band XXI, Norderney, April 1971.
- 5 ROSE, H. E.
"Flow through beds of granular materials";
in: "Some aspects of fluid flow". Edward Arnold and Co., London, 1951
- 6 SCHEIDEGGER, A. E.
"The physics of flow through porous media";
University of Toronto Press, 1957.
- 7 WATERWAYS EXPERIMENT STATION
"Development of design criteria and acceptance specifications for plastic filter cloths";
T. R. S.-72-7, Vicksburg U. S. A. 1970.
- 8 ZITSCHER, F. F.
"Kunststoffe für den Wasserbau";
Bauingenieur-Praxis, Heft 125. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1971.

| I 7 Zandmengsels, waarbij met oplopende diameter de zeefkromme minder steil wordt | | | |
|--|----------------|--|-----------------|
| Mengsel | $D_{50} (\mu)$ | $D_{90} (\mu)$ | D_{90}/D_{10} |
| 1 | 80 | 95 | 1,4 |
| 2 | 105 | 125 | 1,5 |
| 3 | 130 | 195 | 2,1 |
| 4 | 165 | 275 | 2,7 |
| 5 | 215 | 385 | 3,2 |
| 6 | 300 | 520 | 3,0 |
| 7 | 420 | 730 | 3,0 |
| II 4 Zandmengsel met een steile zeefkromme | | | |
| Mengsel | $D_{50} (\mu)$ | $D_{90} (\mu)$ | D_{90}/D_{10} |
| 1 | 122 | 175 | 1,7 |
| 2 | 180 | 205 | 1,7 |
| 3 | 250 | 305 | 1,6 |
| 4 | 330 | 370 | 1,5 |
| III Uniform korrelmateriaal | | | |
| 75 - 105 μ 105 - 125 μ 125 - 150 μ 150 - 175 μ 175 - 200 μ | | 200 - 250 μ 250 - 300 μ 300 - 350 μ 350 - 420 μ | |

Tabel 1: Toegepaste zandmengsels bij onderzoek naar de zanddichtheid bij statische belasting



Het ontwerp van oeverbeschermingsconstructies

ir. J. de Nekker

INHOUD

| | | |
|---|---|-----|
| 1 | Inleiding | 103 |
| 2 | Ontwikkeling van de scheepvaart | 103 |
| | 2.1 De duwvaart | 103 |
| | 2.2 De motorscheepvaart | 104 |
| 3 | Gevolgen voor het ontwerp van oeververdedigingen | 105 |
| 4 | Het ontwerp | 105 |
| | 4.1 Keuze | 105 |
| | 4.2 Ontwerpeisen | 105 |
| | 4.3 Hydraulische randvoorwaarden | 106 |
| | 4.4 De grondmechanische randvoorwaarden | 106 |
| | 4.5 Het ontwerp van de oeververdediging | 106 |
| | 4.5.1 Gesloten constructies | 106 |
| | 4.5.2 De open constructies | 107 |
| | 4.6 De keuze | 107 |
| 5 | Toegepaste constructies | 107 |
| | 5.1 Met gietasfalt gepenetreerde stortsteenglooiing | 107 |
| | 5.2 Glooiing, afgedekt met stortsteen | 108 |
| | 5.3 Steenasfalt glooiing | 109 |
| | 5.4 Zetsteenglooiingen | 109 |
| 6 | Conclusies | 110 |
| 7 | Literatuur | 111 |

1 INLEIDING

De in Nederland toegepaste oeververdedigingen worden, ondanks de langjarige ervaring, die hier te lande bestaat, nog steeds verder ontwikkeld en aangepast. De reden hiervoor is, dat de scheepvaart toeneemt, wat betreft afmetingen van de schepen en motorvermogen. Hierdoor moeten bekledingsconstructies, die vroeger voldeden, nu worden aangepast. In de tweede plaats ontwikkeling, doordat nieuwe bouwmaterialen, waaronder allereerst de kunststof-weefsels moeten worden genoemd, aan de markt komen. Door deze oorzaken is de ontwerper gedwongen zich gedurig te bezinnen op de keuze van de constructie en de te gebruiken materialen en tracht hij, onder het afwegen van duurzaamheid tegen kosten, tot een optimale keuze te geraken.

In de hierna volgende bijdrage worden de volgende punten behandeld:

- 1 Ontwikkeling van de scheepvaart.
- 2 Gevolgen voor het ontwerpen van oeververdedigingen.
- 3 Het ontwerp, met de ontwerpeisen, de randvoorwaarden, de varianten en de keuze.
- 4 Enkele toegepaste constructies en de rol van kunststoffen hierbij.
- 5 Conclusies.

2 ONTWIKKELING VAN DE SCHEEPVAART

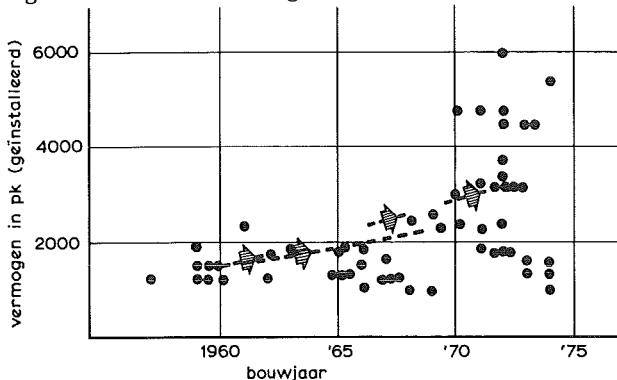
2.1 De duwvaart

Door de Deltadienst van de Rijkswaterstaat (Bouw bureau Schelde-Rijnverbinding) is een uitgebreid onderzoek ingesteld naar de ontwikkeling van de duwvaart. In figuur 1 zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven:

In de periode 1957-1960 begon de ontwikkeling met het in de vaart brengen van de Wasserbüffel (1260 PK), die 4 bakken van 1300 ton duwde. Tussen 1960-1970 had een geleidelijke toename plaats van het aantal duwschepen met vermogens tussen 1250 en 2000 PK, waarbij 1500 PK eigenlijk als een minimum werd beschouwd voor een verantwoorde 4-baks duwvaart.

In de periode ná 1970 nemen de toegepaste vermogens spectaculair toe tot 4000, 5000 en zelfs 6000 PK en wordt het noodzakelijk in plaats van twee, drie schroeven toe te passen. Een aantal schepen komt 2x in de grafiek voor, daar bekend is, dat achteraf een groter vermogen is geïnstalleerd of ombouw heeft plaatsgevonden.

Figuur 1 Ontwikkeling van de duwvaart



Een en ander betekent, dat over een periode van 10 jaar het beeld zich heeft gewijzigd van

4 bakken van 1500 ton bij 0,25 PK/ton naar

4 bakken van 2500 ton bij 0,4 à /0,5 PK/ton.

2.2 De motorscheepvaart

In figuur 2 is over het afgelopen decennium het aantal zelfvarende schepen van de Nederlandse binnenvloot weergegeven, alsmede het motorvermogen per ton laadvermogen en het totaal geïnstalleerd vermogen, eveneens ontleend aan onderzoek van het Bouwbureau Schelde-Rijnverbinding.

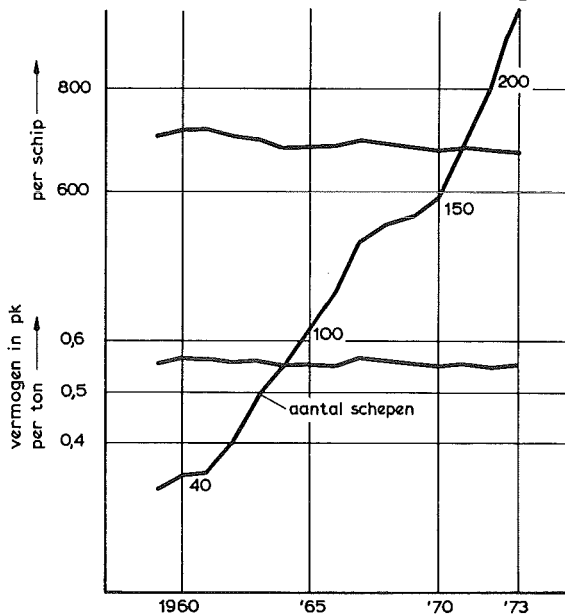
Deze ontwikkeling is minder spectaculair dan die van de hiervoor beschreven duweenheden. Opvallend is de sterke toename van het aantal zelfvarende schepen in deze categorie bij ongeveer gelijk blijvend vermogen, zowel per ton laadvermogen, als totaal. Een en ander is gepaard gegaan met een afname van het aantal zeer kleine schepen, een toename van het aantal grote tot zeer grote en een toename van de motorisering.

Recente gegevens over nieuwbouw bij Nederlandse en Duitse werven wijzen echter ook voor deze categorie op toename van de geïnstalleerde vermogens.

Bij de tankvaart doen zich analoge ontwikkelingen voor als bij de hiervoor beschreven vrachtvaart.

Als conclusie kan worden gesteld, dat de laatste jaren bij de duwvaart een spectaculaire toename in het vermogen gepaard is gegaan met een geleidelijke vergroting van het laadvermogen. Bij de vracht- en tankschepen neemt het aantal grotere schepen (1000-1500 ton) toe ten koste van de zeer kleine, terwijl recentelijk een vergroting van het geïnstalleerde vermogen valt waar te nemen.

Figuur 2 Ontwikkeling van de motorscheepvaart in de klasse 1000-1500 ton



3 GEVOLGEN VOOR HET ONTWERP VAN OEVERVERDEDIGINGEN

In de bijdrage van VAN DER KAA wordt een duidelijk verband gelegd tussen aanval op de oevers en gefinstalleerd vermogen; in de bijdrage van BROLSMA worden praktijkproeven aangehaald. Het is duidelijk, dat de in het voorgaande beschreven ontwikkelingen moeten leiden tot twee gevolgen voor het Nederlandse bestand aan oeververdedigingen:

- a Over grote lengten zijn bekledingen aangetast, die niet waren berekend op de huidige scheepvaart, of waarbij de basisregels voor zwaar aangevallen waterbouwkundige constructies waren veronachtzaamd (evenwicht van het geheel én van de samenstellende elementen, grondrichtheid en duurzaamheid).
- b Voor de toekomst zullen constructies in grote vaarwegen met de grootste zorgvuldigheid moeten worden ontworpen en beproefd om de in paragraaf 2 geschetste ontwikkelingen het hoofd te kunnen bieden.

4 HET ONTWERP

In het volgende worden nu stapsgewijs de punten, die bij het ontwerpen aan de orde komen, bezien.

4.1 Keuze

In de eerste plaats dient een keuze gemaakt te worden tussen een verticale oeververdediging (damwand of kademuur), een verdedigde glooiing, of een combinatie van beide.

Eerstgenoemde is kostbaar en wordt toegepast als aanlegplaats voor schepen. Deze constructies blijven binnen het bestek van dit verhaal buiten beschouwing. Het verdedigde talud wordt momenteel algemeen toegepast als kanaalverdediging en paart relatief geringe kosten aan duurzaamheid en eenvoudig onderhoud, mits goed ontworpen.

Combinaties van glooiingen met al of niet verankerde damwand zijn geleidelijk in onbruik geraakt bij grote kanalen. Toepassing kan worden overwogen, als ruimtegebrek het maken van taluds niet toelaat, doch de constructie heeft het nadeel van reflectie van scheepsgolven tegen de verticale wand en sterke aanval op de ervoor gelegen bermen. Vaak is bij toenemende scheepsvaart grondverlies en ondermijning van de er boven liggende glooiing het gevolg. In zones, bestemd voor recreatief gebruik, worden dergelijke voorzieningen nog veel aangetroffen als zwemplaats of meergelegenheid voor jachtjes, maar ook daar bestaat de tendens om over te gaan op verdedigde glooiingen met eenvoudige steigertjes.

4.2 Ontwerpeisen

In de literatuur [o. a. 1] worden de ontwerpeisen uitgebreid behandeld. Aangezien in vele gevallen één of meer van de basisprincipes worden veronachtzaamd, de constructie niet wordt doorberekend, of op in het verleden opgedane ervaringen wordt doorgeborduurd (vooral dit laatste kan bij de in paragraaf 2 geschetste ontwikkelingen van de scheepvaart fatale gevolgen hebben), heeft het zin deze basisprincipes nogmaals kort samen te vatten:

- a Het talud dient als geheel in evenwicht te zijn.
- b De beschermende laag mag niet afglijden, of als geheel worden opgetild.
- c Het onderliggende zand of klei mag niet doorgezogen worden.
- d De elementen van de verdediging moeten op hun plaats blijven.
- e De verdediging moet duurzaam zijn (chemisch, mechanisch, biologisch).

In het kader van de in deze serie behandelde onderwerpen verdient speciaal punt c de aandacht.

4.3 Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische omstandigheden bepalen in belangrijke mate vorm en aard van de constructie:

- de waterstanden (vaste waterstand of getij) bepalen:
 - a boven- en ondergrens van de bekleding;
 - b het drukverloop bij een dichte bekleding.
- de als dynamische krachten op de bekleding werkende scheepsgolven bepalen:
 - a Krachten op de bestorting door over- en onderdruk of luchtopsluiting (zie bijdrage VAN DER KAA).
 - b Het soort weefsel, dat wordt toegepast (zie bijdrage VAN DER MEULEN).
 - c Drukfluctuaties, al dan niet gepaard gaande met grondwaterstromen, waardoor stabiliteitsverlies in de ondergrond kan optreden, zodat glijdvlakken ontstaan.
 - d Retourstromen op het onverdedigde deel van het talud en de bestorting, die voor de berekening moeten worden opgeteld bij de eventueel natuurlijke stroom in het vaarwater.

4.4 De grondmechanische randvoorwaarden

Vanuit grondmechanisch oogpunt dienen te worden gezien:

- a de stabiliteit van de grondslag langs een glijdvlak en de naar buiten gerichte waterstroming bij een gebaggerd talud, onder invloed van grondwaterniveau, getij en golfslag. Onder invloed van deze laatstgenoemde stromingen kan geleidelijk uitvloeien van het talud ontstaan [literatuur 2] .
- b De waterstanden in het terrein, de doorlatendheid van de grond en de invloed van een eventuele gelaagdheid op de grondwaterstromen.
- c De korrelgrootte-verdeling van de laag, waarop de verdediging moet worden aangebracht. Vooral bij toepassen van kunststofweefsels dienen de poriën van het weefsel te zijn aangepast aan de korreldiameter van de onderliggende laag. Zonodig dient een zandlaag onder het weefsel te worden gebracht.

4.5 Het ontwerp van de oeververdediging

Aan de hand van de in het voorgaande beschreven

- globale keuze
- basis-ontwerpeisen
- hydraulische randvoorwaarden
- grondmechanische randvoorwaarden

kan nu een keuze voor de oeververdediging worden gemaakt.

De mogelijkheden hierbij zijn:

4.5.1 Gesloten constructies

- a Membraan, bestaande uit een waterdichte folie, afgedekt met een zandlaag (al of niet bekleed) tegen overdrukken, toegepast b.v. in drinkwaterbekkens en het Julianakanaal om kwelverliezen tegen te gaan.

b Met bitumen ingegoten stortsteen

De gepenetreerde laag moet berekend worden op het afschuifkriterium en het drijfkriterium, [literatuur 1] .

In de praktijk blijkt, dat de constructie dan tevens voldoende weerstand tegen scheepsgolven biedt. In dit verband zijn de onder 4.3 besproken hydraulische randvoorwaarden van bijzonder belang, terwijl tevens rekening wordt gehouden met een blijvend voldoende poreus gedeelte aan de onderzijde in verband met de uitstroming van grondwater. Met name dit laatste onderdeel van de bekleding biedt interessante aspecten voor de toepassing van kunststofweefsels.

4.5.2 De open constructies

De open oeverbekledingen vormen bij uitstek het werkveld, waarbij kunststofdoeken kunnen worden benut. Als voorbeelden kunnen gelden:

- de gezette glooiing,
- de stortsteen glooiing
- de prepaktglooiing (ca 30 cm grind, over de bovenste 15 cm gepenetreerd met cement, waaraan een z.g. "intrusion aid" is toegevoegd),

Nadelen van deze constructie zijn de starheid (geen weerstand tegen zettingen) en in verband met de relatief beperkte waterdoorlatendheid geringe weerstand tegen sterke dynamische belastingen door scheepsgolven, waardoor over grote lengte scheurvorming kan optreden en aanzienlijke schade ontstaat.

- de steenasfaltglooiing.

Deze constructie bestaat uit een hoog percentage steen (b.v. 85 à 90 gewichts-%) van b.v. 30/60 mm (afhankelijk van de ondergrond). De steen wordt omhuld met een geringe hoeveelheid asfaltmestiek en aan elkaar gekit. De steen (kalksteenslag) en de mestiek worden apart verhit (de steen tot 80 à 90°C) en daarna gemengd.

Het resultaat is een open constructie, waarmee nog geen ervaringen op langere termijn zijn opgedaan.

4.6 De keuze

De te maken keuze wordt bepaald door

- de kosten
- de te verwachten zettingen van de ondergrond
- de waterstanden (gesloten of open constructie)
- en de hiervoor gememoreerde ontwerpeisen en randvoorwaarden.

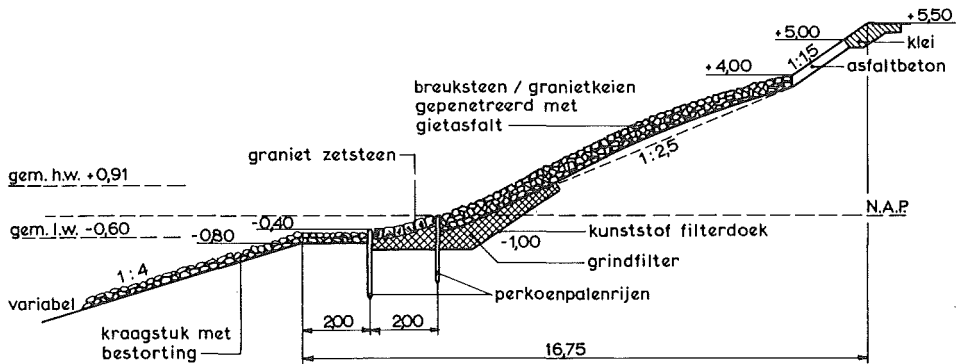
5 TOEGEPASTE CONSTRUCTIES

Ten slotte zijn als voorbeeld enkele recentelijk toegepaste bekledingsconstructies behandeld, waaruit met name de rol, die de kunststoffen vervullen, valt af te leiden.

5.1 Met gietasfalt gepenetreerde stortsteenglooiing, berm en kraagstuk bestort (figuur 3, [literatuur 4]).

Opmerkingen

Bij het ontwerp is rekening gehouden met waterstanden in het achterliggende terrein van 3 m + N.A.P., voorts met stormvloedstanden tot 3,65 m + N.A.P., in enkele uren dalend tot 0,20 -N.A.P. De bermbestorting is, afhankelijk van de plaats, berekend op zeegolven, variërend van 6 m tot 2 m.



Figuur 3 Met gietasfalt gepenetreerde startsteenglooiing

Beneden G. H. W. is een royale grindkoffer aangebracht, aan de binnenzijde afgedicht met polypropreen bandweefsel op rietmat gestikt en doorlopend tot onder de met zetsteen afgedekte teen. Deze grindkoffer waarborgt de uitstroming van water en leidt tot een verminderde dikte van het onderste deel van de gepenetreerde laag.

Het onderwatertalud is tot 3.00 m -N. A. P. voorzien van een kraagstuk van p. p. -bandweefsel met rietmat, voorzien van een roosterwerk van wiepen, bestort met stortsteen 10/80, waarbij op de bermen naar gelang van de te verwachten golf-aanval een zwaardere bestorting is toegepast. De berekening van het steengewicht geschiedt met de formule van Iribarren/Hudson [literatuur 3], of met de in [literatuur 1] gegeven formules. De bedoelde formules zijn ontwikkeld voor zee-golven, loodrecht op een talud. Voor langs een talud lopende scheepsgolven staan (nog) geen algemene formules ter beschikking.

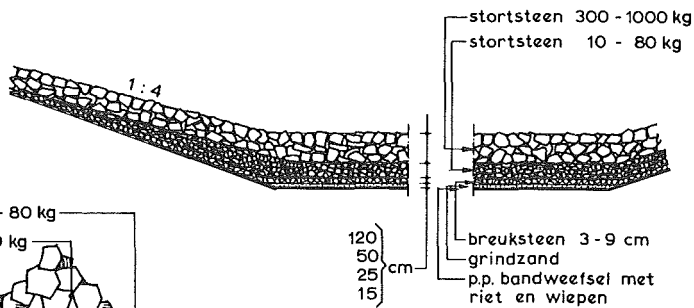
Met de constructie zijn goede ervaringen opgedaan en tot nu toe is weinig onderhoud nodig, behalve op die plaatsen, waar een te lichte bermbestorting is aangebracht.

5.2 Glooiing, afgedekt met stortsteen

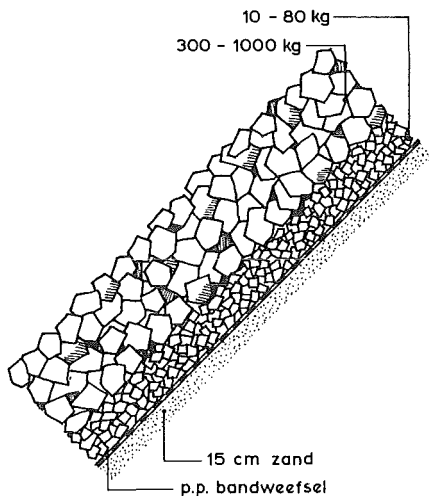
De klassieke dikke filterconstructie (figuur 4), opgebouwd uit lagen, waarvan de n-de ondoordringbaar is voor de (n-1)^{de} laag en waarin een gelijkmatig verhang is gewaarborgd [literatuur 1], wordt alleen nog toegepast in situaties, waar géén reparaties mogelijk zijn en waar men nog niet durft vertrouwen op de eeuwigdurende onvergankelijkheid van kunststofweefsels.

Elders zijn de onderlagen vervangen door een kunststofweefsel, bij klei of gelaagde grond op een onderlaag van 15 à 30 cm zand (figuur 5). Om beschadiging van het weefsel te voorkomen en verwerking te vergemakkelijken (wind), wordt een rietmat opgestikt. Tussen de zware bestorting en het weefsel wordt een tussenlaag aangebracht, die twee functies heeft. In de eerste plaats voorkomen, dat de grove steen door het weefsel drukt, in de tweede plaats waarborgen, dat het weefsel gelijkmatig wordt aangedrukt en bij dynamische belasting door golven niet gaat klapperen en verplaatsing van zand inleidt.

Het risico van deze constructies is de juiste berekening van het steengewicht. Verbetering in de onderlinge samenhang wordt bereikt door de steen te schikken en niet los te storten.



Figuur 4 Filterconstructie



Figuur 5 Stortsteenglooiing

5.3 Steenasfalt glooiing

Steenasfalt (figuur 6) is een nog jonge constructie, waarvan de deugdelijkheid op lange termijn nog moet worden bewezen. Aantrekkelijke elementen zijn bij de stijgende prijzen van asfaltprodukten de geringe hoeveelheid te verwerken bitumen, alsmede de openheid en flexibiliteit bij zettingen van de ondergrond.

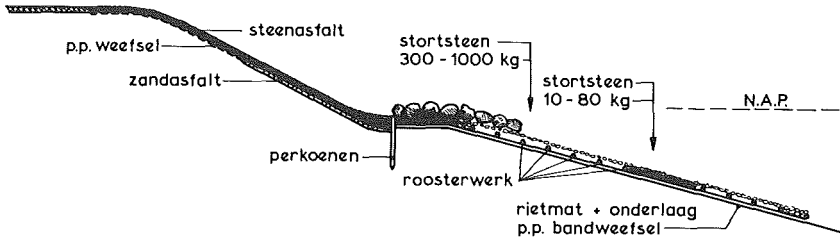
De steenasfalt wordt gestort op kunststofweefsel met opgestikte rietmat; het blijkt, dat de hitte door de rietmat voldoende lang wordt afgeschermd om smelten van het weefsel te voorkomen. In de golfzone wordt het produkt op zandasfalt aangebracht om niet gedwongen te zijn uitgerold doek onmiddellijk na aanbrengen af te storten.

Tot nu toe zijn in proefvakken goede resultaten bereikt. Als risico's worden (nog) onderkend "stripping" en aantasting door olie van de dunne bitumenhuid, U.V. - straling en eventueel gevoeligheid voor mechanische beschadigingen.

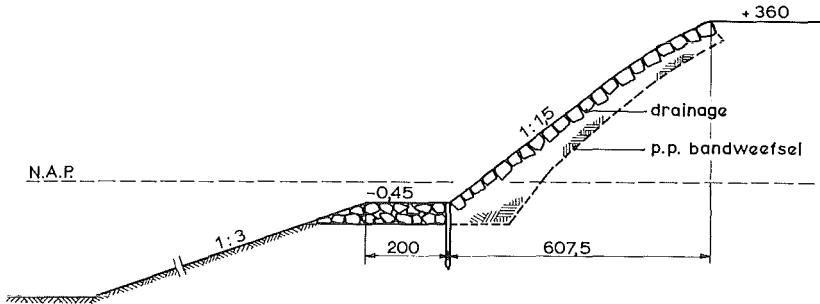
5.4 Zetsteenglooiingen

Zetsteenglooiingen (figuur 7) worden aangebracht op kunststofweefsel, met daarop een drainagelaag. Gebruikt worden zetsteen of betonblokken; betontegels vormen een zeer dichte constructie en zijn een zorgelijk punt bij eventueel verstopt raken van de drainage, aangezien het water naar beneden moet kunnen ontwijken.

Uit zetsteen vervaardigde glooiingen behoren tot de fraaiste uit de waterbouwkunde, doch lenen zich moeilijk voor berekening, aangezien de wrijving van de elementen onderling moeilijk valt te schatten.



Figuur 6 Steenasfaltglooiing



Figuur 7 Zetsteenglooiing

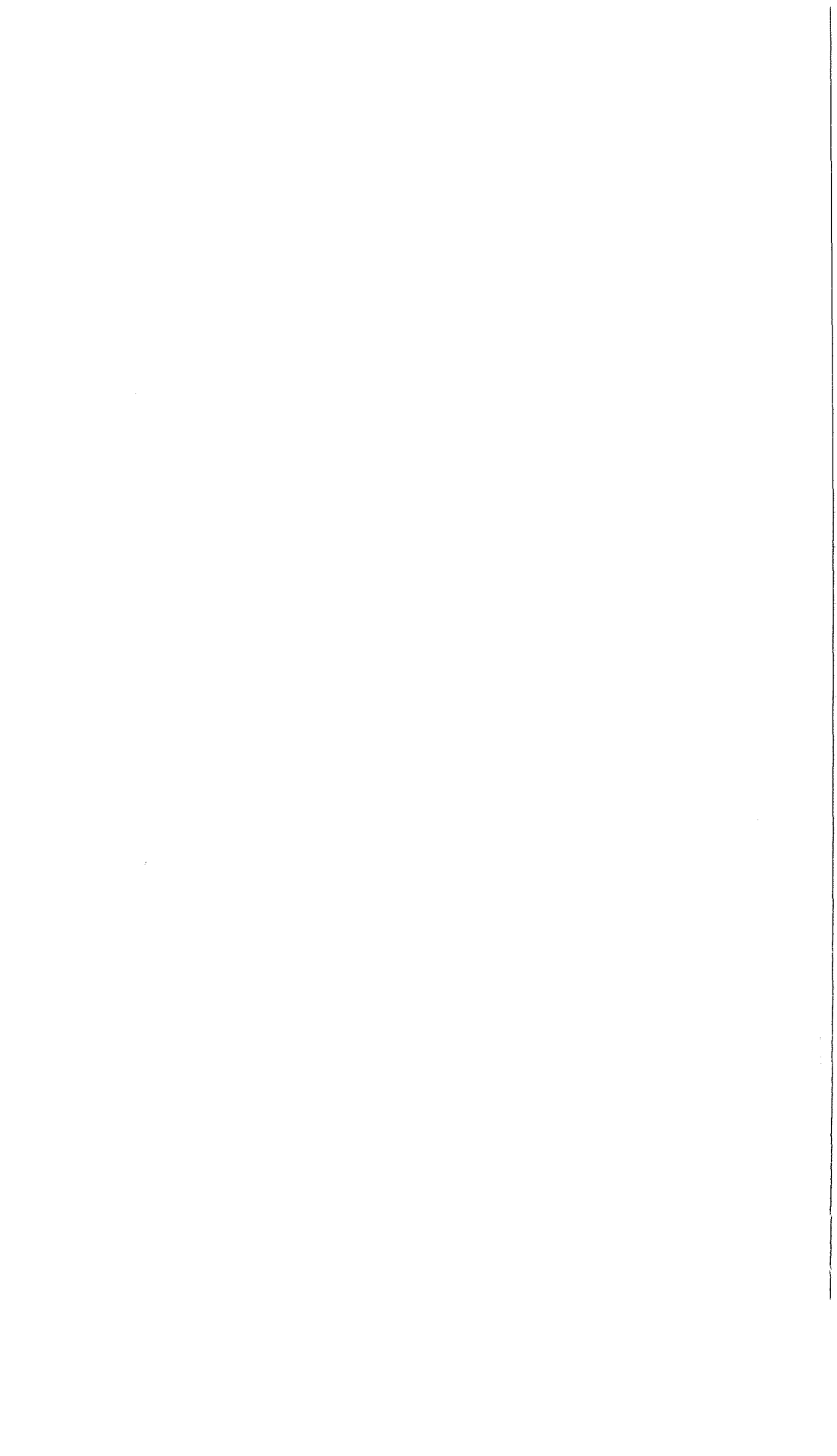
6 CONCLUSIES

Ten slotte kunnen vanuit de kant van de ontwerper de volgende conclusies worden gesteld:

- De toenemende grootte van de schepen en vooral de in sterke mate olopende vermogens, gepaard gaande met sterke aanval op de oevers, nopen tot zorgvuldig construeren.
- De constructeur dient nauwlettend toe te zien, dat aan alle basiseisen en vooral aan die ten aanzien van de zand-doorlatendheid, wordt voldaan. Vooral bij golf-aanval dient ter dege te worden voorzien, welke vaart in het betreffende kanaal-gedeelte in de toekomst mag worden verwacht en of niet geheel zanddichte onderdelen dan tot schade aanleiding kunnen geven.
- Verdergaande studie en onderzoek om bekledingsconstructies beter voor berekening toegankelijk te maken, is onontbeerlijk. Momenteel worden de ontwerpers bij belangrijke projecten steeds gesteund door waterloopkundig onderzoek en toetsing middels proefvakken.
- Aan de hand van enkele grepen uit recent toegepaste constructies is aangetoond, dat kunststofweefsels een niet meer weg te denken rol vervullen bij de oever-verdedigingen, doch tevens, dat met de meeste zorg een optimale keuze moet worden gedaan in samenhang met gegevens over de aanwezige ondergrond.

7 LITERATUUR

- 1 Permanent International Association of Navigation Congresses, XXII nd Int. Nav. Congr., France 1969. Section I, subject 6.
(v. Bendegom, Bouwmeester, Bokhoven, Boer, Span)
- 2 ir. E. Horvat: Ervaringen met de aanleg van oevervoorzieningen in het Rotterdamse havengebied. 3 Enkele grondmechanische aspecten. De Ingenieur 1971 nr. 3B 17.
- 3 Technical report nr. 4.
U.S. Army Coastal Engineering Research Center:
Shore Protection, Planning and Design.
- 4 ir. P. Boer: Taluds in de zeehaven Europoort.
De Ingenieur 1971 nr. 2B 7.



Uitvoering oeververdedigingsconstructies

ir. A. Nijdam

INHOUD

| | | |
|---|-----------------------|-----|
| 1 | Algemeen | 115 |
| 2 | Onderwatergedeelte | 115 |
| 3 | Bovenwatergedeelte | 117 |
| 4 | Nieuwe ontwikkelingen | 118 |

1 ALGEMEEN

Oeververdedigingsconstructies worden in het algemeen aangelegd om aantasting van oevers door golfslag (soms ook door stroom) tegen te gaan. Het gebied waarin aantasting van de oevers optreedt ligt derhalve rond de waterlijn. Zeer globaal 1 à 2 x de golfhogte beneden en boven de waterlijn. In tijgebieden onder de L.W. -lijn en boven de H.W. -lijn. (zie figuur 1).

De werkmethode voor het aanbrengen van de verdedigingswerken onder en boven water zijn geheel verschillend.

Dientengevolge zijn ook de constructies van de twee delen veelal geheel verschillend.

We zijn zelfs zo op z.g. "tijwerk" ingesteld dat we op kanalen met een vast peil soms zelfs H.W. en L.W. creëren en op rivieren wachten op L.W. standen om teenconstructies te kunnen maken.

2 ONDERWATERGEDEELTE

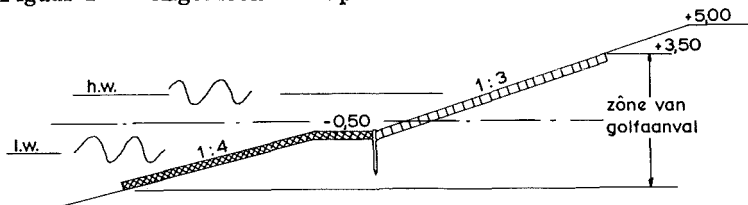
Voor het beneden de (laag) waterlijn gelegen gedeelte werden vroeger vrijwel uitsluitend klassieke kraagstukken (eigenlijk zinkstukken) toegepast. In enkele gevallen werd volstaan met het aanbrengen van een bestorting. De werkmethode voor het maken en zinken van de kraagstukken waren vrijwel identiek aan die welke werden toegepast bij het zinkwerk. Voor het gelijkmatig aanbrengen van bestortingen zijn de laatste decennia speciale "steenstorters" ontwikkeld. Dit zijn z.g. "zijlossers", veelal voorzien van een doseerinstallatie. In figuur 2 is schematisch een overzicht gegeven van de in gebruik zijnde steenstorters.

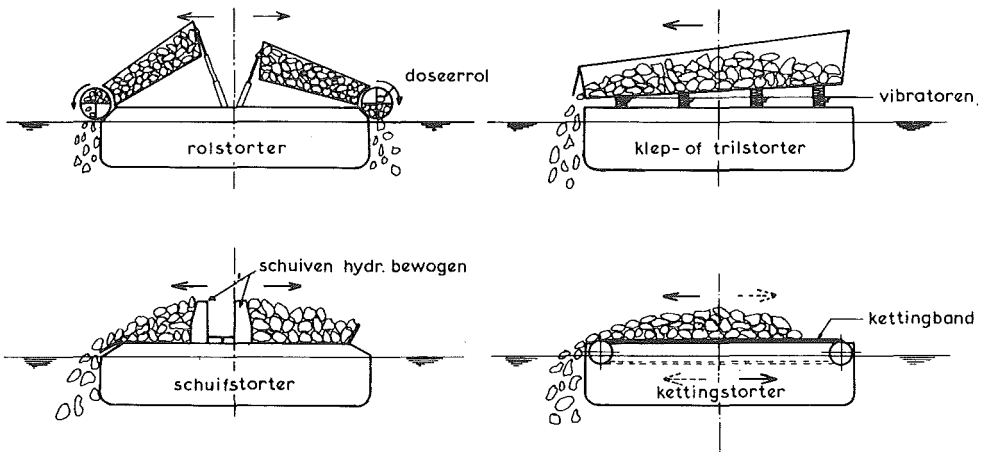
Ten behoeve van de ontwikkeling van de steenstorters zijn voor enkele typen proeven verricht om een inzicht te verkrijgen in de gelijkmatigheid waarmee de bestorting kan worden aangebracht. Figuur 3 geeft een beeld van de nauwkeurigheid die bij een goede uitvoering bereikt kan worden. In deze figuur is de relatie tussen het bestorte gebied en de aangebrachte bestorting aangegeven. Uitgaande van een minimale bestorting kan de "theoretisch gemiddelde" bestorting worden bepaald. De mechanisatie van het zinkwerk heeft geleid tot ingrijpende wijzigingen in het oeververdedigingswerk. De werkmethode voor de fabricage van kraagstukken verschilt in principe niet van die van zinkstukken, zodat gebruik kan worden gemaakt vande ervaringen op dit gebied.

Uitgebreide studie van bodembeschermingsconstructies heeft geleid tot de toepassing van kunststoffen in de zinkstukken. Ook bij de kraagstukken hebben kunststoffen hun weg gevonden. De toepassing van deze kunststoffen hebben echter geen wezenlijke invloed gehad op de werkmethode.

De productie kon echter, vooral door de mechanisatie, aanzienlijk worden opgevoerd. Hierdoor kon een aanzienlijke kostenbesparing worden bereikt, vooral in die gevallen waar het kraagstuk bestaat uit een licht filterdoek met alleen wiepen en een lichte bestorting. Ter illustratie zijn in figuur 4 het verloop van de loonkosten en de producties in de tijd aangegeven voor "klassieke" en "moderne"

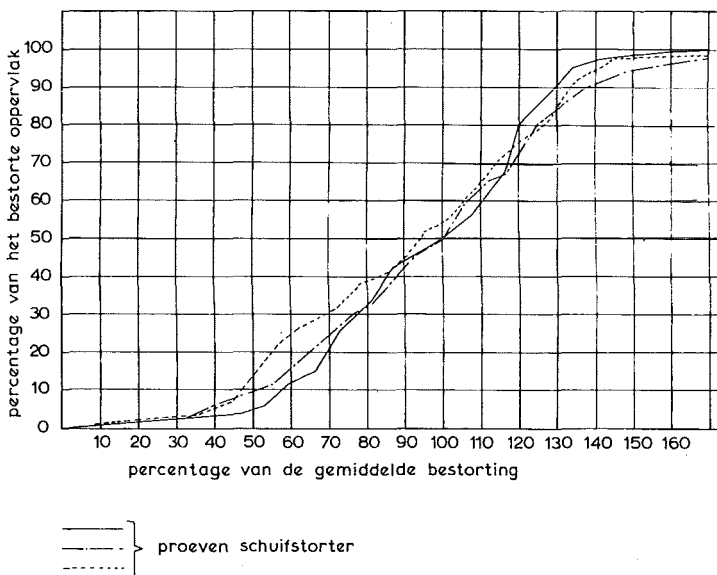
Figuur 1 Algemeen dwarsprofiel



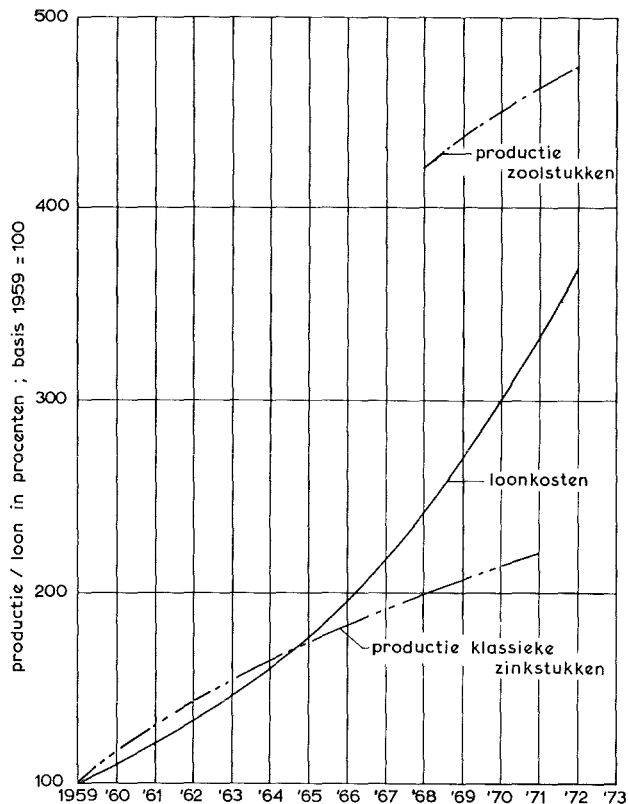


Figuur 2 Diverse typen steenstorters

Figuur 3 Verdeling van de bestorting



kraagstukken (hier zoolstukken genoemd). Deze gegevens zijn ontleend aan grote zinkwerken en hebben uiteraard geen algemene geldigheid. Ze geven echter een indruk wat door mechanisatie en rationalisatie is bereikt. Voor oeververdedigingswerken zijn de op het zinkwerk geijkte methoden en het materieel niet altijd toepasbaar omdat de waterdiepte in het algemeen te gering is. Voor enkele grotere werken is in sommige gevallen specifiek materieel gebouwd. Zo zijn b. v. voor enkele gevallen steenstorters met een zeer beperkte diepgang gebouwd. De toepassing van asfalt in de waterbouw heeft geleid tot de ontwikkeling van geprefabriceerde matten en in situ aangebrachte lagen. Ook hiervoor is in enkele gevallen specifiek materieel gebouwd.



Figuur 4 Verloop loonkosten en producties

3 BOVENWATERGEDEELTE

Voor het boven de (laag) waterlijn gelegen gedeelte werden tot voor kort vrijwel uitsluitend glooiingen van natuursteen, later ook kunststeen toegepast. Een essentieel onderdeel van de glooiing is de teenconstructie (damwand, perkoerij, teen-schot). Juist deze teenvoorziening, essentieel als steun voor de glooiing bleek in de uitvoering kritisch te zijn. Vooral in tijgebieden waar over het algemeen slechts enkele uren aan de teenconstructie gewerkt kan worden, is de voortgang hiervan maatgevend voor de gehele oeververdediging. De natuursteenglooiingen zijn zeer arbeidsintensief. Mechanisatie is, behoudens transport van materialen, nauwelijks mogelijk. De produktie ligt in orde van grootte van $1 \text{ m}^2/\text{manuur}$.

Toepassing van kunststeen, vooral betonblokken, gaf de mogelijkheid tot mechanisatie. De produktie hiervan kon tot het vijf- à tienvoudige worden opgevoerd. Vooral bij nieuwe werken, waarbij in korte tijd grote oppervlakten moesten worden verdedigd, heeft dit op uitgebreide schaal toepassing gevonden. (Deltawerken - dijkverhogingen).

Na de ramp zijn op vele plaatsen asfaltbetonglooiingen toegepast. De toegepaste werkmethode is vrijwel geheel gebaseerd op het maken en verwerken van asfaltbeton in de wegenbouw. In enkele gevallen werden speciale machines ingezet voor het verwerken van asfaltbeton op taluds. Ter vermindering van wateroverdrukken worden de laatste tijd vrijwel geen gesloten asfaltbekledingen meer toegepast. In de plaats hiervan worden steeds meer open asfaltconstructies gemaakt. De uitvoering van de constructie vergt geen bijzondere problemen.

4 NIEUWE ONTWIKKELINGEN

De klassieke oeververdedigingsconstructies hebben de laatste jaren steeds meer plaats moeten maken voor modernere constructies. Hoewel exacte cijfers hierover ontbreken kan een globale indruk hierover worden verkregen uit de door de Nederlandse Vereniging voor Kust- en Oeverwerken verzamelde gegevens. (Zie figuur 5). Uit het overzicht blijkt dat de "met de hand" gezette glooiing (natuursteen en koperslokblokken) terugloopt, terwijl de mechanisch verwerkte glooiing (betonblokken) toeneemt.

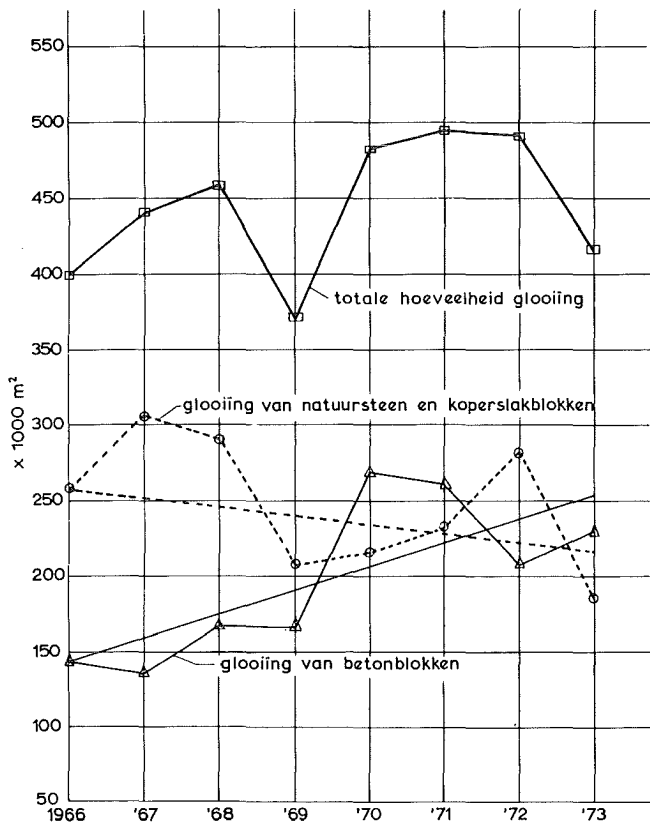
Hoewel de materialen sterk gewijzigd zijn en ook een aantal handelingen konden worden gemechaniseerd, blijven enkele uitvoerings-technische bezwaren bestaan. Deze bezwaren zijn in hoofdzaak:

- 1 het arbeidsintensieve karakter van een groot aantal constructies;
- 2 het niet stabiel zijn van de constructie tijdens de uitvoering.

Bij het ontwerpen van nieuwe typen oeververdediging zal met deze facetten rekening gehouden moeten worden.

Ad 1. De grote verscheidenheid van constructies maakt rationalisatie van het uitvoeringsproces moeilijk. Dit vooral ook omdat vele plaatsen moeilijk bereikbaar zijn voor groot materieel.

Figuur 5 Jaarlijks verwerkte glooiing in Nederland



De teenconstructie, essentieel onderdeel van een glooing, is een "storend" element bij de uitvoering. Het feit dat dit onderdeel van het werk bovendien veelal vlak boven de LW-lijn moet worden uitgevoerd maakt het extra moeilijk.

In tijgebieden is maar een korte tijd beschikbaar, waardoor oneconomisch wordt gewerkt.

Ad 2. Het merendeel van de oeververdedigingsconstructies bestaat uit meerdere lagen, b. v.:

krammat - vlijlaag - zetsteen ; mijnsteen - steenslag - betonblokken ; filterdoek - steen - gietasfalt.

De onderlagen zijn in het algemeen niet stabiel. Behalve voor werken waar tijdens de bouwfase weinig of geen aanval optreedt, (b. v. bij aanleg in den droge of nieuwe scheepvaartkanalen) stelt dit vaak bijzondere eisen aan de uitvoering. De afzonderlijke onderdelen moeten dan meestal direct na elkaar, vaak in één "tij" worden aangebracht. Dit maakt een rationele uitvoering, waarbij mensen en machines steeds dezelfde handelingen doen, moeilijk.

Bij nieuwe constructies zal voor zover mogelijk aan bovengenoemde bezwaren tegemoet worden gekomen.

Om een inzicht te verkrijgen in welke richting verbeteringen moeten worden gezocht zijn voor enkele standaardconstructies kostenanalyses gemaakt. Hoewel uiteraard elk type een ander dwarsprofiel vraagt, is voor alle gevallen een gemiddeld profiel aangehouden om onderlinge vergelijking mogelijk te maken. (zie figuur 1).

De vier standaardconstructies zijn:

- a klassieke rijshouten kraagstukken, teenconstructie met gezette natuursteen-glooing (wordt vrijwel niet meer toegepast).
- b kraagstukken van filterdoek, al of niet met rijshout en wiepen, teenconstructie en betonblokkenglooing;
- c filterconstructie opgebouwd met een of meer grindlagen en een laag stortsteen;
- d filtermatglooing, zoals b. v. Gobimat, steenasfaltmat, blokkenmat, grindworstenmat.

Ter illustratie zijn voor de verschillende typen in figuur 6 het benodigde aantal arbeidskrachten aangegeven dat nodig is om 30 m oeververdediging per dag of "tij" te maken.

Voor de verschillende standaardtypen zijn voorts de totaalkosten per m¹ oever berekend en onderverdeeld in:

- 1 aankoop van de materialen franco werk;
- 2 materieelkosten op het werk;
- 3 arbeidskosten op de bouwplaats.

In figuur 7 zijn deze kosten aangegeven. Het blijkt dat voor de klassieke constructie de arbeidskosten hoog zijn en voor de filterconstructie en de filtermatoplossing het laagst. De materieelkosten zijn in alle gevallen vrij laag, behalve bij de filteroplossing

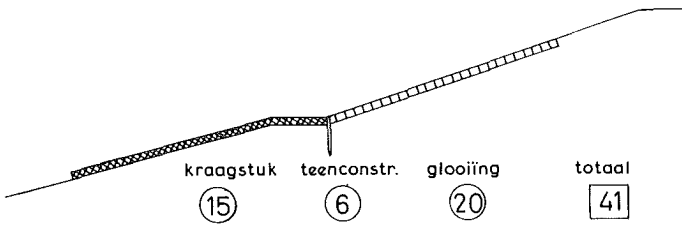
Het aanbrengen van de filterlagen, vooral onder water, vraagt specifiek materieel. Figuur 8 geeft voor de verschillende oplossingen de kostenverdelingen in percentages. Het blijkt dat voor alle oplossingen de kosten van de materialen het leeuwendeel van de kosten uitmaakt (circa 75%).

De arbeidskosten belopen + 20% bij de klassieke oplossing; bij de moderne oplossingen slechts + 5%.

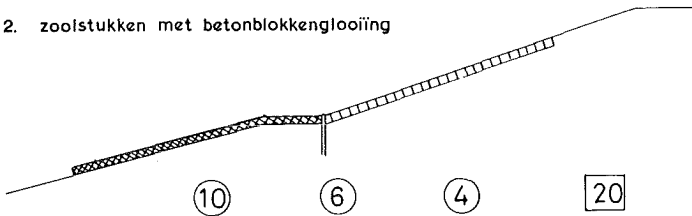
Uit de analyses blijkt dat kostenbesparingen in de eerste plaats in de aankoop (inclusief het transport) gezocht moeten worden.

Verbeterde werkmethoden kunnen weinig besparing opleveren. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat bij de analyse uitgegaan is van "grotere" werken. Hierbij is dus geen rekening gehouden met "onrendabele" kleinere werken, waarbij de kosten op de bouwplaats aanzienlijk hoger kunnen liggen.

1. klassiek rijshouten kraagstukken met natuursteenglooiing



2. zoolstukken met betonblokkenglooiing



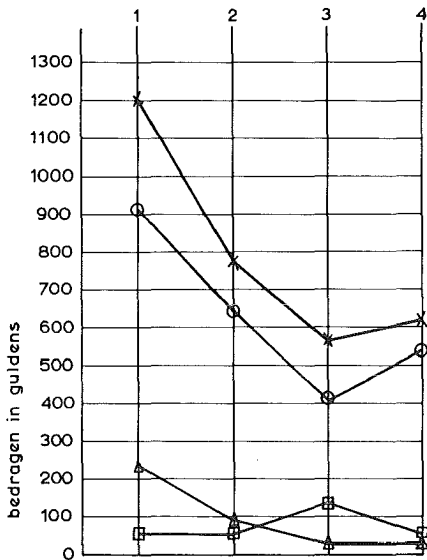
3. filterconstructie

[4]

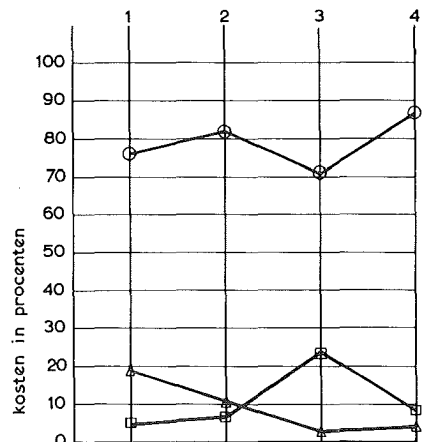
4. filtermatconstructie

[4]

Figuur 6 Aantal arbeidskrachten voor 30 m¹ oeververdediging



X totaal kosten 1 }
 O koop 2 } zie fig. 6
 □ materieel 3 }
 Δ arbeid 4 }



O koop 1 }
 □ materieel 2 } zie fig. 6
 Δ arbeid 3 }
 4 }

Figuur 7 en 8 Kostenanalyse per m¹ oeververdediging

Bestuur en ledenlijst

Nederlandse Vereniging Kust- en Oeverwerken

BESTUUR

| | |
|--------------------------|-------------------|
| ing. F. C. Baumann | - voorzitter |
| G. Dekker | - vice-voorzitter |
| ing. A. W. G. van Hattum | - secretaris |
| E. Hakkenes | - penningmeester |
| ing. W. Drooger | - lid |
| C. Vervoorn | - lid |

Algemeen secretaris
ing. M. E. Bekker

LEDEN

| | | | |
|----|--|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Aann. Comb. Zinkwerken | Avelingenweg 14 | Gorinchem |
| 2 | Fa. B. H. Alblas | Jan Steenstraat 16 | Sliedrecht |
| 3 | Alblasserdams Aann. bedr. N. V. | Hogendorpweg 76 | Alblasserdam |
| 4 | J. S. H. Baumann B. V. | Händelstraat 4 | Grave |
| 5 | Fa. S. Bezuijen & Zn. | Haven A 485 | Ouddorp |
| 6 | Bitumarin B. V. | de Vireusingel 8 (postbus 42) | Zaltbommel |
| 7 | A. H. Breijns & Zonen B. V. | Oostmaaslaan 219 (postbus 4290) | Rotterdam |
| 8 | P. Daalder's Aann. bedr. B. V. | Emmastraat 30 (postbus 158) | Alkmaar |
| 9 | B. V. v/h J. M. Dekker & Zn. | Westeind 165 (postbus 12) | Papendrecht |
| 10 | Dijkers en Pijl B. V. | Kon. Julianaweg 14 (postbus 80) | Middelharnis |
| 11 | Fa. Gebr. van Genderen | A. v. Scheltemastraat 9 | Sliedrecht |
| 12 | Aann. mij. Gebr. Hakkers B. V. | Groene Kruisplein 6 | Werkendam |
| 13 | B. V. Aann. bedr. v/h Fa. W. van Hattum & Zn. | Bolwerk "De Kat" no. 1 Veerweg 34 | Zaltbommel Kamperland |
| 14 | A. van Hee | Buzziburglaan 12 | Liebergen |
| 15 | C. V. Gebr. v. d. Heuvel | Hoofdstraat 84 a (postbus 113) | Leiderdorp |
| 16 | C. J. v. d. Hoeven B. V. | Boorstraat 31 | H'-veld-G'dam |
| 17 | H. Huisman | K. v. d. Sandestraat 21 | Werkendam |
| 18 | Aann. bedr. H. Ippel B. V. | Industrieweg 55 (postbus 132) | Sliedrecht |
| 19 | Gebr. de Jager B. V. | Kleitelweg 2 | Wieringen |
| 20 | P. Klein & Zn. B. V. | Hoogstraat 44 | Werkendam |
| 21 | B. V. Aann. bedr. de Klerk | N. O. Singel 7 (postbus 17) | Harlingen |
| 22 | B. V. Aann. bedr. v/h I. C. Kooyman & Zn. | Rivierdijk 134 (postbus 180) | Sliedrecht |
| 23 | Fa. N. Kraayeveld | Oranjestraat 59 | Sliedrecht |
| 24 | P. K. Kraayeveld | Westvlietweg 93 | Leidschendam |
| 25 | Aann. bedr. J. P. Krijgsman B. V. | Korfwaterweg 6 | Petten (N. H.) |
| 26 | Fa. Kuiper & Leeuwenkamp | Sasdijk 55 | Werkendam |
| 27 | C. D. van Loon Joh. Zn. | Mauritsweg 155 (postbus 28) | Ridderkerk |
| 28 | Aann. bedr. Luymes en Bal en v. d. Straaten B. V. | Buitendams 498 b | H'-veld-G'dam |
| 29 | Fa. B. de Mik | Buitendams 345 | H'-veld-G'dam |
| 30 | Fa. J. de Mik | Ark Josephine, Stadsblokkenweg | Arnhem |
| 31 | Aann. bedr. P. F. Mouton | | |

| | | | |
|----|---|--------------------------------------|------------------------|
| 32 | Aann. mij. B. M. v. Noordenne B. V. | Dreef 8a | Kockengen |
| 33 | Aann. mij. van Oord-Utrecht N. V. | Wethouder Hollaan 1 (postbus 15) | Odijk (Gem. Bunnik) |
| 34 | Van Oord-Werkendam B. V. | Sasdijk 34 (postbus 8) | Werkendam |
| 35 | Gebr. van Oord B. V. | Laantje 2 | Werkendam |
| 36 | B. V. Aann. bedr. L. Paans & Zn. | Molenplein 1 (postbus 37) | Werkendam |
| 37 | Reef Oldenzaal B. V. | Parkweg 64 | Voorburg |
| 38 | Fa. T. Slagboom & Zn. | Waalstraat 75 | Sliedrecht |
| 39 | Aann. bedr. Stegink B. V. | Verl. P. Krugerstr. 263 | Vlissingen |
| 40 | Fa. v. d. Stelt & Vervoorn | Kappenwaard 3 | Werkendam |
| 41 | C. V. Gebr. van 't Verlaat | Rivierdijk 561 (postbus 32) | H'-veld-G' dam |
| 42 | Visser-Werkendam B. V. | L. Verdoornstraat 6 (postbus 5) | Werkendam |
| 43 | B. V. Aann. bedr. J. v. d. Vlies | Rivierdijk 498 (postbus 11) | Sliedrecht |
| 44 | W. Vlot | Oranjestraat 78 | Sliedrecht |
| 45 | B. V. West Nederland | Veerweg 52 | Papendrecht |
| 46 | H. Woning & Zn. B. V. | St. Nicolaasdijk 99 | Kampen |
| 47 | Wijnands-Werkendam B. V. | Steurgat 3 | Werkendam |
| 48 | Aann. bedr. C. H. v. Wijnen B. V. | Westeind 193 | Papendrecht |
| 49 | Holl. Aann. bedr. Zanen Verstoep N. V. | Surinamestraat 29 (postbus 1984) | Den Haag |
| 50 | Aann. bedr. B. V. W. L. Zeelen & | Kanaalweg 102 | Harlingen |
| 51 | Zinkcon B. V. Zn. | Sleeuwijksedijk 26 c (postbus 56) | Werkendam |