

ONTZANDINGEN NABIJ DE HEEREWAARDENSE AFSLUITDIJK

Rapport no. 72.050

opgesteld door ir. P. Aanen.

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

ONTZANDINGEN NABIJ DE HEEREWAARDENSE AFSLUITDIJK

Rapport no. 72.050

opgesteld door ir. P. Aanen

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

ONTZANDINGEN NABIJ DE HEEREWAARDENSE AFSLUITDIJK

Rapport no. 72.050

Opgesteld door ir. P. Aanen

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

Handwritten notes:
1. 1/72.167
2. 2
3. 3
4. 4
A1/72.167
A5/72.167
A1/72.167
Fred

CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN.

Ontzandingen nabij de Heerewaardense Afsluitdijk.

Een beoordeling van de (on -) toelaatbaarheid van deze ontzandingen in verband met de mogelijke invloed hiervan op de stabiliteit van de dijk.

Rapport nr. 72.050.

Opgesteld door ir. P. Aanen.
oktober 1972

Ontzandingen nabij de Heerewaardense Afsluitdijk.

<u>Inhoudsopgave.</u>	<u>Blz.</u>
1 Inleiding	1
2 De ontzandingen	2
3 De stabiliteit van de dijk	3
3.1. Overzicht van de problemen	3
3.2. Gebruikte gegevens	3
3.3. Uitwerking van de stabiliteitsproblemen	4
3.4. Consequenties van overlopen van de dijk	8
4 Conclusies	11
5 Literatuur.	13
Verklaring symbolen	14

1. Inleiding

Gedeputeerde Staten van Provincie Gelderland hebben vergunning verleend voor het ontzanden van een aantal percelen onder de gemeente Heerewaarden. Deze terreinen zijn op bijlage 1 aangeduid met de nummers I en II. De betreffende terreinen liggen in het winterbed van de Maas (Schutwaard) ter hoogte van de Heerewaardense Afsluitdijk. Deze dijk vormt de scheiding tussen de Waal en de Maas. Gezien de noodzaak van een blijvende scheiding tussen deze beide rivieren is het ontoelaatbaar dat de stabiliteit van de dijk wordt aangetast door het uitvoeren van ontzandingen.

In verband hiermede heeft de hoofdingenieur-directeur in de directie Limburg in een brief van 16 juni 1972 aan zijn ambtgenoot in de directie Waterhuishouding en Waterbeweging verzocht een advies te laten opstellen door het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen ter beantwoording van de vragen:

- a) beïnvloeden de bovengenoemde ontzandingen tijdens of na het ontzanden de standzekerheid van de scheidingsdijk tussen Maas en Waal.
- b) Zo ja, welke maatregelen dienen genomen te worden om dit gevaar te bezweren
 - hetzij door de bepalingen in de ontgrondingsvergunning te wijzigen.
 - hetzij door de scheidingsdijk te versterken.

Het betreffende advies zou moeten worden opgesteld in overleg met het arrondissement Maas te Nijmegen.

Op 30 juni 1972 heeft daartoe een gesprek plaatsgevonden tussen vertegenwoordigers van het arrondissement en het Centrum.

In zijn brief van 3 juli 1972 bericht de hoofdingenieur-directeur in de directie Limburg aan het arrondissement Maas dat de ontzander overweegt vergunning voor uitbreiding van de ontzanding met enkele honderden meters in de richting van de Heerewaardense Afsluitdijk aan te vragen. Hij verzoekt bij het opstellen van het advies hiermede rekening te houden.

Het Centrum wordt enkele dagen later door het arrondissement in kennis gesteld van deze voorgenomen uitbreiding van de ontzandingen.

2. De ontzandingen.

De ontzandingen liggen, zoals reeds opgemerkt, in het winterbed van de Maas. Ten opzichte van de Waal, waarvan de rivierstand steeds hoger is dan van de Maas, liggen ze echter "binnendijks".

De kleinste afstand tussen de dijk en de ontzandingen waarvoor vergunning verleend is, bedraagt ca. 370 m.

In de ontgrondingsvergunningen voor de genoemde percelen I en II zijn een aantal voorwaarden opgenomen betreffende de wijze waarop de taluds van de ontzanding moeten worden afgewerkt en in één geval is de maximale ontgrondingsdiepte bepaald.

Zo is in de vergunning voor ontzanding van perceel I, welke in 1956 is verleend, geëist dat de taluds onder een helling van 1:3 of flauwer moeten worden afgewerkt. In de vergunning voor perceel II, die in 1972 is afgegeven, worden onder meer de volgende voorwaarden gesteld:

- De vereiste minimum taludhelling vanaf het huidige maaiveld tot N.A.P. is 1:5.
- Beneden N.A.P. is de minimum taludhelling 1:3.
- De ontzanding mag niet dieper worden uitgevoerd dan tot N.A.P. - 16,00 m.
- Ten behoeve van de stabiliteit van de Heggedijk, die deel uitmaakt van de waterkering rond de buitenpolder van Heerewaarden, zijn aanvullende eisen gesteld aan de afstand van de insteek van de ontzanding tot de dijk en aan de diepte onmiddellijk voor de dijk.

Verder wordt voorgeschreven dat tussen de beide ontzandingen I en II een scheidingsdam met bepaalde afmetingen moet blijven bestaan.

De voorwaarden, die in de laatst verstrekte ontgrondingsvergunning (voor perceel II), zijn gesteld ten aanzien van de maximale diepte en de vormgeving van het talud van de ontzanding zullen bij beoordeling van de uitbreidingsmogelijkheden in de richting van de dijk in principe worden gehandhaafd.

3. De stabiliteit van de dijk.

3.1. Overzicht van de problemen.

De stabiliteit van de Heerewaardense Afsluitdijk zou door ontzanding van de Schutwaard op een aantal fundamenteel verschillende wijzen aangetast kunnen worden. Als potentiële gevaren voor de dijk, die bij hoge Waalstanden een doorbraak tot gevolg kunnen hebben, zijn te noemen:

- 1) Een verstoring van het evenwicht van de dijk door het optreden van een afschuiving langs een glijvlak. De grote diepte van de ontzanding vormt in dit verband een ongunstige factor.
- 2) Door het verschil in waterniveau op de Waal en de Maas zal een grondwaterstroming in de ondergrond van de dijk optreden. Als gevolg van uittreden van dit grondwater kan evenwichtsverstoring van het talud van de ontzanding plaatsvinden. Daarbij zullen ook het langs het talud stromende water en de golf-aanval een rol kunnen spelen. De vorming van een flauwer talud en een teruggang van de oeverlijn kunnen het gevolg zijn.
- 3) Een ander aspect van de grondwaterstroming door de ondergrond wordt gevormd door de mogelijkheid van ontstaan van zandmeevoerende wellen. Deze zogenoemde "piping" is het resultaat van interne erosie, waarbij een watervoerend kanaal in de ondergrond ontstaat. Ontwikkeld zich een dergelijke pijp dan is de kans op een doorbraak groot.

Een geheel andere mogelijkheid van bezwijken van de Heerewaardense Afsluitdijk wordt geschapen door het feit dat deze dijk te laag is. Overlopen van de dijk bij hoge waterstanden op de Waal kan een doorbraak inluiden en het ontstaan van een stroomgeul tussen de Waal en de Maas is daarbij niet uitgesloten.

De kans op de vorming van een doorgaande stroomgeul zal in principe door ontzanding van de Schutwaard worden vergroot.

3.2. Gebruikte gegevens.

De gegevens, verzameld ten behoeve van de beoordeling van de toelaatbaarheid van ontzandingen en de minimale afstand hiervan tot de dijk, zijn niet volledig.

Te zijner tijd zal in het kader van de verhoging en verzwaring van de Heerenwaardense Afsluitdijk een uitgebreider onderzoek worden ingesteld naar de factoren die dit ontwerp kunnen beïnvloeden. Dit uitgebreide onderzoek is nu om verschillende redenen achterwege gebleven. Waar nodig zullen veilige aannamen worden gehanteerd.

De gebruikte gegevens zijn hoofdzakelijk ontleend aan de hieronder genoemde bronnen.

- De hoogteligging van het terrein is afgelezen van de meest recente hoogtekaart (1965).
- De kruinhoogte van de dijk en het dwarsprofiel zijn ontleend van gegevens van de Rijkswaterstaat arrondissement Arnhem (1972).
- De in het verleden opgetreden waterstanden op de Waal en de Maas (beide bij de sluis te St.-Andries) zijn opgezocht in de jaarboeken der Waterhoogten.
- Het maatgevend hoogwater op de Waal bij km 925 is N.A.P. + 9,66 m. (Rapport Studiedienst Bovenrivieren) Een extreem hoogwater op de Maas veroorzaakt bij km 208 een waterstand van N.A.P. + 6,89 m.
- Een indruk van de opbouw en samenstelling van de ondergrond is verkregen aan de hand van een vijftal diepe boringen, aangevuld met enkele ondiepe boringen in en nabij de dijk.

3.3. Uitwerking van de stabiliteitsproblemen.

Aan de hand van de hoogtegegevens en de boorprofielen is een geschematiseerd dwarsprofiel over de Heerewaardense Afsluitdijk en de Schutwaard samengesteld. Zie bijlage 2.

Op dit dwarsprofiel zullen de verschillende stabiliteitsbeschouwingen worden toegepast.

Bij deze stabiliteitsproblemen zijn de rivierstanden op de Waal en de Maas belangrijke randvoorwaarden. Met name het gelijktijdig optreden van een hoge Waalafvoer en een relatief lage Maasafvoer zal een ongunstige belastingstoestand voor de dijk betekenen; bij die omstandigheden is namelijk het verval over de dijk het grootst en zal de stabiliteit van de dijk het meest worden aangesproken. Uit een vergelijking van de Waalstanden en de daarbij gelijktijdig optredende Maasstanden, beide bij de Sluis te

St.- Andries, blijkt dat het maximale verval optreedt bij Waaltoppen met een hoogte van N.A.P. + 6,00 à 8,00 m, dus bij aanmerkelijk lagere waterstanden dan het maatgevend hoogwater. Het gemeten maximale verval sinds 1950 bedraagt ruim 5,25 m. Dit is uiteraard geen absoluut maximum. In feite zou een frequentieberekening moeten worden uitgevoerd om daarmee de kans van optreden van een zeker verval bij bepaalde Waalstanden te bepalen. Dit vraagstuk is echter gecompliceerd. De oplossing hiervan zou veel tijd vergen, terwijl de verkregen uitkomst dubieus zal zijn vanwege het beperkte cijfermateriaal dat bruikbaar is als gevolg van gewijzigde afvoeromstandigheden op de Maas. In overleg met de Studiedienst Maas is besloten voorlopig een verval van 6,00 m als maatgevend te beschouwen.

Voorts wordt verondersteld dat in de ontzanding het waterniveau gelijk is aan dat van de Maas. In geval van een open toegang naar de Maas is dit evident, afgezien van kleine verschillen als gevolg van verschil in verhang op de rivier en in de ontzanding. Zou deze opening niet worden getolereerd (vanwege de vrees voor het ontstaan van een tweede stroomdraad), dan zal door de grote doorlatendheid van de scheidingsdam tussen de ontzanding en de Maas bovenstaande veronderstelling toch nagenoeg juist zijn. Het maatgevend verval van 6,00 m bij de sluis te St.-Andries zal daarom bij benadering ook geldig zijn voor het verval over de dijk ter plaatse van de ontzandingen.

Een nadere uitwerking van de onder 3.1 genoemde mogelijkheden van stabiliteitsverlies van de dijk zal hieronder worden gegeven

- 3.3-1 Uit oriënterende berekeningen blijkt dat het optreden van afschuivingen langs glijvlakken, die een doorbraak ten gevolge zouden kunnen hebben, niet behoeft te worden gevreesd als wordt voldaan aan de andere stabiliteitscriteria.
- 3.3-2 Stabiliteitsverlies van het talud van de ontzanding onder invloed van uittredend grondwater en stroming langs het talud zal voorkomen worden als voldaan wordt aan de volgende criteria.

$$- \quad \operatorname{tg} \phi \geq \frac{\gamma_n}{\gamma_n - \gamma_w} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

"Uittreden" van grondwater boven de waterlijn, waarbij de stroomlijnen bij benadering evenwijdig aan het talud zijn.

$$- \quad \operatorname{tg} \phi \geq \frac{\gamma_n \cdot \operatorname{tg} \alpha}{(\gamma_n - \gamma_w) - \gamma_w \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

Uittreden van grondwater nabij het niveau van de waterlijn, waarbij de stroomlijnen bij benadering horizontaal zijn.

$$- \quad \operatorname{tg} \phi \geq \frac{(\gamma_n - \gamma_w) \cdot \sin \alpha}{(\gamma_n - \gamma_w) \cdot \cos \alpha - \gamma_w \cdot i}$$

Uittreden van grondwater onder de waterspiegel, waarbij de stroomlijnen loodrecht op het talud staan. De waarde van i is benaderd: $i = \frac{H}{l} = \frac{6}{300}$

De verklaring van de gebruikte symbolen is op bladzijde 14 gegeven.

Uit de uitkomsten van bovenstaande formules volgt dat onder de genoemde veronderstellingen de stabiliteit van het taludgedeelte, dat zich blijvend onder water bevindt en waarvan de helling 1 : 3 is, onder invloed van het uittredende grondwater voldoende is als de hoek van inwendige wrijving groter is dan 20° bij een geschatte $\gamma_n = 2 \text{ tf/m}^3$ en een cohesie $c = 0$. De zandondergrond zal zeer waarschijnlijk aan deze waarde voldoen.

Het taludgedeelte, dat zich afwisselend onder en boven water bevindt, is onder een helling van 1 : 3 niet stabiel. Terecht wordt in de ontgrondingsvergunning een taludhelling van tenminste 1 : 5 geëist voor het gedeelte vanaf het huidige maaiveld tot N.A.P. Een verlaging van dit peil tot N.A.P. - 1,00 m lijkt echter, gezien de voorkomende waterstanden, aanbevelingswaardig.

Bij het optreden van hoge waterstanden op de Maas zal de scheidsdam tussen de ontzanding en de rivier overlopen en zal dientengevolge in de ontzanding een zekere stroming optreden. Hierbij zullen de taluds van de ontzanding aangetast worden als de stroomsnelheid zo groot wordt dat hierbij deeltjes getransporteerd kunnen worden.

Uit de literatuur is bekend dat bij een horizontale bodem nagenoeg geen bodemtransport optreedt als

$$\frac{\rho_w \cdot h \cdot I}{(\rho_z - \rho_w) \cdot d} < 0,02$$

waaruit bij benadering voor de kritische gemiddelde snelheid volgt

$$\bar{v}^2 < 8 g \cdot d \quad (\text{geldig voor } d > 0,001 \text{ m})$$

Bij overschrijding van deze \bar{v} zal de horizontale kracht $K = A \cdot \rho_w \cdot g \cdot h \cdot I \cdot d^2$ op een bodemdeeltje te groot worden om in evenwicht te kunnen blijven.

A is een factor, die onder meer afhankelijk is van de mate van turbulentie en de vorm van de gronddeeltjes. In de hier beschouwde omstandigheden kan $A = 30$ worden geschat.

Bovenstaande geldt voor een horizontale bodem.

Stroomt het water langs het talud van de ontzanding dan zal op de deeltjes van het talud een gecombineerde krachtenwerking ten gevolge van stroom, zwaartekracht en grondwaterstroming werken.

Een grove benadering van het evenwicht van een deeltje onder invloed van deze krachten kan worden gevonden uit

$$- \quad \text{tg } \phi \geq \frac{\sqrt{[(\rho_z - \rho_w) \cdot \sin \alpha]^2 + \left\{ \frac{A \cdot I}{d} \cdot \rho_w \cdot h \right\}^2}}{(\rho_z - \rho_w) \cdot \cos \alpha - \rho_w \cdot i}$$

Hieruit zou dan volgen dat bij een taludhelling 1 : 3 geen aantasting optreedt als in de ontzanding een maximaal verhang $I = 10^{-7}$ à 10^{-8} optreedt bij een korreldiameter van de deeltjes op het talud van resp. $d = 1$ en $0,1$ mm.

Aan de hand van de uiteindelijke vormgeving van de ontzanding en de eisen, die worden gesteld ten aanzien van scheidingsdammen tussen rivier en ontzanding en ontzandingen onderling, zal moeten worden beoordeeld of het kritieke verhang niet wordt overschreden.

De invloed van golven op de stabiliteit van de taluds is moeilijk in een berekening te stoppen. Het is bekend dat zandoevers onder invloed van golfwerking de neiging vertonen zeer flauwe taludhellingen aan te nemen.

Het aanbrengen en instandhouden van een goede grasmat in het gebied met wisselende waterstanden is dan ook van groot belang. Mogelijk kan golfaanval plaatselijk een zodanige aantasting veroorzaken dat een verdediging noodzakelijk blijkt.

3.3.3 Bij de voorgaande beschouwingen is steeds een uniforme grondwaterstroming door de zandondergrond verondersteld. Gezien de boorprofielen is deze ondergrond echter opgebouwd uit zandlagen die afwisselend meer of minder grof van samenstelling zijn. Deze omstandigheid vergroot de kans op het ontstaan van "piping" als gevolg van concentratie van de grondwaterstroom in de grovere lagen, waardoor het fijnere materiaal kan worden uitgespoeld en afgevoerd. Door de vele toevallige factoren, die dit proces kunnen beïnvloeden, is dit probleem vooralsnog slechts langs statistische weg te benaderen. In de literatuur over dit onderwerp worden, afhankelijk van de samenstelling van de ondergrond, minimum verhoudingen tussen het verval H en de lengte van de kortste kwelweg l gegeven; waarbij zandmeevoerende wellen niet zullen ontstaan.

Zo geeft E.W. Lane (zie Transactions A.S.C.E., no 100) voor gronden met siltlagen een verhouding $C_w = \frac{l}{H} \geq 8,5$ als een veilige waarde aan.

De formule van Lane zal in het algemeen niet worden toegepast bij het ontwerpen van dijkverbeteringen. Een meer genuanceerde methode verdient hierbij de voorkeur.

Omdat het in dit geval handelt over het vaststellen van een grens van ontzandingen en slechts een beperkte informatie betreffende de grondgegevens ter beschikking staat, lijkt het nu voldoende uit te gaan van het criterium van Lane.

Hieruit volgt dan dat de minimale kwelengte minstens 150 m zou moeten zijn.

De vergelijking tussen de door Lane beschouwde objecten waarvan de

uitkomsten statistisch bewerkt zijn en de situatie bij de Heerewaardense Afsluitdijk gaat echter niet geheel op, daar bij de eerst genoemde een permanente grondwaterstroming optrad en het terrein benedenstrooms horizontaal was. In de ontzandingen wordt de begrenzing gevormd door een talud, hetgeen een ongunstige factor is. Een vergroting van 1 lijkt daardoor reeds gerechtvaardigd. Mede gezien het grote belang van de Heerewaardense Afsluitdijk lijkt, zonder nader onderzoek een verdubbeling van de berekende minimum kwelengte tot 300 m gewenst.

De kwelweg van 300 m moet aanwezig zijn tussen het intredepunt van het grondwater en de insteek van de ontzanding. Daar plaatselijk onmiddellijk voor de dijk een strang ligt kan de buitensteen van de dijk daar als intredepunt worden beschouwd. Zie bijlage 3.

3.4. Consequenties van overlopen van de dijk.

De Heerewaardense Afsluitdijk is niet in staat het maatgevend hoogwater op de Waal te keren. De kruin van de dijk ligt 0,70 à 0,80 m onder dit peil.

Overschrijding van het niveau M.H.W. - 0,80 m (overschrijdingsfrequentie afvoertoppen : 10^{-2} .) zal overlopen van de dijk tot gevolg hebben. De gevolgen van overstromen van de dijk zijn zeer moeilijk te schatten. Door de steile helling van het binnentalud (1 : 2), die niet verdedigd is, is de kans op een doorbraak echter verre van denkbeeldig.

Aangezien een doorbraak van de Heerewaardense Afsluitdijk het begin van het ontstaan van een doorgaande stroomgeul tussen Waal en Maas kan zijn, hetgeen ernstige gevolgen zal hebben voor het benedenstroomsgebied van de Maas, moet men zich zoveel mogelijk tegen deze situatie wapenen en tenminste de kans op de vorming van deze stroomgeul niet vergroten. Nu betekent het ontzanden van de percelen I en II op de Schutwaard tot een diepte van N.A.P. - 16,00 m reeds een zekere vermindering van de weerstand tegen de vorming van deze geul na een dijkdoorbraak tussen het oude fort van St.-Andries en een plaats even bovenstrooms van de Heggedijk. Op deze percelen ligt het zand echter

direct aan de oppervlakte, zodat deze gebieden ook nu relatief weinig weerstand tegen uitschuring bieden.

Boringen geven echter aan dat in het terrein direct achter de dijk een (dik) kleipakket op het zand aanwezig is. Aantasting van dit gebied met de kleiafdekking door ontgraving moet be-slist ontoelaatbaar worden geacht in verband met de daardoor veroorzaakte grote vermindering van de weerstand tegen uit-schuring.

Voorgesteld wordt lijn B (bijlage 3) voorlopig als uiterste grens van de ontzandingen te beschouwen.

Overigens moet worden opgemerkt dat het laagste gedeelte van de Afsluitdijk (ten opzichte van maatgevend hoogwater) meer bovenstrooms ligt, zodat daar bij hoge waterstanden het over-lopen begint en waarschijnlijk daar de meeste kans op een doorbraak bestaat.

4. Conclusies.

Betreffende de gestelde vragen in de eerder genoemde brief van 16 juni 1972 kan het volgende worden geconcludeerd:

- De ontzandingen van de percelen I en II beïnvloeden de stabiliteit van de scheidingsdijk tussen de Maas en de Waal niet direct. Slechts ten aanzien van de mogelijke vorming van een stroomgeul na een doorbraak van de dijk tussen het oude fort St. Andriës en de Heggedijk betekenen de ontzandingen een geringe vermindering van de weerstand tegen uitschuring.
- De in de laatst verleende ontgrondingsvergunning opgenomen voorwaarden voor afwerking van de taluds van de ontzanding zijn in principe voldoende, mits het verhang bij hoge Maasafvoeren in de ontzanding voldoende klein blijft. Slechts het talud 1:5 zou kunnen worden doorgezet tot het niveau N.A.P. - 1,00 m, in plaats van het geëiste peil van N.A.P. Essentieel is dit echter niet, daar bij handhaving van de opgenomen voorwaarden de evenwichtstoestand van het talud wordt bereikt bij een zeer geringe teruggang van de oeverlijn.

Ten aanzien van de in de brief van 3 juli gestelde uitbreiding van het probleem als gevolg van de voorgenomen uitbreiding van de ontzanding in de richting van de dijk kan worden gesteld:

- De stabiliteit van de dijk zal niet nadelig worden beïnvloed als de afstand tussen de dijk en de insteek van de ontzanding minstens 300 m is.
- De stabiliteit van de taluds kan worden gewaarborgd door het stellen van voorwaarden.
Taludhelling 1 : 5 of flauwer tussen de niveaus van het maai-veld en N.A.P. - 1,00 m, daar beneden een helling van 1 : 3 of flauwer, mits het verhang in de ontzanding voldoende klein is.
- De zekerheid tegen de vorming van een doorgaande stroomgeul tussen de Waal en de Maas zal worden verminderd door uitbreiding van de ontzandingen in de richting van de dijk. Aantasting van het direct achter de dijk gelegen terrein, dat voorzien is van een kleilaag, moet niet worden getolereerd.

Toestemming voor uitbreiding van de ontzanding tot aan dit terreingedeelte zou toegestaan kunnen worden (zie de geschetste begrenzing B op bijlage 3). Deze beslissing over een eventueel te ontvangen aanvraag voor uitbreiding van de ontzandingen zou echter kunnen worden uitgesteld tot een uitgebreider onderzoek naar de toestand van de dijk en de ondergrond, ten behoeve van de dijkverbetering en de verbetering zelf, zijn uitgevoerd. In dat geval kan een meer gefundeerde minimum afstand tussen de dijk en de ontzanding worden bepaald doordat meer gegevens bekend zijn en de kans op overlopen van de dijk dan vrijwel nihil is.

5. Literatuur.

- 1 "Security from underseepage" E.W. Lane,
Transactions, A.S.C.E., Vol.100, 1935.
- 2 "Dams, Barrages and Weirs on porous Foundations"
W.P. Bligh,
Engineering News 1910
- 3 "Underseepage and its Control".
W.J. Turnbull en C.J. Mansur.
Symposium A.S.C.E.
- 4 "Het bezwijken van dijken in februari 1953"
T. Edelman, De Ingenieur 1960.
- 5 "Shore protection, planning and design"
Technical report no 4.
U.S. Army Coastal Engineering Research Center.
- 6 Algemene Waterbouwkunde
Collegedictaat T.H. Delft.
Prof. ir. L. v.d. Bendegom

Verklaring symbolen:

ϕ	= hoek van inwendige wrijving van de grond	gr
c	= cohesie van de grond	tf/m ²
α	= hoek tussen het talud en de horizontaal	gr
γ_n	= specifiek natte gewicht van de grond	tf/m ³
ρ_z	= dichtheid zand	t/m ³
γ_w	= specifiek gewicht van water	tf/3
ρ_w	= dichtheid water	t/m ³
i	= verhang van het grondwater bij uittreden	1
v	= gemiddelde watersnelheid	m/s
h	= waterdiepte	m
I	= verhang van het wateroppervlak	1
H	= maatgevend verval over de dijk	m
l	= lengte van de kwelweg	m
d	= korreldiameter	m
A	= factor, verklaring in de tekst	