

**WATERSPANNINGEN
ONDER DE
ASFALTBEKLEDING
VAN DIJKEN**



2e DRUK

J. F. ASEMMA

WATERSPANNINGEN
ONDER DE
ASFALTBEKLEDING
VAN DIJKEN

2e DRUK,
BEWERKT NAAR DE
VOORDRACHT GEHOUDEN DOOR
IR. W. C. BISCHOFF VAN HEEMSKERCK
OP DE JAARBIJEENKOMST VAN DE V.B.W.,
OP 14 NOVEMBER 1961

1965
UITGAVE VAN DE VERENIGING VOOR
BITUMINEUZE WERKEN V.B.W.
KONINGINNEGRACHT 26, DEN HAAG

VOORWOORD

Nadat Ir. W.C. Bischoff van Heemskerck, thans hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft, in november 1961 een voordracht hield over „Waterspanningen onder de asfaltbekleding van dijken” heeft het bestuur van de V.B.W. niet gearzeld de klare uiteenzettingen over genoemd onderwerp de weg te doen vinden naar een publikatie, welke in de vorm van een boekje aan daarvoor in aanmerking komende belangstellenden werd toegezonden. Het voorwoord hiervan luidde:

„Sinds Vierlingh omstreeks 1578 zijn Tractaet van Dijkagie deed verschijnen is er veel veranderd in de dijksbouw. Was dijksbouw vroeger een vak uitsluitend op de praktijk gebaseerd, tegenwoordig treedt de theorie steeds meer op de voorgrond. Met name is dit het geval bij de toepassing van nieuwe materialen.

Een van deze nieuwe materialen is asfalt, dat de laatste jaren op grote schaal voor taludbekledingen wordt toegepast. Dergelijke bekledingen zijn gevoelig gebleken voor overdrukken, zodat het van belang is, enerzijds met het oog op de veiligheid en anderzijds met het oog op de economie, zich rekenschap te geven van de waterspanningen.

Ir. Bischoff van Heemskerck heeft in zijn lezing die hier is afgedrukt, op duidelijke wijze een beeld gegeven hoe berekeningen en modelproeven aanwijzingen kunnen geven, niet alleen nuttig maar ook noodzakelijk bij het ontwerpen van asfaltbekledingen op dijken.”

Tengevolge van vele navragen en van beschikbaar stellen van een aantal exemplaren ten behoeve van het onderwijs aan de T.H. is de voorraad van bedoelde publikatie thans uitgeput.

De V.B.W. prijst zich gelukkig Ir. E.A. Bosman, ingenieur 1e klasse van de Rijkswaterstaat bij de Deltadienst, bereid gevonden te hebben de tekst van de voordracht, in samenwerking met Prof. Ir. Bischoff van Heemskerck, nog eens kritisch door te nemen. Na het opnemen van enige toevoegingen en het aanbrengen van enkele wijzigingen verschijnt het boekje thans voor de tweede maal.

Moge deze tweede druk een even goede ontvangst ten deel vallen als de eerste!

Vereniging voor Bitumineuze Werken
V.B.W.,
IR. W.N. VAN VLIET
directeur

Waterspanningen onder de asfaltbekleding van dijken

Bij oppervlakkige beschouwing van een moderne Nederlandse dijk zal een buitenstaander zich misschien niet gemakkelijk kunnen voorstellen, dat het ontwerpen van een zo eenvoudige constructie een moeilijke opgave kan zijn. Bittere ervaringen hebben ons Nederlanders echter wel geleerd, dat deze eenvoud slechts schijn is en dat de dijkenbouwer bij het ontwerpen van zijn dijken talloze problemen ontmoet, die hij slechts met kennis van zaken en ervaring kan oplossen.

Met name geldt dit voor de problemen, die samenhangen met de stabiliteit van de dijkconstructie en dus met de veiligheid. Deze blijkt in de meeste gevallen bij uitstek afhankelijk te zijn van de grondwaterspanningen, die in het dijklichaam optreden. Voor zover mij bekend zijn vrijwel alle beschadigingen en doorbraken van dijken die in Nederland hebben plaats gevonden, op een of andere wijze veroorzaakt door het optreden van onvoorziene grondwaterstromen.

Het voorspellen van de in het dijklichaam te verwachten waterspanningen is dan ook het belangrijkste probleem waarvoor de ontwerper van een dijk zich ziet gesteld. Zonder deze voorspelling kan hij zich geen oordeel vormen over de stabiliteit van zijn constructie en kan er dus geen sprake zijn van een verantwoord dijkontwerp. De toepassing van bitumineuze taludbekledingen heeft hierin geen verandering gebracht. Voor de betrekkelijk dunne asfaltbekledingen geldt misschien nog meer dan voor de klassieke constructies, dat de ontwerper zich ten volle rekenschap dient te geven van de waterspanningen, die onder deze bekledingen zullen ontstaan.

Met behulp van lichtbeelden, die grotendeels betrekking hebben op voorbeelden uit de praktijk, hoop ik U dit vanmiddag nader toe te lichten.

Alvorens U voorbeelden te geven van in de praktijk te verwachten waterspanningen, moet ik toch eerst proberen het probleem wat scherper te stellen door met U na te gaan op welke wijze de water-

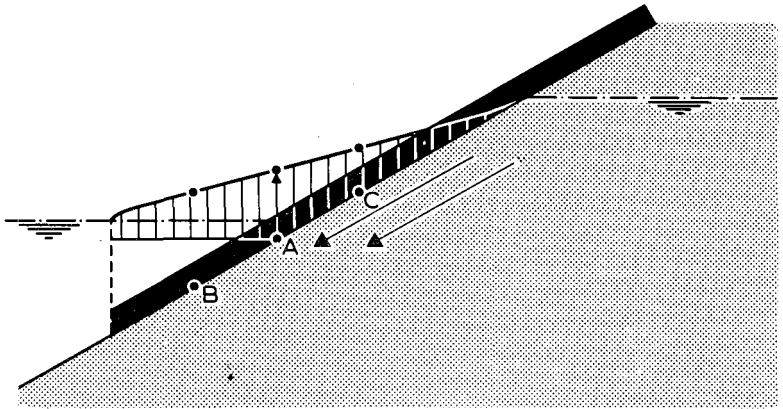


Fig. 1. Plaats van de grootste overdruk beweegt met de buitenwaterstand langs het talud.

spanningen onder de bekleding de veiligheid kunnen beïnvloeden. In het algemeen kunnen wij natuurlijk stellen, dat de veiligheid gewaarborgd is zolang noch het talud noch de bekleding hun stabiliteit verliezen. Wij zullen dus moeten nagaan aan welke eisen moet worden voldaan om te voorkomen dat hetzij het talud hetzij de bekleding bezwijkt.

Criteria voor de vereiste dikte van de bekleding.

Een groot gevaar voor de asfaltbekleding zelf is de overdruk, die hieronder kan ontstaan.

Een asfaltbekleding is weinig doorlatend ten opzichte van het onderliggende materiaal. Dit betekent, dat het grondwater bij het zakken van het buitenwater wordt gedwongen ongeveer evenwijdig aan het talud af te stromen. Het is duidelijk, dat dit gepaard kan gaan met overdrukken tegen de onderzijde van de bekleding. In geschematiseerde vorm is in figuur 1 de lijn van potentialen weergegeven, die op een bepaald moment langs de onderzijde van de bekleding moeten worden verwacht. De overdrukken onder de bekleding zijn door arcering aangegeven. Hieruit blijkt, dat de grootste overdruk steeds zal optreden ter hoogte van de buitenwaterspiegel. Dit betekent dat de plaats van de grootste overdrukken zich met de buitenwaterstand langs het talud naar beneden beweegt. In verschillende punten van het talud treedt dus de grootste overdruk niet gelijktijdig op. In punt A treedt zij eerder op dan in punt B, doch later dan in punt C.

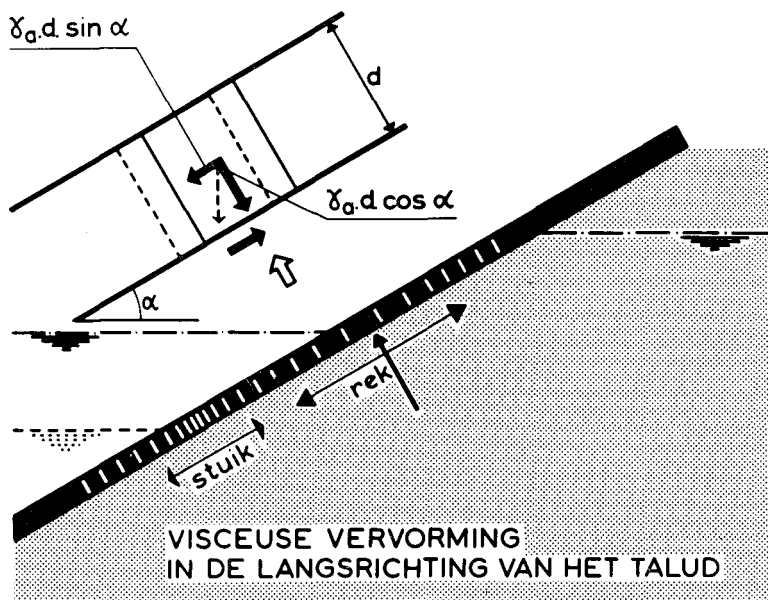


Fig. 2. Criterium voor veelvuldig voorkomende omstandigheden.

De overdruk heeft tot gevolg dat de wrijvingsweerstand tussen de bekleding en het onderliggende materiaal vermindert.

In het gebied waar deze wrijvingsweerstand kleiner is geworden dan de component van het eigen gewicht van de bekleding in de richting van het talud zullen de spanningen in de bekleding aanzienlijk toenemen. Dit gedeelte van de bekleding zal dienovereenkomstig vervormen en gaat daarbij als het ware gedeeltelijk rusten op het onderliggende deel van de bekleding, waar de grootste overdrukken nog niet aanwezig zijn en gedeeltelijk hangen aan het hoger gelegen gedeelte waar de grootste overdrukken reeds voorbij zijn en waar dus een grotere wrijvingsweerstand aanwezig is. Het vervormingsbeeld dat hierbij optreedt is in figuur 2 schetsmatig weergegeven. Op zichzelf zouden deze vervormingen niet erg zijn als wij er maar zeker van waren, dat zij niet visceus (d.w.z. blijvend) zijn. Zou de bekleding zich nl. wel visceus gedragen dan moet deze vervorming vroeg of laat tot bezwijken leiden.

Om dit in te zien moet men bedenken, dat het gebied waar de grootste overdrukken en dus de kleinste wrijvingsweerstand optreden zich met het buitenwater naar beneden verplaatst. Dit wil zeggen, dat het gedeelte van de bekleding dat eerst een zekere steun kan geven later zelf de neiging zal hebben naar beneden af te glijden. Na

het volgende hoogwater herhaalt zich dit; met andere woorden de bekleding heeft de neiging als een rups naar beneden te kruipen. Om de omvang van dit verschijnsel te kunnen beoordelen zou men de visceuze vervorming van de bekleding in de tijd moeten kunnen berekenen. Voorshands is men hierin echter nog niet geslaagd. Een goed gefundeerd criterium kan daarom niet worden gegeven. Voorlopig wordt echter aangenomen, dat het verstandig is om te stellen, dat onder veelvuldig voorkomende omstandigheden (zoals bijvoorbeeld springtij) de wrijvingsweerstand niet kleiner mag worden dan de componente van het eigen gewicht van de bekleding langs het talud. Men kan dit bereiken door de bekleding voldoende dikte te geven. In figuur 3 is dit grafisch weergegeven. De afhankelijkheid van de wrijvingshoek φ blijkt vooral van belang voor de steile taluds. De getallen langs de verticale as geven de vereiste dikte in meters wanneer de overdruk 1 m waterdruk bedraagt. Bij geringere overdrukken wordt de vereiste dikte ook evenredig minder. Van het begin af aan is het duidelijk geweest, dat een aldus geformu-

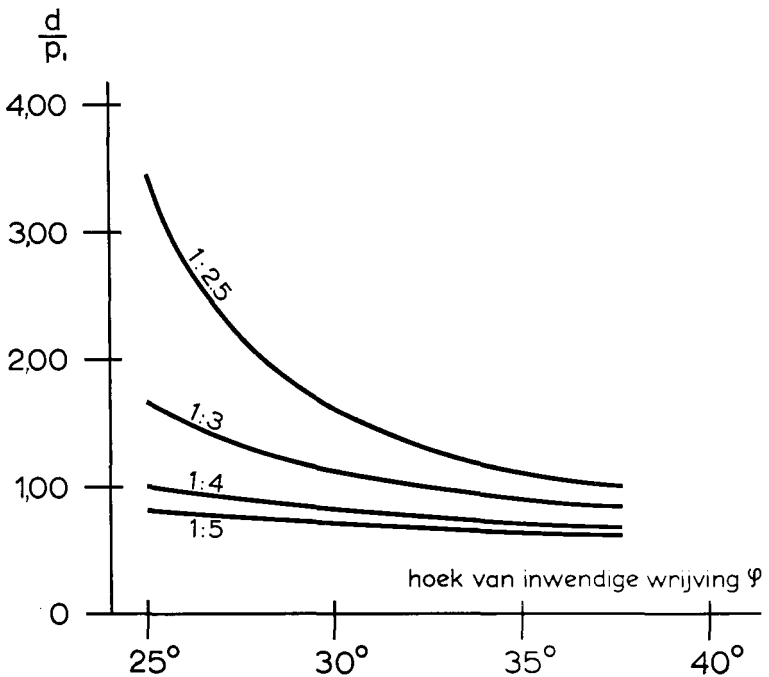


Fig. 3. Vereiste dikte d van waterdichte bekleding met s.g. 2.2 in verband met visceuze vervorming evenwijdig aan het talud (p_i = veelvuldig optredende overdruk in m water).

leerd criterium voor visceuze vervormingen een willekeurig karakter heeft. Voor algemene toepassing is het in deze vorm dan ook onvoldoende.

Door onderzoekingen van Ir. R. E. Kerkhoven is aangetoond, dat met name de temperatuur en de bitumensoort in een dergelijk criterium zouden moeten worden verwerkt. Zo is bijvoorbeeld gebleken, dat toepassing van bitumen 50/60 in plaats van bitumen 80/100, voor zover het scheurvorming door wateroverdrukken betreft, de levensduur met een factor 10 zal verlengen. De invloed van de temperatuur werd tot dusverre alleen aan de hand van enkele sterk geschematiseerde voorbeelden duidelijk gemaakt. De te verwachten temperatuursvariatie werd daarbij verdeeld in intervallen van 5° C. Bij een aangenomen frequentieverdeling hiervan werd vervolgens voor een constante belasting de bijdrage tot breuk in ieder van deze intervallen berekend.

Hoewel voor het interval met de hoogste temperaturen slechts een korte tijdsduur werd aangenomen, bleek hiervan toch de grootste bijdrage tot breuk te moeten worden verwacht. Zo kan bijvoorbeeld $\pm 75\%$ in de vervormingen, die uiteindelijk tot breuk zullen leiden, worden veroorzaakt bij de hogere temperaturen, die slechts gedurende 0,1% van de tijd optreden.

Deze voorbeelden geven uiteraard slechts een kwalitatieve informatie over de invloed van enkele van belang zijnde factoren. Zoals hiervoor reeds werd opgemerkt is men er echter nog niet in geslaagd, deze factoren kwantitatief in rekening te brengen. Een bevredigend criterium voor visceuze vervormingen kan daarom nog niet worden gegeven. Voor de Deltadienst is dit een van de redenen geweest, om het gedeelte van de bekleding dat door overdrukken wordt belast niet meer in asfaltbeton, doch in stortsteen gepenetreerd met gietasfalt uit te voeren.

Extreme omstandigheden duren zo kort, dat men daarbij niet bevreesd behoeft te zijn voor visceuze vervorming. Voor extreme omstandigheden wordt daarom een ander criterium gesteld nl. dat dan de componente van het eigen gewicht van de bekleding in de richting loodrecht op het talud groter moet zijn dan de overdruk onder de bekleding. Het is duidelijk dat met dit criterium wordt beoogd aflichten van de bekleding te voorkomen. De hiervoor vereiste dikte van de bekleding is niet afhankelijk van de wrijvingshoek φ .

Door te voldoen aan deze twee eisen hopen wij dus te voorkomen, dat de bekleding zelf bezwijkt. Vanzelfsprekend moet nu ook nog de stabiliteit van het talud in beschouwing worden genomen.

Het is U allen echter bekend, dat voor het berekenen van de stabiliteit van taluds eigenlijk geen eenvoudige regeltjes kunnen worden

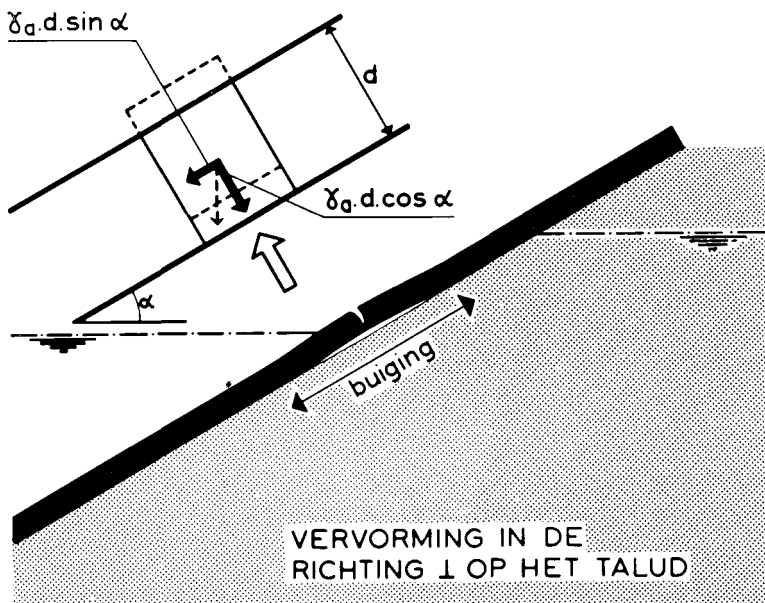


Fig. 4. Criterium voor extreme omstandigheden.

gegeven. Toch kan men met eenvoudige middelen wel enig kwalitatief inzicht verkrijgen, waaruit men dan kan afleiden waar men op moet letten en op grond waarvan men kan bepalen wanneer de hulp van deskundigen moet worden ingeroepen.

Een voorbeeld van een dergelijke benaderende beschouwing is de berekening van het grensevenwicht van een oneindig lang talud, waarop een asfaltbekleding is aangebracht en waarin het grondwater evenwijdig aan het talud afstroomt. De invloed van de bekleding kan in rekening worden gebracht door loodrecht op het talud een belasting q aan te brengen en evenwijdig aan het talud een schuifspanning τ . Voor deze laatste kan een waarde worden aangenomen die afhankelijk is gesteld van de wijze waarop de bekleding van onderen wordt gesteund. De ongunstigste aanname is natuurlijk dat het talud ook in dit opzicht consequent als oneindig lang wordt beschouwd. In dat geval is τ gelijk aan de componente van het gewicht van de bekleding in de richting van het talud.

Als gevolg van de belasting q is niet ieder glijdvlak even gevaarlijk. Voor de diepte van het glijdvlak y moet dus ook een waarde worden aangenomen die logischerwijs afhankelijk moet worden gesteld van de lengte van het talud.

Nadat aldus voor τ en y waarden zijn aangenomen kan de normale

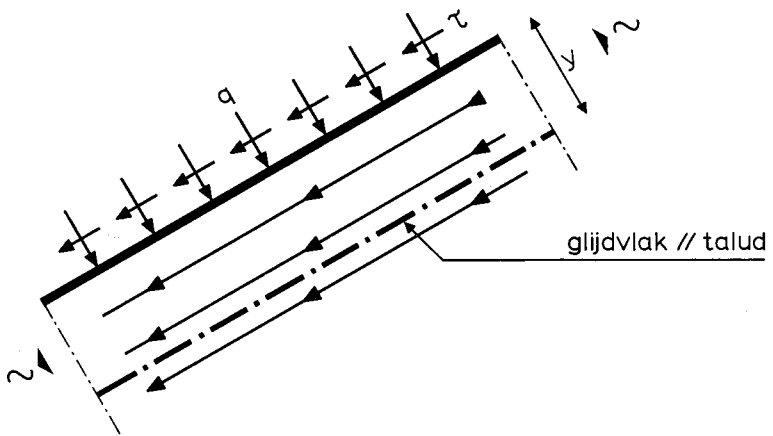
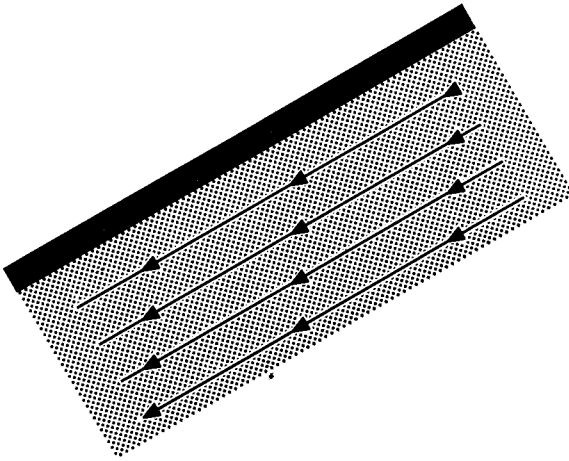


Fig. 5. Schematische voorstelling van het stroombeeld onder een asfaltbekleding en rekenschema voor de beoordeling van de stabiliteit van het talud.

belasting q worden uitgerekend, die nodig is om het talud stabiel te doen zijn. Hieruit kan dan natuurlijk ook de voor stabiliteit van het talud vereiste dikte van de bekleding worden afgeleid. Voor verschillende taludhellingen is het resultaat van een dergelijke berekening uitgezet in figuur 6.

Op de verticale as is in deze figuur de waarde d/y uitgezet, op de horizontale as de wrijvingshoek φ . Men dient te bedenken dat het

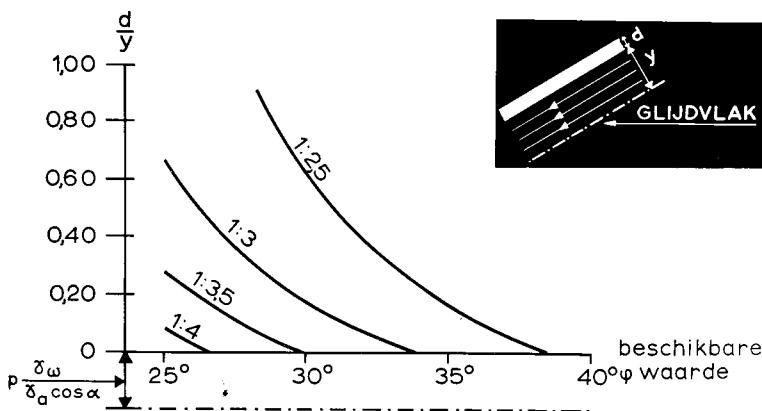


Fig. 6. Vereiste dikte d van waterdichte bekleding met s.g. 2,2 als functie van φ voor verschillende taludhellingen (y = diepte van het glijdvlak t.o.v. de bekleding).

criterium betrekking heeft op korreldrukken en niet op waterdrukken. De op de verticale as uitgezette waarden moeten dus een belasting vormen, die op de korrels rust. Dit wil zeggen dat bij de gevonden waarden voor de vereiste dikte een andere waarde moet worden opgeteld, die nodig is om de waterspanningen op te heffen.

Uit de grafiek blijkt, dat dit criterium voor taludhellingen die flauwer zijn dan 1:4 gewoonlijk niet bepalend zal zijn. Bij een taludhelling van 1:3 en steiler moet men echter ook bij normale φ -waarden voorzichtigheid betrachten.

Voor zeer lage φ -waarden kan het criterium ook bij flauwere hellingen van belang worden. Daarbij zij opgemerkt, dat voor losgepakt, met water verzadigd zand met zeer lage φ -waarden gerekend moet worden. Omdat zich dit niet vaak zal voordoen wil ik daarop thans echter niet ingaan en liever het resultaat van de tot dusverre behandelde criteria nog eens overzien.

In figuur 7 zijn de drie behandelde criteria voor een bepaald geval nog eens grafisch weergegeven.

Welk van de drie criteria moet worden aangehouden blijkt afhankelijk te kunnen zijn van de beschikbare hoek van inwendige wrijving φ . In veel gevallen moet men zich daarom terdege rekenschap geven van de φ -waarde waarop mag worden gerekend. Blijkt dan het criterium voor de stabiliteit van het talud maatgevend te worden, dan doet men verstandig de hulp van gespecialiseerde deskundigen in te roepen.

Om dit alles te kunnen beoordelen moet dus voor ieder ontwerp

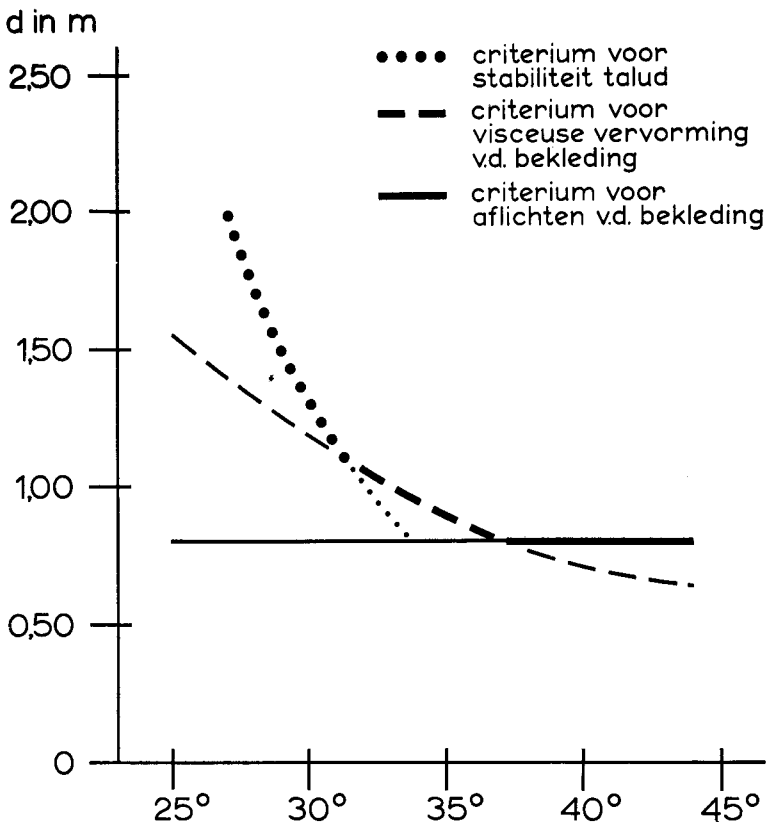


Fig. 7. Vereiste dikte d van de bekleding in m voor een taludhelling 1 : 3, een veelvuldig voorkomende overdruk van 1 m water en een extreme overdruk van 1.70 m water (s.g. van de bekleding 2,2; diepte van het glijdvlak $y = 3$ m).

van een bekleding een dergelijke grafiek worden gemaakt. Omdat de drie lijnen, waaruit de grafiek is samengesteld, in belangrijke mate worden bepaald door de waterspanningen onder de bekleding, moeten wij ons thans afvragen hoe groot deze laatste kunnen worden en door welke factoren zij worden beïnvloed.

De invloed van de doorlatendheid op de waterspanningen.

In dit verband wil ik dan als eerste voorbeeld het geval behandelen waarvan de constructie is weergegeven in figuur 8. Het betreft hier een nieuw aan te leggen zeedijk tussen het eiland Goeree en de schutsluis in het Haringvliet. Zoals U op de tekening ziet aangegeven ver-

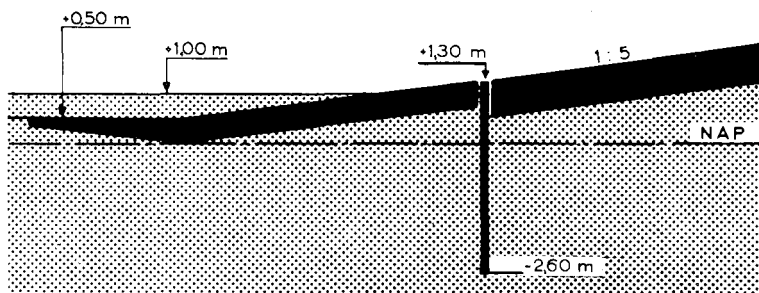


Fig. 8. Teenconstructie van de dijk tussen de schutsluis in het Haringvliet en Goeree.

wacht men dat het hooggelegen strand voor de dijk in stand zal blijven, zodat men een hooggelegen teenconstructie heeft ontworpen. Omdat zowel het dijklichaam als de ondergrond tot voldoende diepte uit zand zullen bestaan, hebben wij hier te doen met een eenvoudig homogeen geval. De enige moeilijkheid van een dergelijk geval is het invoeren van de juiste doorlatendheid. Het is bekend, dat deze in het algemeen van plaats tot plaats in de dijk sterk zal verschillen. Om een indruk van de te verwachten spreiding in de doorlatendheid te verkrijgen is in figuur 9 het resultaat van doorlatendheidsproeven op enkele willekeurige, van fijn tot middelfijn verlopende zandmonsters weergegeven. Elk monster is bij verschillende poriëngehalten beproefd. Hieruit blijkt, dat de doorlatendheidscoëfficiënt K uit de formule van Darcy tussen ruime grenzen kan variëren. In verband met deze variatie werden de bij een bepaalde stormvloed te verwachten waterspanningen berekend voor verschillende waarden van K . De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 10, waarin voor verschillende punten van het talud (afstand x) de op het moment van maximum overdruk te verwachten stijghoogte z boven de bovenzijde van het talud is uitgezet als functie van de doorlatendheidscoëfficiënt K . Uit deze figuur blijkt in de eerste plaats, dat de overdrukken in hoge mate afhankelijk zijn van de doorlatendheid.

Verder blijken de toppen van de verschillende krommen bij verschillende K -waarden te liggen. Dit betekent, dat voor de verschillende punten van het talud steeds een andere K -waarde de grootste overdrukken veroorzaakt. In het gehele gebied waar waterspanningen optreden liggen deze ongunstigste K -waarden binnen de in werkelijkheid te verwachten spreiding in de doorlatendheid.

Omdat deze toevalligheid zich in de meeste gevallen voordoet is het bijna altijd nodig de doorlatendheidscoëfficiënt bij het onderzoek

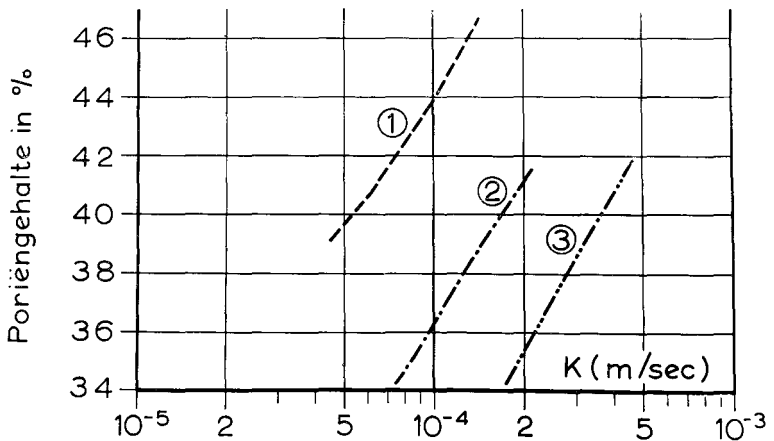
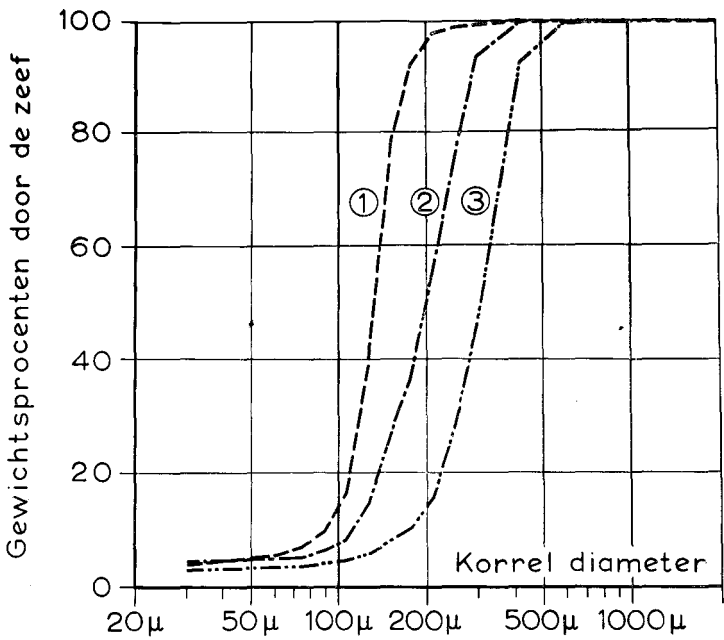


Fig. 9. Doorlatendheidscoëfficiënt K in m/sec van drie willekeurige zandmonsters.

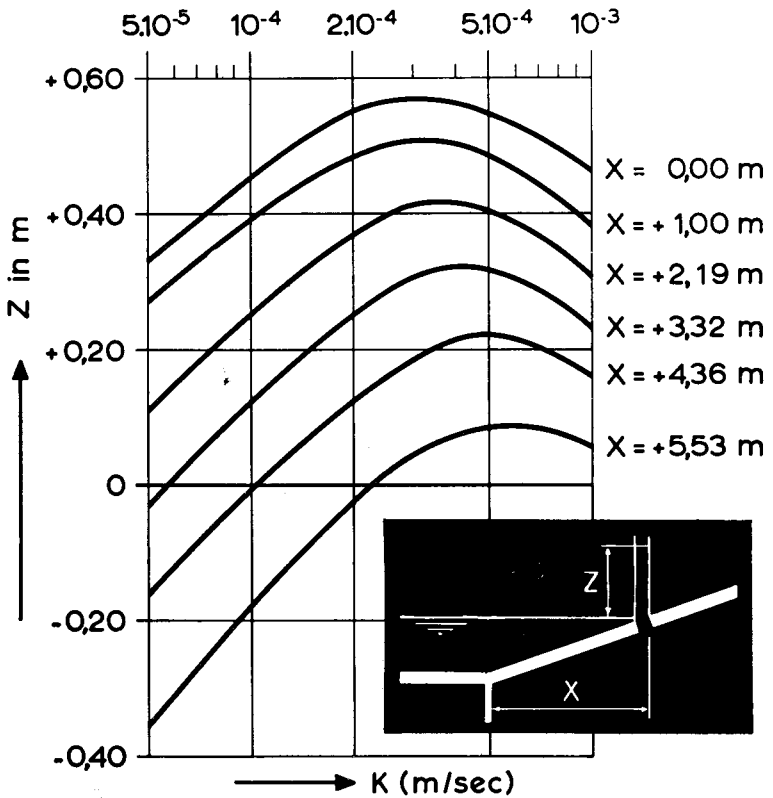


Fig. 10. Stijghoogte op het moment van maximum overdruk in m ten opzichte van de bovenzijde van de bekleding als functie van de doorlatendheidscoëfficiënt K.

naar de waterspanningen systematisch te variëren. Zelfs voor het eenvoudigste geval zal men dus al een aantal berekeningen moeten uitvoeren.

De invloed van inhomogeniteiten in de doorlatendheid.

Het homogene geval doet zich natuurlijk maar zelden voor. Zo zal bijvoorbeeld bij laaggelegen teenconstructies bijna altijd een perskade worden toegepast. Bij de afsluitdam door het Veerse Gat bestond deze perskade uit mijnsteen, zie figuur 11. Op zichzelf is mijnsteen natuurlijk veel doorlatender dan zand. Er bestond echter geen zekerheid dat tijdens het opspuiten van het dijklichaam geen

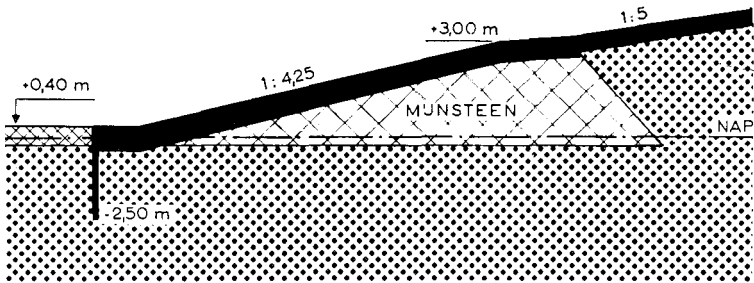


Fig. 11. Teenconstructie van de dam door het Veerse Gat.

zand in de mijnsteenkafe zou binnendringen. Omdat een dergelijke met zand geïmpregneerde kade minder doorlatend zou kunnen zijn dan zand stond dus van te voren niet vast of de mijnsteenperskade meer of minder doorlatend zou zijn dan de rest van de dijk.

De waterspanningen werden daarom berekend voor verschillende verhoudingen tussen de doorlatendheden van mijnsteen en zand. In figuur 12 is het resultaat van deze berekeningen gegeven, wederom in de vorm van stijghoogten op het moment van maximale overdruk. Zoals reeds eerder werd gezegd treden deze stijghoogten niet gelijktijdig op. De in de figuur getekende lijnen zijn dus geen momentopnamen, doch de omhullenden van potentiaallijnen die achtereenvolgens optreden. Uit de figuur blijkt, dat verreweg de grootste overdrukken ontstaan, indien de perskade doorlatend is ten opzichte van het onderliggende zand. Omdat men geen zekerheid had dat deze situatie zich niet zou voordoen heeft deze uitkomst voor

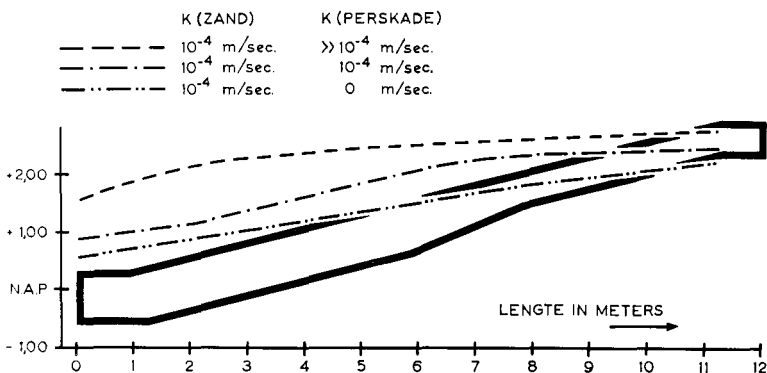


Fig. 12. Stijghoogten ten tijde van maximum overdruk onder de bekleding van de dam door het Veerse Gat (treden niet gelijktijdig op).

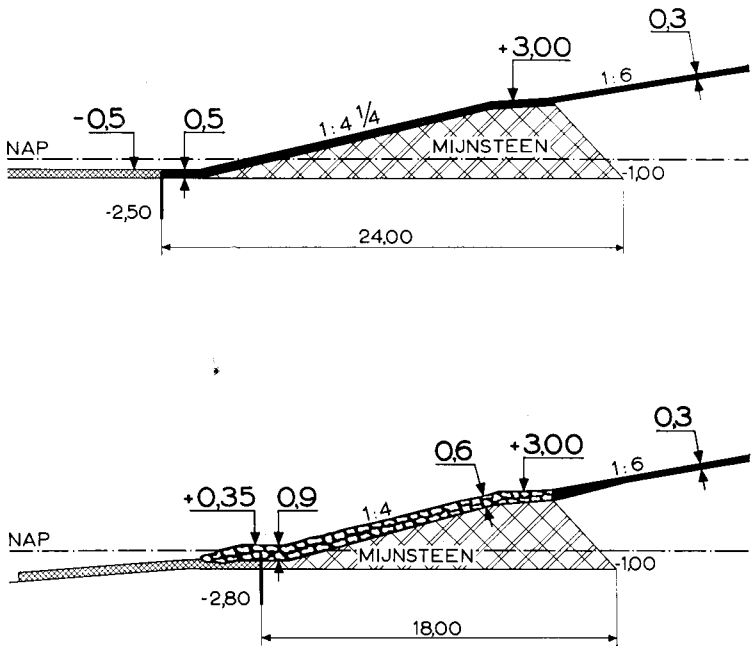


Fig. 13. Oorspronkelijk ontwerp met asfaltbeton en gewijzigde constructie met basaltsteen en gietasfalt voor de dam in het Veerse Gat.

de dam in het Veerse Gat geleid tot het toepassen van een geheel andere constructie dan oorspronkelijk was voorzien, zie figuur 13. In de eerste plaats werd de teenconstructie hoger gelegd. Bovendien werd in plaats van een bekleding van asfaltbeton met een dikte van 0.50 m een bekleding van stortsteen gepentreerd met gietasfalt toegepast met een van 0.90 tot 0.60 m verlopende dikte.

Bij het toepassen van een relatief doorlatende perskade dient men dus wel te bedenken, dat daarbij een aanzienlijk duurdere bekleding behoort.

Een andere veelvuldig voorkomende inhomogeniteit is de aanwezigheid van klei- of leemlagen in de ondergrond. Deze worden speciaal van belang indien de damwand in de teen van de dijk tot in deze lagen steekt en bovendien een hoge binnenwaterstand aanwezig is. Een voorbeeld hiervan is de dijk van het nieuwe havenbassin te Duinkerken, waarvan de constructie is weergegeven in figuur 24 (pagina 29). Omdat men oorspronkelijk de hoop had, dat het hier een leemlaag betrof van geringe afmetingen werd bij het onderzoek naar de waterspanningen de lengte van het gedeelte van de leemlaag

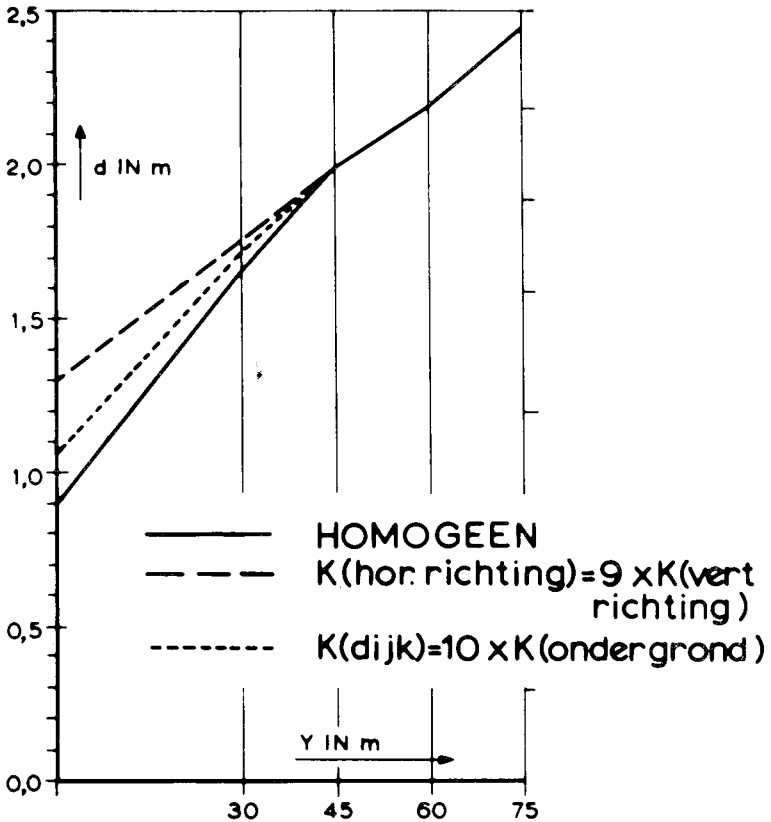


Fig. 14. Vereiste dikte d van de asfaltbekleding als functie van de lengte y van het gedeelte van de leemlaag achter de damwand (dijk te Duinkerken).

achter de damwand gevarieerd. Aangezien verwacht moest worden dat in een ondergrond met leemlenzen de doorlatendheid in horizontale richting groter zal zijn dan in verticale richting werd de invloed hiervan eveneens onderzocht. Tenslotte werd bij dit onderzoek ook nog de zeer reële mogelijkheid in beschouwing genomen, dat de doorlatendheid van het gespoten dijklichaam groter zou zijn dan die van de ondergrond. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 14, waarin de benodigde bekledingsdikte d is uitgezet als functie van de lengte y van het gedeelte van de leemlaag achter de damwand.

Duidelijk blijkt hoe ongunstig zo'n leemlaag kan zijn.

De invloed van het verschil doorlatendheid tussen de ondergrond

en de dijk blijkt geringer te worden naarmate de leemlaag langer is. Voor de invloed van een verschil tussen de doorlatendheid in horizontale en die in verticale richting geldt hetzelfde. Laatstgenoemde invloed bleek groter te zijn dan de eerste.

Beschouwt men nu de waarden van de benodigde bekledingsdikte in absolute zin, dan is duidelijk, dat in dit geval toepassing van een drainage werd overwogen.

De invloed van drainage van de teen van de dijk.

Zoals in figuur 15 is aangegeven zijn hiervoor twee systemen mogelijk nl. een drainage van de teen, welke niet onder de bekleding wordt voortgezet en een drainage, welke wel over een zekere afstand langs het talud wordt voortgezet. Beide systemen hebben verschillende vóór- en nadelen, maar één nadeel van laatstgenoemde wil ik hier speciaal noemen. Indien aanslibbing of aanzanding van de drainage plaats vindt, zal alléén de weerstand in het onderste gedeelte van de langs het talud aangebrachte grindkist groter worden. Onder de bekleding kan daardoor een vrijwel hydrostatische druk ontstaan die aanzienlijk hoger is dan in het geval géén drainage was toegepast.

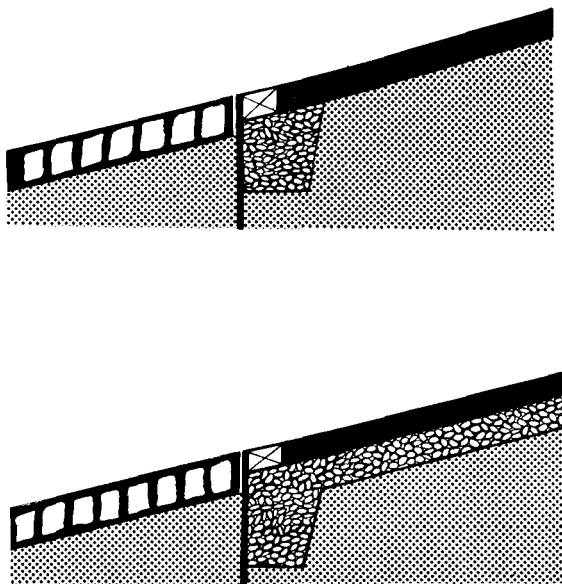


Fig. 15. Systemen van open drainage.

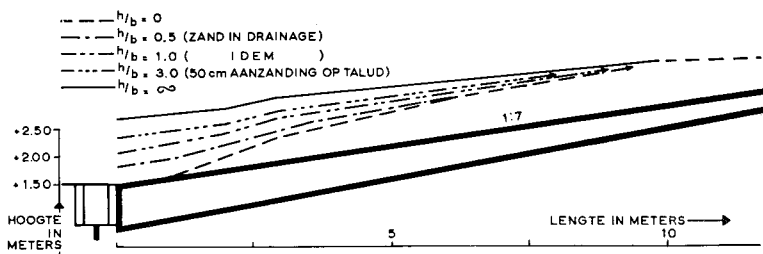


Fig. 16. Stijghoogten ten tijde van maximum overdruk voor verschillende weerstanden van de drainage (aanzandingen) in de dijk te Duinkerken (treden niet gelijktijdig op); h/b is een maat voor de weerstand in het filter.

In het algemeen doet men daarom verstandig het eerstgenoemde type toe te passen indien kans op aanzanding bestaat.

Nu rijst natuurlijk ook de vraag in hoeverre zo'n drainage nog werkt nadat aanzanding heeft plaats gevonden.

Voor de dijk in Duinkerken werd dit nader onderzocht. In figuur 16 zijn de in deze dijk bij stormvloed te verwachten stijghoogten op het tijdstip van maximale overdruk uitgezet voor verschillende weerstanden van het filter (aanzandingen). De bovenste (getrokken) lijn geeft de stijghoogten weer, indien geen filter zou zijn toegepast en indien geen leemlaag aanwezig is. De gunstige werking van de drainage bleek in dit geval beperkt te zijn tot het onderste gedeelte van het talud. Zelfs deze beperkte invloed gaat echter reeds bij geringe aanzanding grotendeels verloren.

Houdt men wel rekening met eerdergenoemde leemlaag dan heeft het filter ook bij aanzanding een grotere invloed. Daarom werd in deze dijk toch een drainage toegepast.

Ik laat U deze resultaten zonder leemlaag echter speciaal zien om U te tonen hoe gering de invloed van een drainage onder bepaalde omstandigheden kan zijn. Met name de flauwe taludhelling (1:7) en de hoge binnenwaterstand zijn hiervoor verantwoordelijk.

Dit zijn echter niet de enige factoren waarmee U bij het bepalen van uw keuze rekening moet houden. Het onderzoek naar de waterspanningen onder de bekleding van het talud vóór de boulevard te Vlissingen was in dit opzicht leerzaam.

Vorig jaar heeft Ir. P. A. van de Velde U verteld dat aan dit talud schade was ontstaan, welke mogelijk was veroorzaakt doordat de golfdrukken zich tot onder de bekleding konden voortplanten. Teneinde dit euvel te ontgaan wilde men een gedeelte van de mijnsteenkade met cement impregneren. Door deze afsluiting zouden echter

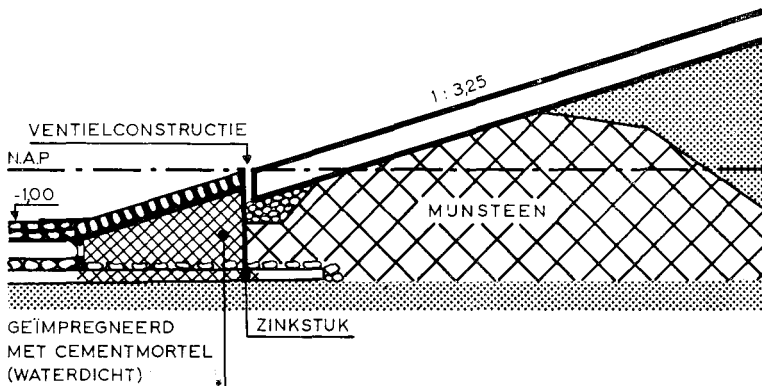


Fig. 17. Teenconstructie van het talud van de Boulevard te Vlissingen.

als gevolg van de getijbeweging grote waterdrukken onder de bekleding kunnen ontstaan. Daarom werd toch weer aan een drainage gedacht, waarbij dan door een bepaalde constructie de eerdergenoemde golfdrukken zouden worden voorkomen.

Bij onderzoek bleek echter, dat een open drainage aanleiding zou geven tot grote waterspanningen onder het hooggelegen gedeelte van het talud, zie figuur 18. Omdat het hier een bestaand talud betrof dat bovendien betrekkelijk steil was, kon de bekleding hieraan niet worden aangepast. Daarom werd voor dit geval een ventielconstructie aanbevolen. Voor aanzanding behoefde men hier gelukkig niet bevreesd te zijn.

Uit deze voorbeelden blijkt dus wel, dat men het probleem met het aanbrengen van een drainage in de buitenteen nog lang niet altijd kan oplossen. Anderzijds moet echter worden gezegd, dat in bepaalde gevallen een drainage wel degelijk nuttig en zelfs onontbeerlijk kan zijn. Drainage van de binnenteen is natuurlijk een geheel ander probleem, dat vandaag niet ter sprake komt.

Het uitvoeringsstadium van de dijk.

Bij de uitvoering van vele dijken zal men de teen van de dijk zo spoedig mogelijk tot een zekere hoogte van een bekleding willen voorzien. Het daarachter gelegen dijklichaam moet daarna meestal nog geheel of gedeeltelijk worden opgespoten. Het is duidelijk dat daarbij in de dijk hoge waterstanden zullen optreden, die grote overdrukken onder de bekleding kunnen veroorzaken.

Is een relatief doorlatende perskade aanwezig, dan kan met een goede ontwatering aan de teen van deze perskade worden volstaan. De gehele perskade werkt als het ware als filter en de overdrukken

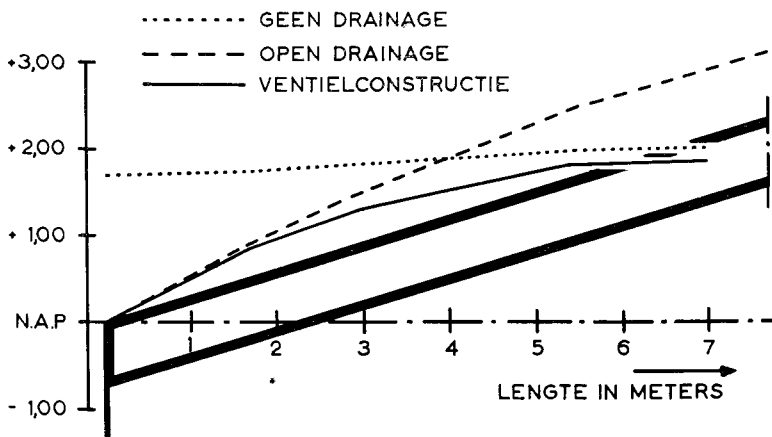


Fig. 18. Stijghoogten ten tijde van maximale overdruk onder de bekleding van het talud van de Boulevard te Vlissingen (treden niet gelijktijdig op).

kunnen voldoende worden gereduceerd als slechts de uitstroomopeningen voldoende van afmetingen zijn.

Anders wordt het echter, indien geen relatief doorlatende perskade aanwezig is. In het ontwerpstadium van de dijk door het Brouwershavense Gat is dit probleem in detail onderzocht. De teen van deze dijk lag op N.A.P. +1.00 m, de perskade van het stort voor het op hoogte brengen van het overige deel van het dijklichaam lag ca. 40 m daarachter. Hoewel in dit geval een tijdelijke drainage in de teen aanwezig was, bleek de bekleding toch niet hoger te mogen worden opgetrokken dan tot N.A.P. +2.50 m. De bekleding was hierbij reeds gedimensioneerd op de uiteindelijke toestand. Zie figuur 25 (pagina 29).

Het blijkt dus, dat het aanbrengen van een gedeelte van de bekleding van een dijk op een tijdstip dat het dijklichaam nog niet geheel op hoogte is gebracht, belangrijke beperkingen inhoudt voor de hoogte waarover dit gedeelte van de bekleding kan worden opgetrokken. Tevens wordt hiermede nogmaals aangetoond, hoe gering de reikwijdte van een drainage kan zijn.

De uitstroomopeningen van de drainage kunnen na de voltooiing van de dijk worden afgedicht. Het langsfiler onder de bekleding blijft vanzelfsprekend bestaan en heeft als zodanig een nuttige nivelleringsfunctie indien bijvoorbeeld als gevolg van doorlatendheidsvariaties in de bodem drukverschillen in de lengterichting van de dijk zouden ontstaan.

Constructieve overwegingen.

Kleine wijzigingen op constructief gebied kunnen eveneens belangrijk zijn. Een eerste voorbeeld hiervan is de berm die men om praktische redenen vaak achter de damwand in de teen wil toepassen. In figuur 19 zijn ter vergelijking de omhullenden van potentiaallijnen weergegeven voor het geval bij de afsluitdam door de Grevelingen wel een kleine berm zou worden toegepast en voor het geval dit niet zou gebeuren. Voor beide werd de asfaltbekleding zodanig gediimensioneerd, dat juist aan de eerdergenoemde criteria werd voldaan. Gerekend van de damwand tot N.A.P. +4.50 m bleek de constructie met berm per strekkende meter dijk 8,2 m³ asfaltbeton te vergen. Zonder berm was slechts 6,5 m³ asfaltbeton nodig. Uit deze getallen blijkt wel, dat de praktische voordelen van een berm lang niet altijd zullen opwegen tegen de kosten die hieraan zijn verbonden.

Dat men zich bij het ontwerpen van de teenconstructie voortdurend rekenschap moet geven van de waterbeweging in het dijklichaam blijkt ook uit het tweede voorbeeld dat ik U in dit verband wil geven. Zoëven heb ik U verteld, dat de resultaten van het onderzoek voor

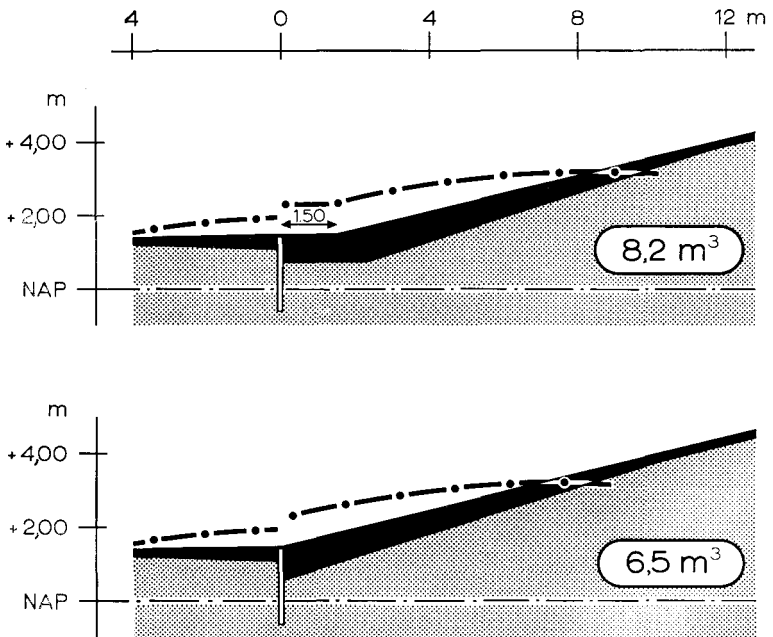


Fig. 19. De invloed van een kleine berm op de benodigde hoeveelheid asfaltbeton (gerekend van damwand tot N.A.P. + 4.50 m).

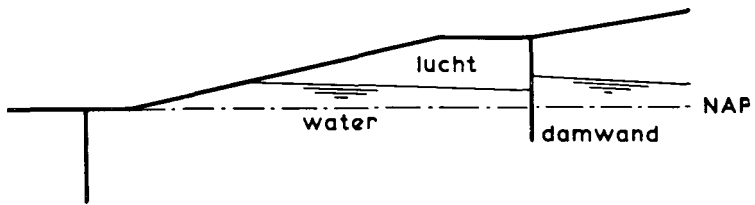


Fig. 20. Ingesloten lucht.

de dam in het Veerse Gat hadden geleid tot toepassing van met asfalt gepenetreerde stortsteen in de teen van de dijk. Als afscheiding tussen deze gepenetreerde stortsteen en de asfaltbetonbekleding wilde men toen vanzelfsprekend een damwand toepassen. Zoals in figuur 20 is aangegeven zou dan echter lucht worden opgesloten tussen deze damwand en de bekleding. Bij nader onderzoek bleek, dat deze luchtdruk gedurende stormvloed ontoelaatbare waarden zou aannemen. Men kan zich dit voorstellen, indien men bedenkt dat bij een vermindering van 10% van het door lucht ingenomen volume (bij constante temperatuur) een drukverhoging behoort van eveneens 10%. In getalwaarde betekent dit een drukverhoging van 0,1 atmosfeer, hetgeen overeenkomt met 1 m waterdruk. Vrij geringe waterverplaatsingen kunnen dus relatief grote luchtdrukvariaties geven. De geprojecteerde damwand werd daarom niet aangebracht.

De methode van berekening.

Uit de voorbeelden die ik U heb gegeven blijkt, dat men bij het berekenen van de waterspanningen te maken krijgt met een groot aantal factoren, die bij het onderzoek moeten worden gevarieerd. Zelfs voor het eenvoudige homogene geval moest al een groot aantal berekeningen worden uitgevoerd omdat de doorlatendheid van plaats tot plaats zodanig kan verschillen dat de waterspanningen hierdoor in belangrijke mate worden beïnvloed. Vervolgens heb ik U getoond dat een perskade van grof materiaal grote overdrukken kan veroorzaken. Ook de aanwezigheid van klei- of leemlagen in de ondergrond bleek van belang, evenals een verschil in doorlatendheid tussen de dijk en de ondergrond of een verschil van de doorlatendheid in horizontale en verticale richting.

Tenslotte heb ik U ook nog getoond, dat het ontwerpen van een drainage geen eenvoudig probleem vormt en dat schijnbaar geringe wijzigingen in de constructie van groot belang kunnen zijn.

Hoewel hiermede nog lang niet alle factoren zijn genoemd hoop ik, dat U na het voorgaande van mij wilt aannemen, dat voor het dimensioneren van een asfaltbekleding een groot aantal waterspanningsberekeningen noodzakelijk is. In de praktijk blijken voor het ontwerpen van de bekleding van één dijk gemiddeld ongeveer 50 berekeningen nodig te zijn.

De methode van berekening moet dus voldoen aan de eis, dat in korte tijd een groot aantal berekeningen kan worden uitgevoerd, waarbij de verschillende grootheden op gemakkelijke wijze kunnen worden gevariëerd.

Om hieraan te kunnen voldoen wordt bij de Deltadienst gebruik gemaakt van plaatvormige elektrische geleiders. Dit berust op de analogie tussen de wetten van Darcy en Ohm die beide een lineair verband aangeven tussen het potentiaalverschil, de weerstand en de stroom. Ook zonder formules kan men zich misschien voorstellen dat een waterpotentiaal kan worden voorgesteld door een elektrische potentiaal. Evenzo kan het waterdebiet door een elektrische stroom worden vervangen, terwijl de weerstand die het stromende water in de grond ondervindt kan worden voorgesteld door een elektrische weerstand.

Als gevolg van de getijbeweging zal ook het vrije wateroppervlak in de dijk op en neer bewegen. Bij de opwaartse beweging zal het water poriën moeten vullen en bij de neerwaartse beweging zullen de poriën gedeeltelijk weer worden geledigd.

Voor het rekenschema betekent dit, dat een waterbergend vermogen moet worden ingevoerd. In de electriciteit vervult de capaciteit deze functie. Het waterbergend vermogen kan dan ook elektrisch worden voorgesteld door condensatoren.

Het is dus mogelijk de grondwaterbeweging door een elektrische stroom na te bootsen. Dit gebeurt in een zogenaamd analogisch model. Zoals gezegd, wordt hiervoor bij de Deltadienst gebruik gemaakt van plaatvormige elektrische geleiders. Zoals in fig. 21 is aan-

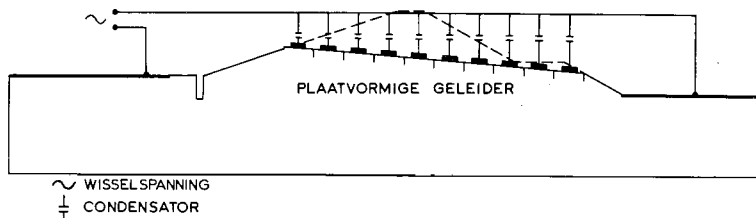


Fig. 21. Schema van een analogisch model.

gegeven wordt eerst het dijkprofiel met een gedeelte van de ondergrond uit een vel geleidend papier gesneden. De bovenrand valt samen met het phreatisch middenstandsvlak. Hierlangs worden dan ter realisering van het waterbergend vermogen een aantal gearde condensatoren aangebracht. Indien tenslotte langs de randen (buiten de asfaltbekleding) de met de tijd variërende waterspanning wordt opgedrukt zal in het aldus verkregen model een elektrische stroming optreden welke analoog is aan de grondwaterstroom in de dijk.

Het z.g. teledeltospapier, waaruit het model wordt vervaardigd, kan gemakkelijk met een schaar worden geknipt. Constructieve wijzigingen kunnen dus zonder bezwaar worden aangebracht.

Ook de verschillende inhomogeniteiten zijn te realiseren, damwanden of kleilagen worden als ondoorlatend beschouwd en uitgeknipt. Een verschil in doorlatendheid tussen dijk en ondergrond kan worden gerealiseerd door voor de dijk meerdere lagen papier te gebruiken of als het verschil groot is, door de dijk met een geleidende kleefstof te bestrijken. Dit laatste gebeurde ook bij het onderzoek naar de invloed van de mijnsteenperskade in de Veeze Gatdam. Een verschil tussen de doorlatendheid in verticale en die in horizontale richting kan worden gerealiseerd door het aanbrengen van spleetjes of in sommige gevallen door vertrekking van het model.

Omdat in de electrotechniek ook gemakkelijk en snel potentialen en stromen kunnen worden gemeten, leent de methode zich dus al met al zeer goed voor het uitvoeren van grote aantallen berekeningen, waarbij verschillende grootheden moeten worden gevarieerd.

De randvoorwaardenapparatuur.

De enige wezenlijke moeilijkheid is eigenlijk het invoeren van de gewenste randvoorwaarden. Deze kunnen, evenmin als de doorlatendheid en alle andere factoren die tot dusver ter sprake zijn geweest, als een constante worden beschouwd. De vorm van de getijkrommen moet dus bij het onderzoek eveneens worden gevarieerd. Om dit te kunnen verwezenlijken wordt bij de Deltadienst gebruik gemaakt van een speciaal daarvoor ontwikkelde randvoorwaardenapparatuur.

Met behulp van deze apparatuur kan in de eerste plaats een groot aantal periodieke getijkrommen worden samengesteld uit enige harmonischen. Met behulp hiervan kan een normaal springtij worden nagebootst, hetgeen van belang is in verband met het eerdergenoemde criterium voor veelvuldig voorkomende omstandigheden.

Door middel van een speciale schakeling wordt de randvoorwaarde-potentiaal constant gehouden zolang het buitenwater zich beneden een willekeurig in te stellen stand bevindt. Dit is nodig, omdat de grondwaterpotentialiaal het buitenwater niet verder zal volgen dan tot strandhoogte. Uit een nagenoeg horizontaal strand zal het water nl. niet weglopen, ook al is het buitenwater veel dieper gezakt. De getijlijn moet dus beneden strandhoogte worden afgeapt.

Een stormvloed kan worden gerealiseerd door op het aldus verkregen springtij een windeffect te superponeren. De apparatuur is zodanig gemaakt, dat aan dit windeffect vrijwel iedere gewenste vorm kan worden gegeven, zie figuur 22.

Door het springtij ten opzichte van het windeffect langs de tijdas te verschuiven kan superpositie op verschillende manieren plaats vinden. De frequentie van de wisselspanning kan worden gevarieerd tussen 200 en 5000 Hz. Dit is van groot belang, omdat een wijziging van de frequentie hetzelfde effect heeft als een verandering van de doorlatendheid van de dijk. Het onderzoek naar de invloed van de

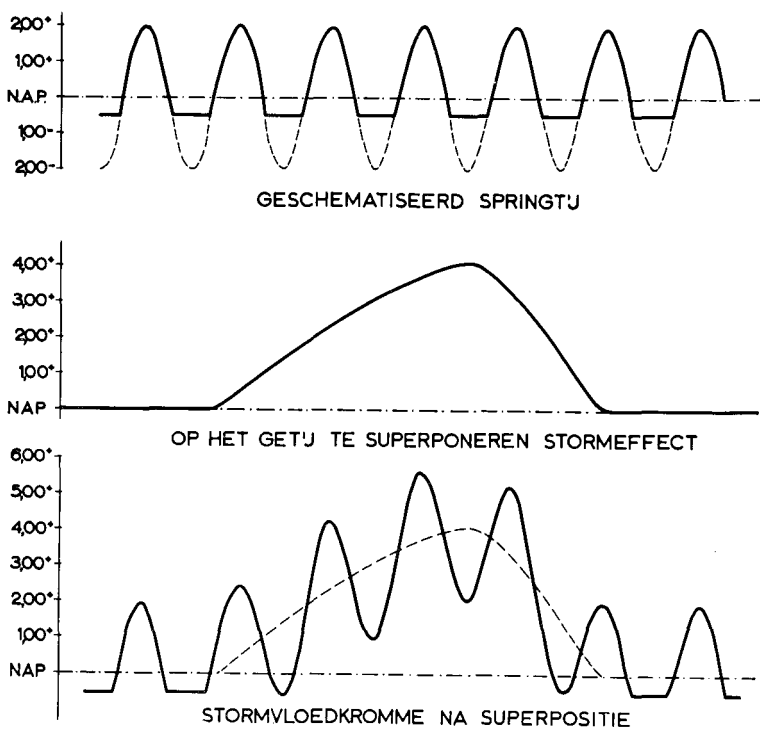


Fig. 22. Getijkrommen.

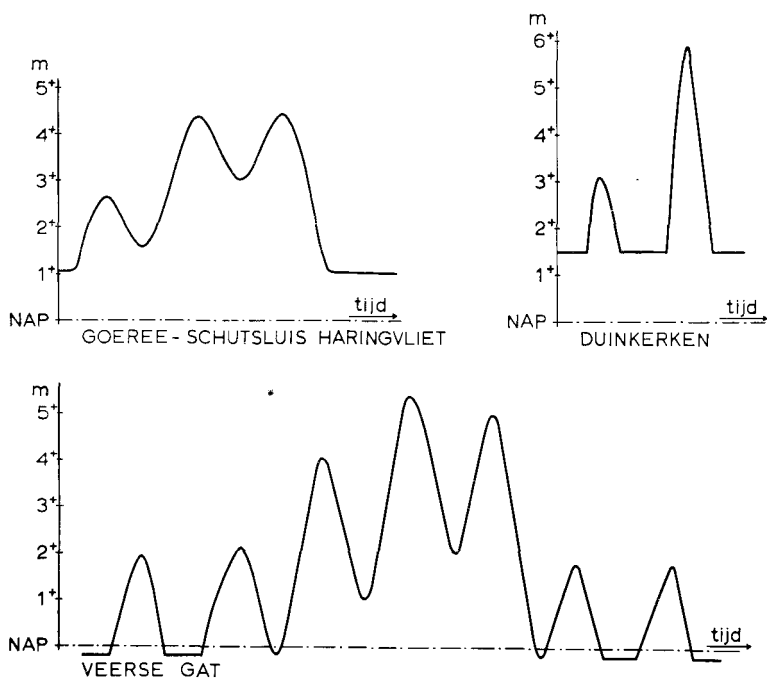


Fig. 23. Randvoorwaarden.

doorlatendheid kan dus op eenvoudige wijze geschieden door de frequentie van de randvoorwaarde te variëren.

In figuur 23 zijn tenslotte nog enkele randvoorwaarden gegeven die bij de behandelde voorbeelden zijn gebruikt. Hieruit blijkt, dat de randvoorwaardenapparatuur aan hoge eisen moet kunnen voldoen. De foto op pagina 30 geeft een beeld van de bij de Deltadienst in gebruik zijnde apparatuur.

Samenvatting.

In het eerste deel van mijn voordracht ben ik ingegaan op de criteria waaraan bij het dimensioneren van een asfaltbekleding moet worden voldaan. Achtereenvolgens kwamen daarbij ter sprake een criterium voor veelvuldig voorkomende omstandigheden, een criterium dat beoogt het aflichten van de bekleding onder extreme omstandigheden te voorkomen en een criterium waaraan moet worden voldaan om de stabiliteit van het talud zeker te stellen.

Het eerstgenoemde criterium was bij gebrek aan beter gebaseerd op een vrij willekeurige aanname over de spanningstoestand in de bekleding. Het tweede criterium was wel wat duidelijker, doch hield bijvoorbeeld nog geen rekening met golfslag. Bij het derde criterium ben ik er van uitgegaan, dat het niet mogelijk is eenvoudige regels te geven voor de beoordeling van de stabiliteit van een talud. De grafieken waren slechts bedoeld om U een kwalitatief inzicht te geven en om Uw aandacht te vestigen op de factoren, die in dit verband van belang zijn.

Kennelijk liggen dus de criteria, waaraan bij het ontwerpen van een asfaltbekleding moet worden voldaan, nog niet vast. Wij zullen dus nog doordrongen moeten zijn van een zekere mate van onwetendheid op dit gebied.*

In het tweede gedeelte van mijn voordracht heb ik U resultaten getoond van verschillende waterspanningsberekeningen. Hierbij zijn weliswaar een aantal duidelijke aanwijzingen op constructief gebied naar voren gekomen, doch voor alles heb ik de bedoeling gehad U hiermede aan te tonen dat men bij het onderzoek naar de waterspanningen in een dijk altijd een groot aantal factoren in beschouwing moet nemen.

Tenslotte heb ik U iets verteld van de methode die bij de Delta-dienst voor het berekenen van de waterspanningen wordt toegepast. In het algemeen heeft deze methode buitengewoon goed voldaan al moet worden toegegeven, dat zij nog verre van volmaakt is en dat ook thans nog voortdurend naar verbetering moet worden gestreefd. Een nadeel van de methode is natuurlijk, dat men over de nodige apparatuur moet kunnen beschikken. Het valt echter te betwijfelen of men met eenvoudiger middelen hetzelfde doel kan bereiken.

Al kon ik in mijn voordracht over dit onderwerp niet op alle punten volledig zijn, toch hoop ik U een duidelijk inzicht te hebben gegeven in de veelheid van problemen, waarvoor de dijkenbouwer zich bij het ontwerpen geplaatst ziet.

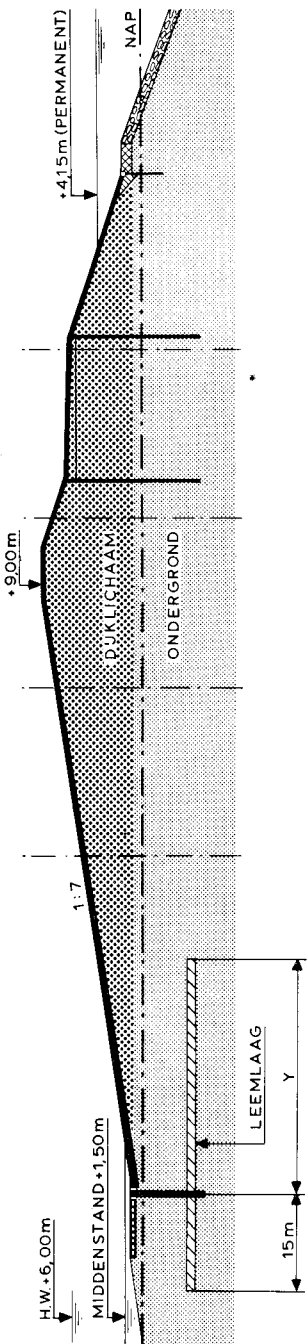


Fig. 24. Dwarsprofiel van een dijk te Duinkerken.

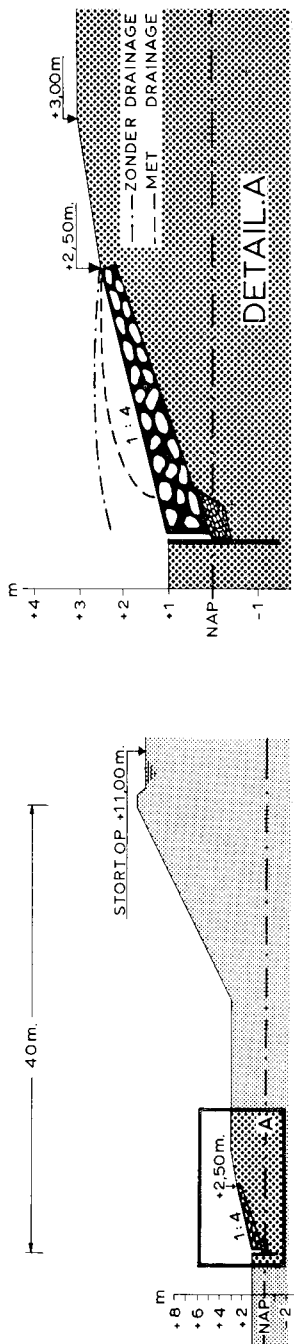
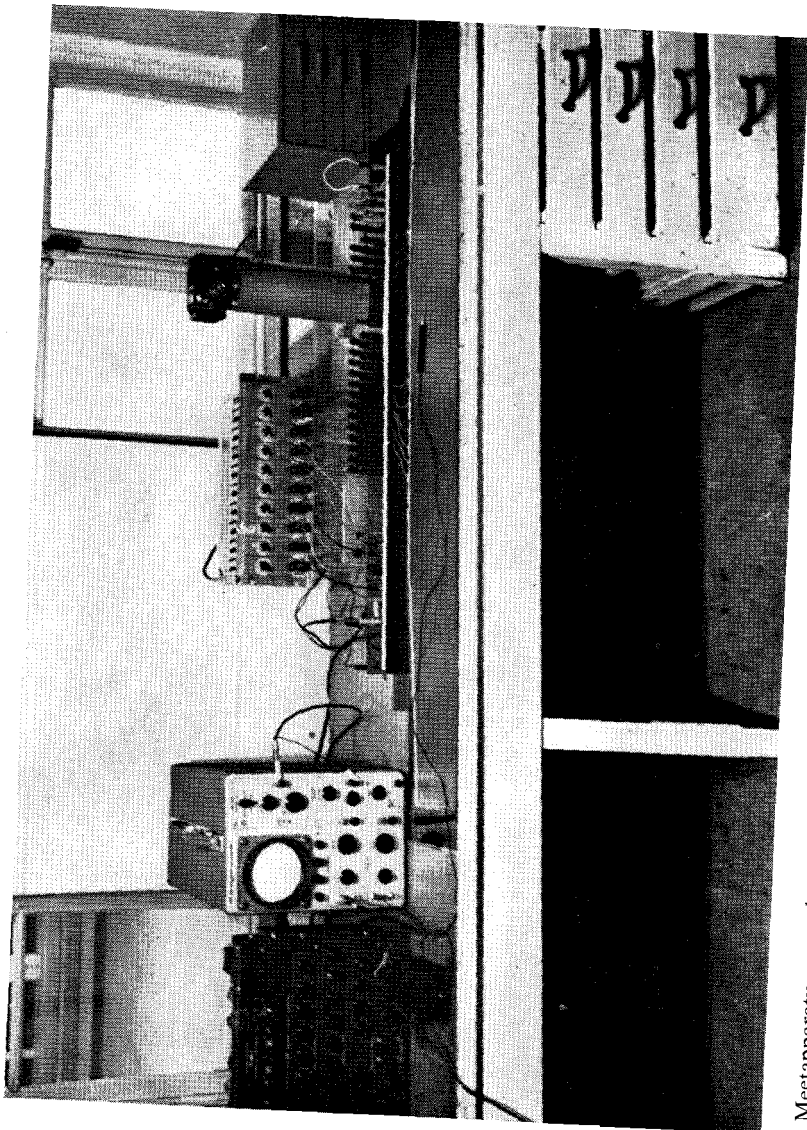


Fig. 25. Uitvoeringsstadium van de dijk door het Brouwershavense Gat (voortwerp).



Meetapparatuur van de Deltadienst.



De V.B.W. stelt zich ten doel het voeren van propaganda voor de toepassing van bitumineuze weg- en waterbouwkonstrukties, zomede het aankweken van kennis hieromtrent.

Leden:

Arnhemse Asfaltfabriek N.V., Arnhem, Nieuwe Havenweg 17
Aann. & Wegenbouwbedr. fa. H. Blaauwbroek & Zn., Beetsterzwaag, Lyck-
lama à Nijholtlaan 30
Aann. bedr. E. Blok, Rotterdam, 's-Gravendijkwal 101
Boesewinkel-Nijmegen N.V., Mook, Bovensteweg 40
Bruil-Apeldoorn N.V., Apeldoorn, Kanaal Zuid 72
Bruil-Arnhem N.V., Arnhem, Westervoortsedijk 67h
P. Daalder's Aann. bedr. N.V., Alkmaar, Emmastraat 30
N.V. Aug. van Dijk-Petit Wegenb. Mij., Bergen op Zoom, Havendijk 18a
O. Dijkstra's Aann. bedr. N.V., Breda, Delpratensingel 21
Aann. & Wegenb. bedr. Sjouke Dijkstra & Zoon, Aduard, Burg. van Barne-
veldweg 26
N.V. Aann. Mij v/h L. van Drunen & Zn., 's-Hertogenbosch, Havendijk 13
Alg. Bouwondern. Ir. A. van Engelen, Nijmegen, Witsenburgselaan 34
N.V. Aann. & Wegenb. Mij. Gruno, Groningen, Nwe Boteringestraat 1-14
H.B.M. Nederland N.V., den Haag, Groot Hertoginnelaan 258
N.V. Aann. & Wegenb. Mij. v/h fa. J. Heijmans, Rosmalen, Graafsebaan 13
Wegenb. bedr. Gebr. Hogenbirk N.V., Laren (N.H.), Slangenweg 30
Aann. Mij. Hoyinck N.V., Arnhem, Renssenstraat 15
Aann. & Wegenb. bedr. v/h H. A. Jaartsveld N.V., Apeldoorn, Vlijtseweg 218
N.V. Aann. Mij. v/h Janssen & de Jong, Horst (L.), Beekstraat 9
Koudasfalt N.V., Utrecht, Koningslaan 60
N.V. Aann. bedr. A. Lesterhuis, Apeldoorn, Driehoek 29
Aann. & Wegenb. bedr. „Limburg” N.V., Heerlen, Stationstraat 59
N.V. Moderne Wegenbouw, Heerlen, Coriovallumstraat 34-36
N.V. Aann. Mij. de Moel & Hermes, Alkmaar, Kooimeerlaan 6
Joh. Mourik & Co's Aann. Mij N.V., Groot Ammers, Voorstraat 29
N.V. Aann. bedr. N.B.M. Zaandam, den Haag, Zonweg 23
N.V. Asfalt- & Wegenb. bedr. Neuchatel, Amsterdam-C., Nova Zemblastr. 65
N.V. Noord Nederl. Wegenb. Mij., Harlingen, Zuiderhaven Westzijde
N.V. Aann. & Wegenb. bedr. P. H. Offringa, 't Harde, Koekoeksweg 2
N.V. Aann. & Wegenb. bedr. v/h. fa. J. Ooms & Zn., Avenhorn, S 12
Aann. Mij. Jac. G. van Oord N.V., Utrecht, Weg naar Rhijnauwen 12
N.V. Aann. & Handelsbedr. van Oord Werkendam, Werkendam, Hoogstraat
73A
N.V. Oosterhof's Aann. bedr., Grijskerk, Waardweg 1c
Aann. bedr. „De Oosthoek” N.V., Uden, Stationsstraat 1
N.V. Aann. Mij. W. Rasenberg & Zonen, Breda, Industriekade 10
Reef Oldenzaal N.V., Oldenzaal, Steenstraat 71
Wegenbouw Ribberink, Hengelo (O.), Oldenzaalsestraat 11a
Aann. en Wegenb. bedr. C. Schagen N.V., Zwollerkerspel, Spoolderberg-
weg 3
N.V. Aann. en Handels Mij. Schapers en de Bont, Eindhoven (Acht), Waal-
straat 36
Alb. te Siepe's Aann. bedr. N.V., Winterswijk, Parallelweg 50a
Te Siepe N.V., Zwollerkerspel, Nieuwe Deventerweg 99
Snitjer's Aann. & Wegenb. Mij. N.V., Schildwolde, Hoofdweg 118
N.V. Aann. Mij. v/h J. M. Strijland, Uithoorn, Wilhelminalakade 11
N.V. Wegenb. bedr. C. G. Tholen, Nijmegen, Driehuiserweg 61
Aann. bedr. van Vemde & te Beest, Heemstede, Herenweg 185
Vissers' Wegenb. & Aann. bedr. N.V., Drunen, Bosscheweg 67
Kon. Maatschappij Wegenbouw N.V., Utrecht, Stationsstraat 2
Aann. Mij P. C. Zanen N.V., Heemstede, Lanckhorstlaan 8

DRUK: A.W. SIJTHOFF N.V. LEIDEN