[redacted]

A4-92-18

GRONDMECHANICA
DELFT

[redacted]

OPZET ONTWERPMETHODIEK
BEPALING ASFALTDIKTE TALUDS
ONDER GOLFBELASTINGEN

Juni 1992

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-693500
Telex 38234 soil nl
Telefax 015-610821

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911

K.v.K. S 146461 Delft

GRONDMECHANICA DELFT

OPZET ONTWERPMETHODIEK BEPALING ASFALTDIKTE TALUDS ONDER GOLFBELASTINGEN

CO-323920/5
juni 1992
Vie/Bez
A4-92-18

Opgesteld in opdracht van:
TAW-A4
p/a Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Van der Burghweg 1
2638 CS Delft

AFDELING WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES
projectleider: ir. M.A.Viergever
projectbegeleider: ir. A.Bezuijen

Op alle aanbiedingen en op alle te sluiten overeenkomsten alsmede de daaruit voortvloeiende leveringen van diensten en produkten en de daaruit voortvloeiende uitvoeringen van werkzaamheden, zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan de Stichting Grondmechanica Delft, welke zijn gedeponeerd ter Griffie van de Arrondissementsrechtbank te 's-Gravenhage en bij de Kamers van Koophandel en Fabrieken.

Vestigingen in België en Engeland

GRONDMECHANICA DELFT

1. Rapport nr.	2. Serie nr.	3. Ontvanger catalogus nummer
4. Titel en sub-titel Opzet ontwerpmethodiek bepaling asfaltdikte taluds onder golfbelasting		5. Datum rapport
		6. Kode uitvoerende organisatie
7. Schrijvers M.A.Viergever		8. Nr. rapport uitvoerende organisatie
9. Naam en adres opdrachtnemer Grondmechanica Delft Postbus 69 2600 AB Delft		10. Projektnaam
		11. Kontaktnummer
12. Naam en adres opdrachtgever R,W.S. Dienst Weg-en Waterbouwkunde Postbus 5044 2600 GA Delft		13. Type rapport
		14. Kode andere opdrachtgever

15. Opmerkingen

16. Referaat

De belasting door golfklappen op een asfalttalud is opgebouwd uit kansdichtheden van waterhoogten, significante golfhoogten, kansdichtheden golfhoogten per significante golfhoogte, kansdichtheden golfklappen en kansdichtheden de grootte en plaats van inslag van golfklappen. De golfklappen veroorzaken uiteindelijk een belasting op het asfalt. De bijbehorende spanning onder het asfalt is op verschillende manieren berekend.
Er is een programma gemaakt waarin de kansdichtheden worden berekend en de grootte van de golfbelastingen. Verder zijn hieruit de bijbehorende spanningen aan de onderzijde van het safalt berekend, uitgaande van een driehoekige belastingsverdeling. Uit de relatie tussen het aantal malen dat een bepaalde spanning in het asfalt optreedt en het aantal belastingswisselingen dat tot breuk in het asfalt leidt, kan de veiligheid tegen bezwijken worden af-

17. Trefwoorden kansdichtheden golfbelastingen, spanningsverdeling onderzijde asfalt; vermoeiing		18. Distributie systeem	
19. Classificatie	20. Classificatie deze pagina	21. Aant. blz. 27	22 Prijs

GRONDMECHANICA DELFT

INHOUD

1. INLEIDING
2. PROBLEEMSTELLING
3. GOLFBELASTING
4. SPANNINGSVERDELING
5. VERMOEIING
6. OPZET REKENSCHEMA
7. BEREKENINGSRESULTATEN
8. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

LITERATUUR

BIJLAGEN

1. INVOERFILE VAN HET PROGRAMMA
2. FORTRAN SOURCE VAN HET PROGRAMMA

NOTATIES

a_{SWL} = constante uit kdf SWL
a_{Miner} = constante uit Miner regel
c = veerconstante van de ondergrond [N/m³]
E = stijfheidsmodulus [Mpa]
H = golfhoogte [m]
H_s = significante golfhoogte [m]
$H_{s\ min}$ =
$H_{s\ max}$ =
$H_{s\ top}$ =
h = dikte van het asfalt [m]
K = $\frac{E.h^3}{12(1-\nu^2)}$; buigstijfheid asfaltplaat
k_{Miner} = constante uit Miner relatie
M =
N = aantal belastingsherhalingen dat leidt tot bezwijken van het asfalt
n = werkelijk opgetreden of voorspeld aantal belastingswisselingen
P = equivalente lijnbelasting [kN/m]
P{..} = kans op voorkomen {aantal malen per jaar]
q = gelijkmatig verdeelde of maximale belasting bij een driehoekige of parabolische verdeling [kPa]
S0 = referentiehoogte kdf SWL
S_v = stormvloedstand [m +/- NAP]
SWL = stil water lijn (gemiddeld waterniveau) [m +/- NAP]
z = halve breedte van het drukverloop onder een golfklap [m]
α = constante in kdf van Weibull
β = $\sqrt[4]{\frac{c}{4\ K}}$
ν = constante van Poisson
ρ = soortelijke massa [kg/m³]
σ = spanning [kPa]
σ_P = standaardafwijking golfbelasting

1. INLEIDING

Zeeweringen hebben tot doel het achterliggende land te beschermen tegen overstroming. De dijken moeten in staat zijn om onder meer de belasting door golven onder extreme omstandigheden te kunnen opnemen. Zeedijken zijn tegenwoordig in het algemeen opgebouwd uit een kern van zand met daaroverheen een beschermconstructie om de vorm vast te houden en de dijken te beschermen tegen golfaanval. Op de plaats waar de golfbelasting groot is worden constructies bestaande uit steen of asfalt toegepast. Deze constructies dienen zodanig te zijn gedimensioneerd dat ze onder de extreme condities in tact blijven. De asfaltbekleding mag daarbij wel schade oplopen, maar moet een zodanige reststerkte bezitten dat het functioneren van de waterkering niet in gevaar komt. In dit rapport wordt de trekspanning aan de onderzijde van het asfalt door middel van rekenregels vertaald naar een toelaatbaar aantal malen dat deze brelasting op de constructie mag worden toegelaten voor er scheurvorming optreedt. Er wordt dus een veilig criterium gehanteerd.

De dimensionering van de dikte van het asfalt vindt plaats aan de hand van de Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw, opgesteld door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, uitgegeven in 1984 [5]. Sedert de presentatie van de leidraad is onder leiding van de TAW veel onderzoek verricht, zowel naar eigenschappen van asfalt als naar de aard van de belasting door golven. Bovendien is door de verbetering van rekentechnieken wellicht een nauwkeuriger voorspelling van de benodigde dikte van de asfaltconstructie mogelijk. Dit rapport omschrijft op welke wijze de methodiek uit de Leidraad kan worden verbeterd, welke uitgangspunten en randvoorwaarden daarvoor zijn gehanteerd en beschrijft de opzet van het Fortran programma.

2. PROBLEEMSTELLING

Bij de berekening van de sterkte van asfaltbekledingen op taluds werd tot nu toe de golfbelasting geschematiseerd tot een statische belasting. De statische belasting werd vervolgens als lijnbelasting omgerekend met een lineair elastische berekening naar een maximaal optredende trekspanning aan de onderzijde van het asfalt. De asfaltconstructie moet vervolgens deze spanning op kunnen nemen.

De belastingen op een talud vertonen in werkelijkheid een sterk stochastisch karakter, terwijl het bezwijken van de constructie in grote mate door vermoeiing wordt bepaald. In dit rapport zijn de van invloed zijnde aspecten verwerkt in een rekenmodel. In het rekenschema zijn de volgende stappen geïntegreerd:

* golfbelasting

Het aantal en de grootte van de golfbelastingen dat gedurende de levensduur van een constructie op een talud werkt hangt samen met het verloop van de gemiddelde waterlijn, de SWL, de daarbij behorende verdeling van golfhoogten en de met de golfhoogte samenhangende grootte en verdeling van golfklappen. In hoofdstuk 3 is aangegeven op welke wijze een door de ontwerper gekozen SWL tot een verdeling van golfklappen op het talud leidt. De hierbij gehanteerde kansdichtheidsfuncties zijn vermeld, zodat per situatie zal moeten worden beoordeeld of de gekozen kansdichtheidsfuncties geldig zijn of dat de gekozen kansdichtheidsfuncties moeten worden aangepast.

* spanningsverdeling

Uitgaande van een belasting op het asfalt kan worden berekend welke spanning dat oplevert aan de onderzijde van de asfaltconstructie. In hoofdstuk 4 wordt een keuze voor de te hanteren spanningsverdeling uitgewerkt zodat de verdeling van golfklappen rechtstreeks leidt tot een verdeling van spanningen aan de onderzijde van de asfaltconstructie. Uitgegaan wordt van de berekende spanning midden onder de golfbelasting.

* vermoeiing

Iedere belasting afzonderlijk levert een bijdrage aan de vermoeiing van het asfalt. De optredende spanningen worden gesommeerd met gebruikmaking van de regel van Miner. De beschrijving van de regel van Miner is te vinden in hoofdstuk 5

3. GOLFBELASTING

De belasting door golven bestaat uit een in grootte, tijd en plaats wisselende stochastische belasting. Ten behoeve van het ontwerp van de dikte van de taludbekleding is een kwantificering nodig van de te verwachten belastingen gedurende de levensduur van de constructie. De uiteindelijke belasting is bepaald door de volgende grootheden en hun bijbehorende verdeling:

- SWL

  De SWL varieert met de dagelijkse en maandelijks getijbewegingen. Daarnaast zal er variatie optreden als gevolg van opwaaiing en verhoging tijdens storm. De extreme golfbelastingen onder zware stormcondities zullen daardoor voor een deel van het talud niet samenvallen met de golfbelastingen buiten de stormperioden.

  De hoogwaters voor diep water (dus zonder golfoploop en opstuwing in estuaria e.d.) kunnen volgens Bruinsma en v,d, Graaff [1] en de CUR [2] worden beschreven met de onderstaande formule voor de overschrijdingskans:

  $$P\{SWL\}=\exp\{-(SWL-SWL_0)/a\} \qquad (1\ a)$$

  De hieruit afgeleide kdf voor het overschrijden van hoogwaterstanden is dan:

  $$p\{SWL\}=1/a*\exp\{-(SWL-SWL_0)/a\} \qquad (1\ b)$$

  Voor extreme stormcondities kan de onderstaande formule worden gebruikt:

  $$P\{SWL\}=(1-\exp[-\exp\{-(SWL-SWL_0)/a\}]) \qquad (2)$$

  Voor extreme hoogwaterstanden geeft deze overschrijdingsformule nagenoeg dezelfde uitkomsten als de eerstgenoemde. Gekozen is voor formule (1 a) in combinatie met de onderstaande waarden:
  SWL_0 = 2.2 m;
  a_{SWL} = 0.3026;
  Bovenstaande waarden zijn ontleend aan de nota van Bruinsma en v.d. Graaff [1].

  De SWL is ook op de zeer korte termijn (orde 10 tot 15 minuten) geen vaste hoogte, maar de waarde zal schommelen rond een bepaald punt. Echter ook een iets hogere of lagere SWL zal onderhevig zijn aan schommelingen. Aangenomen is dat de afwijkingen van de SWL in gelijke mate worden gecompenseerd door schommelingen vanuit een iets hoger of lager gelegen SWL. Daardoor mag ervan worden uitgegaan dat alle golven die optreden gedurende de tijd dat de gekozen SWL voorkomt ook op dat punt aangrijpen. Men moet hierbij wel bedenken dat de maximale golfbelasting niet op de SWL zelf aangrijpt, maar op een punt daaronder. In feite wordt bij een gekozen SWL de maximale belasting berekend op een punt dat 0.50 H_s lager ligt.

- Golfhoogten

De frequentieverdeling van significante golfhoogten is niet rechtstreeks gekoppeld aan de hoogte van de SWL. Behalve de hoogte van de SWL spelen ook windrichting, windduur en waterdiepte een rol. De kdf van SWL en significante golfhoogten kunnen daarom niet zonder meer gekoppeld worden. Gebruik is gemaakt van de door Bruinsma en v.d. Graaf [1] gegeven relatie:

$$p(Hs) = \frac{\alpha-1}{Hstop-Hsmin} \left(\frac{Hs-Hsmin}{Hstop-Hsmin} \right)^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{\alpha-1}{\alpha} \left(\frac{Hs-Hmin}{Hstop-Hsmin} \right)^{\alpha} \right] \qquad (3)$$

waarin:

$$H_{s\,min} = -0.043 * SWL^2 + 1.15 * SWL - 0.041 \qquad (3\ a)$$

Dit is een relatie tussen de gekozen SWL en de bijbehorende significante golfhoogte. Deze relatie is echter beperkt tot SWL-waterstanden boven N.A.P. + 2.5 m en voor golven veroorzaakt door wind vanuit de richtingen tussen 285° en 360°. Dit resulteert in alle gevallen in H_s-waarden groter dan 2.5 m. De minimale significante golfhoogte volgt uit (3 a) voor SWL = 2.5 : $H_{s\,min}$ (2.5m) = 2.57 m.
De significante golfhoogte moet nu worden vertaald naar een verdeling van golfhoogten. De golfhoogteverdeling tijdens een storm kan worden beschreven met een Rayleigh verdeling. Voor de golfhoogteverdeling in geval er geen sprake is van storm gelden andere kansdichtheidsfuncties. Gekozen is echter voor één kansdichtheidsfunctie, de Rayleigh verdeling:

$$p\{H\} = 4 \frac{H}{H_s^2} \exp\left\{ -2 \left[\frac{H}{H_s} \right]^2 \right\}; \qquad (4)$$

De maximaal mogelijke golfhoogte is echter beperkt tot maximaal 0.6 maal de waterdiepte gerekend vanaf de SWL.

- Golfklappen

Het aantal golven dat werkelijk een golfklap veroorzaakt en de intensiteit van de golfklappen hebben een gelijkvormige kansdichtheidsfunctie. Voorgesteld wordt daarom om beide kansdichtheidsfuncties samen te voegen tot een nieuwe kansdichtheidsfunctie. Voor deze kansdichtheidsfunctie kan worden aangehouden de normale verdeling zoals die is weergegeven door Führboter en Sparboom (Vledder [6]):

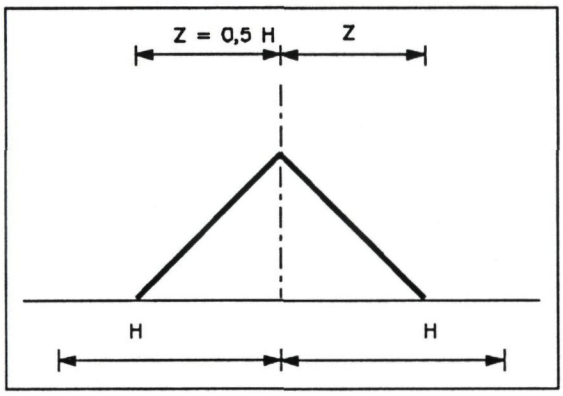
$$p\{q\} = \frac{1}{\sigma_q \sqrt{2\pi}} \exp\left\{ -\frac{(q - q_{gem})^2}{2\sigma_q^2} \right\}; \qquad (5)$$

De bovengenoemde formule geldt voor taluds met een helling van 1:4.

- Sommatie over naastliggende hoogten

De SWL verloopt in de tijd over de hoogte. Op een tijdstip t ± dt is de SWL verlopen en moet dus een integratie worden uitgevoerd van de in die periode geleverde bijdrage van de golfklappen behorend bij een hogere of lagere SWL. Als vooralsnog wordt aangenomen dat de kansdichtheidsfunctie van

de golfklappen over het integratiegebied lineair is, dan kan worden volstaan met de integratie over de spanningsverdeling ten gevolge van de diverse golfklappen. Om praktische redenen wordt geïntegreerd over een afstand van 2 * H gemeten langs het talud, daarbij worden echter alleen die bijdragen meegenomen waarbij er sprake is van trek aan de onderzijde van het asfalt



Figuur 1 Integratie over strook door golfklappen belast talud.

De breedte waarover de golfklappen inslaan is niet relevant omdat wordt verondersteld dat golven die niet inslaan op de aangenomen SWL (bij gegeven SWL) worden gecompenseerd door golven die juist wel op die lokatie inslaan op het moment dat de SWL hoger of juist lager is. Daarom wordt gewerkt met de fictie dat alle golven , gegeven een SWL, op één en hetzelfde punt inslaan (zie ook onder het hoofdje SWL onder dit hoofdstuk op blz 7).

4. SPANNINGSVERDELING

In de Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw [5] wordt de maximale spanning berekend aan de onderzijde van een laag asfalt op een zandbed onder invloed van een tot lijnlast geschematiseerde golfbelasting. De ondergrond is daarbij geschematiseerd tot een lineair elastisch stelsel veren, het asfalt tot een op buiging belaste plaat.

In werkelijkheid zullen de eigenschappen van asfalt en ondergrond in drie dimensies verschillen. De in de leidraad gekozen benadering gaat uit van homogeen asfalt en homogene ondergrond. Een meer met de werkelijkheid overeenkomende benadering kan worden verkregen met geavanceerde elementenberekening in twee of zelfs drie dimensies. Wil een dergelijke benadering in de praktijk zin hebben dan zullen strenge eisen moeten worden gesteld aan de te meten eigenschappen of de controle op de in het werk gerealiseerde eigenschappen.

Dit rapport beperkt zich tot de aanpassing van de relatief simpele benadering van het eendimensionale lineair elastische model, waarbij de verbetering wordt gezocht in de wijze waarop de verschillende golfbelastingen worden vertaald naar een belasting op het asfalt en de manier waarop de constructie deze belasting opneemt. Voor het laatste aspect is gebruik gemaakt van een tweetal notities van R 't Hart [3] en [4].

In de eerste plaats is een onderlinge vergelijking gemaakt tussen de toepassing van de onderstaande modellen (zie voor belastingverdeling figuur 2):

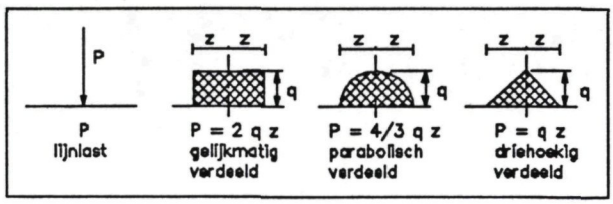
* Lijnlast model met een belasting van P kN/m. De hierbij optredende trekspanning recht onder de belasting aan de onderzijde van het asfalt bedraagt:

$$\sigma = \frac{P}{4\ \beta} * \frac{6}{h^2}; \qquad (6)$$

* Gelijkmatig verdeelde belasting over een breedte van 2 * z, waarbij de totale belasting gelijk blijft (P=2*q*z). De optredende trekspanning midden onder de belasting (is niet altijd de maximaal optredende trekspanning) bedraagt in dit geval:

$$\sigma = \frac{q}{4\ \beta^2}\ [\ 2\ \exp(-\beta z)\ \sin\ (\beta z)\ ]\ * \frac{6}{h^2} \qquad (7)$$

* Parabolisch verdeelde belasting met P = 4/3 * q * z. De hierbij optredende trekspanning aan de onderzijde van het asfalt bedraagt midden onder de belasting;



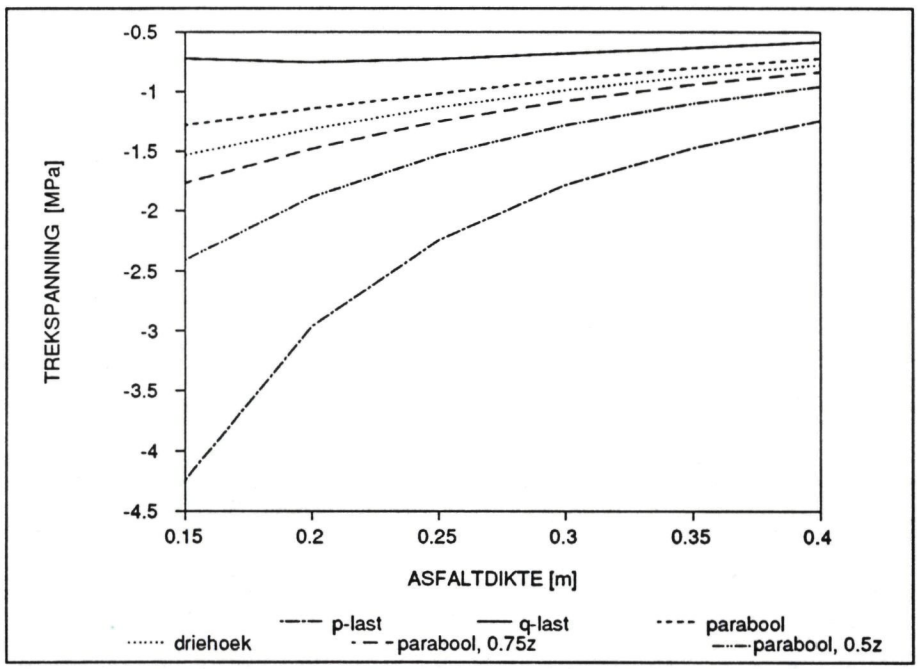
$$\sigma = \frac{q}{4\ \beta^2 * \beta z}\ [\ \frac{2}{\beta z} - \exp\ (-\beta z)\ ]\ *\ [\ 2 \sin\ (\beta z) + 2 \cos\ (\beta z) + \frac{2 \cos\ (\beta z)}{\beta z}\ ]\ * \frac{6}{h^2}\ ; \qquad (8)$$

* Driehoekig verdeelde belasting met P = q * z. De hierbij optredende trekspanning aan de onderzijde van het asfalt bedraagt midden onder de belasting:

$$\sigma = \frac{q}{4\ \beta^2 * \beta z}\ [\ 1 - \exp\ (-\beta z)\ \ \{\ \cos\ (\beta z) + \sin\ (\beta z)\ \}\ ]\ * \frac{6}{h^2} \qquad (9)$$

Figuur 2 Belastingsverdelingen

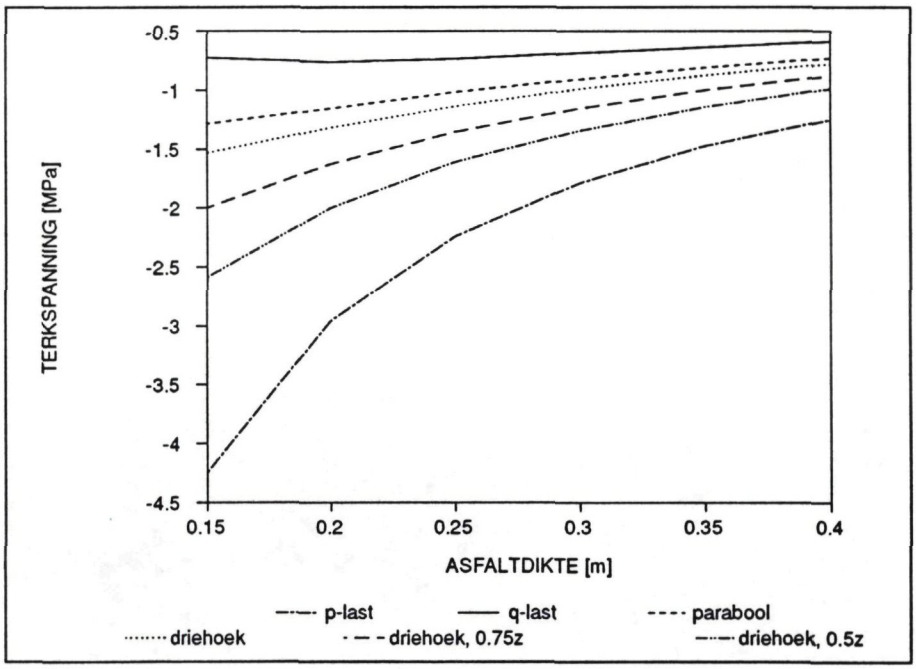
Het verloop van de trekspanning bij variërende dikte van het asfalt en bij een E_{asfalt} = 5000 MPa, ν_{asfalt} = 0.38 en een veerstijfheid van de grond c = 40 Mpa is te zien in figuur 3. Daaruit blijkt dat met name bij geringe asfaltdikten de lijnlast een aanzienlijk hogere



Figuur 3 Spanningsverloop aan de onderzijde van een asfaltlaag midden onder de belasting bij verschillende belastingsverdelingen.

trekspanning aan de onderzijde van het asfalt veroorzaakt. Bij de gelijkmatig verdeelde belasting daarentegen is in vergelijking met de werkelijk optredende belasting een te groot aandeel van de belasting verschoven naar de buitenzijde. Als gevolg daarvan wordt de belasting schijnbaar teveel gespreid.
In figuur 3 is ook de spanning aangegeven als de breedte van de golfbelasting afneemt bij een parabolische belastingsverdeling. Door versmalling van de parabool nadert de spanning meer tot de spanningsverdeling onder een lijnbelasting.

Dezelfde figuur is in figuur 4 herhaald waarbij nu een afname van de breedte van de driehoek bij een driehoekige belastingsverdeling is weergegeven. Het verloop is gelijkvormig, alleen de trekspanning onder een driehoekige belasting is in vergelijking wat groter dan de trekspanning onder een parabolische verdeling. (N.B. In de huidige leidraad wordt de lijnlast P gelijk gesteld aan 0.8 * z * q)

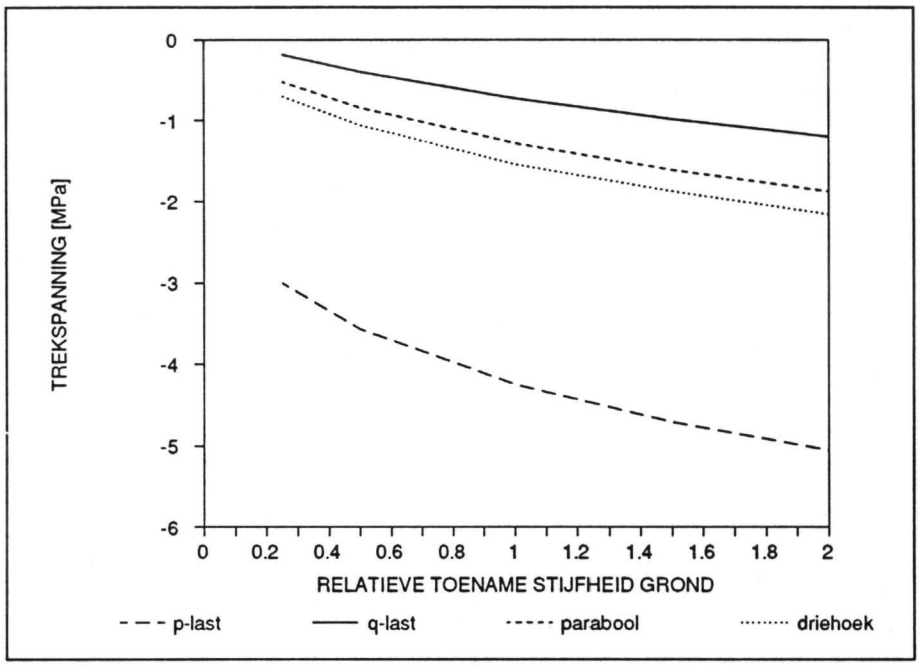


Figuur 4 Spanningsverloop aan de onderzijde van een asfaltlaag midden onder de belasting bij verschillende belastingsverdelingen.

In figuur 5 is nagegaan wat het effect is van de verhouding tussen de stijfheden van het asfalt en de ondergrond. De spanningen zijn uitgezet tegen dit verhoudingsgetal. De c waarde van de ondergrond

varieert daarbij van 0.25 tot 2 maal de eerder aangenomen waarde. Uit de figuur blijkt dat de variatie van de stijfheidsverhouding tussen het asfalt en de ondergrond de spanningsverdeling niet in belangrijke mate beïnvloedt. Wel is te zien dat door een toename van de stijfheid van de ondergrond de trekspanning aan de onderzijde van het asfalt midden onder de belasting niet in dezelfde mate blijft veranderen als een andere schematisatie van de golfbelasting wordt gekozen.

Op grond van registraties van drukverdelingen onder golfbelastingen heeft een driehoekige belasting de voorkeur. De breedte van de driehoek kan daarbij gelijk worden gesteld aan de waarde van de golfhoogte ($2z = H_s$) (zie ook hoofdstuk 3)



Figuur 5 Invloed van de variatie van E_{asfalt} op de trekspanningen aan de onderzijde van het asfalt midden onder de belasting.

De formules voor de berekening van de spanningen aan de onderzijde van de asfaltlaag als functie van de plaats ten opzichte van de belasting is ontleend aan 't Hart [4]

$$M = - q_0 \, [-\sin(\beta x) * \{e^{\beta x} - e^{-\beta x}\} \, e^{-\beta z} \, \{\cos(\beta z) - \sin(\beta z)\}$$

$$+ \cos(\beta x) * \{e^{\beta x} + e^{-\beta x}\} \, e^{-\beta z} \, \{\cos(\beta z) + \sin(\beta z)\}$$

$$- 2 \, e^{-\beta x} * \{\sin(\beta x) + \cos(\beta x)\}] \, / \, (8 \, \beta^2 \, \beta \, z) \text{ voor } x < z$$

$$M = -q_0 * e-\beta x * [+\cos(\beta x) * \{e^{\beta z}\{\cos(\beta z) - \sin(\beta z)\} + e^{-\beta z}\{\cos(\beta z) + \sin(\beta z)\}\} + \sin(\beta x) * \{e^{\beta z}\{\cos(\beta z) + \sin(\beta z)\} + e^{-\beta z}\{\cos(\beta z) - \sin(\beta z)\}\} - 2\{\cos(\beta x) + \sin(\beta x)\}] / (8\beta^2\beta z) \text{ voor } x > z$$

5. VERMOEIING

Asfalt is een materiaal waarvan de sterkte eigenschappen verminderen bij voortdurende belasting. Bij de dimensionering van asfalt wordt aangenomen dat de volgorde waarin de verschillende belastingen optreden niet van invloed is. Alle te verwachten belastingen kunnen dan worden opgeteld.
Een geringer aantal relatief grote belastingen heeft eenzelfde effect op de sterkte als een groter aantal relatief kleine belastingen. Om belastingen van verschillende grootte bij elkaar te kunnen optellen worden ze vergeleken met het aantal belastingsherhalingen van dezelfde grootte dat tot bezwijken leidt. Voor asfalt kan het aantal belastingswisselingen N dat tot bezwijken leidt worden uitgedrukt in onderstaande formule:

$$N = k_{Miner} * \sigma^{-a_{Miner}} \qquad (10)$$

De bezwijksterkte wordt bereikt als $\Sigma\, n/N = 1$, waarbij n het werkelijk aantal belastingswisselingen is. Bij het ontwerp dient hiervoor het te verwachten aantal belastingswisselingen te worden ingevuld.

Voor de waarden van a en k zijn in dit rapport de onderstaande aan materiaalonderzoek ontleende waarden aangehouden:
a_{Miner} =5
k_{Miner} =450.000
De grootte van deze waarden is gekoppeld aan de gebruikte eenheden van de golfklapbelasting ([MPa])

6. OPZET REKENSCHEMA

Bij de opzet van het rekenprogramma is in eerste instantie gewerkt volgens twee lijnen. In de eerste plaats is gewerkt aan de opzet van een rekenschema met behulp van een spread sheet. Door de vermenigvuldiging van een aantal kansdichtheidsfuncties werd dit programma zo uitgebreid dat het over meerdere spread sheets moest worden verspreid en daarnaast veel tijd ging vragen voor laden en opslaan. Deze lijn is niet verder voortgezet en niet verder vermeld in dit rapport.
In de tweede plaats is een programma gemaakt in Basic, gebaseerd op dezelfde uitgangspunten. Dit programma is tenslotte vertaald naar een Fortran versie. De Fortran versie is bijgevoegd als bijlage 2 bij dit rapport.

Bij de beschrijving van het programma is min of meer de structuur aangehouden die ook is gebruikt bij de beschrijving van de verschillende aspecten omdat deze het beste de structuur en de gemaakte keuzes duidelijk maakt. Achtereenvolgens worden de volgende onderdelen beschreven:

A invoer
B waterstanden en significante golfhoogten
C kansdichtheden van significante golfhoogten
D golfhoogten
E kansdichtheden van golfhoogten
F golfklapgrootten
G kansdichtheden golflkappen
H sommatie over het belaste deel van het talud
I vermoeiingsaandeel n
J toelaatbaar aantal belastingswisselingen
K uitvoer

De verschillende blokken zullen achtereenvolgens worden besproken.

A <u>invoer</u>

Het invoer gedeelte is opgezet als een aparte data file. Op deze wijze kan snel met een kleine wijziging worden gedraaid zonder dat elke keer de volledige invoer opnieuw moet worden ingevoerd. Het verkleint de kans op invoerfouten. In een definitieve versie is het zinvol een menugestuurde invoer aan het programma toe te voegen. De gebruikte datafile is bijgevoegd als bijlage 1

De in het programma gebruikte parameters worden in het programma verklaard en verwijzen naar de parameters zoals vermeld in de formules in de voorgaande hoofdstukken.

In de datafile kan worden ingevoerd bij welke laagdikte (te schatten) de berekening moet worden uitgevoerd en welke materiaaleigenschappen van het asfalt en de grond in het ontwerp zijn gekozen. Voor de veerconstante van de grond (c) wordt verwezen naar tabel 20.3 van de Leidraad [5]

Door de keuze van een SWL wordt niet alleen het niveau gekozen waarop de bekleding op het talud zal worden beschouwd, maar deze keuze houdt ook in dat de gebruikte golfrandvoorwaarden hieraan zijn gekoppeld. De golfrandvoorwaarden gelden volgens lit [1] voor de SWL zoals die optreedt op de Noordzee voor Hoek van Holland bij 20 m waterdiepte. Deze waarde is dus exclusief golfoploop en opwaaiing in estuaria. Verder moet worden ingevoerd de waterdiepte of de ligging van de onderwaterbodem van de vooroever in m - NAP. Op de waarde en de invoer van de volgende data wordt in de volgende onderdelen nader ingegaan.

B <u>waterstanden en significante golfhoogten</u>

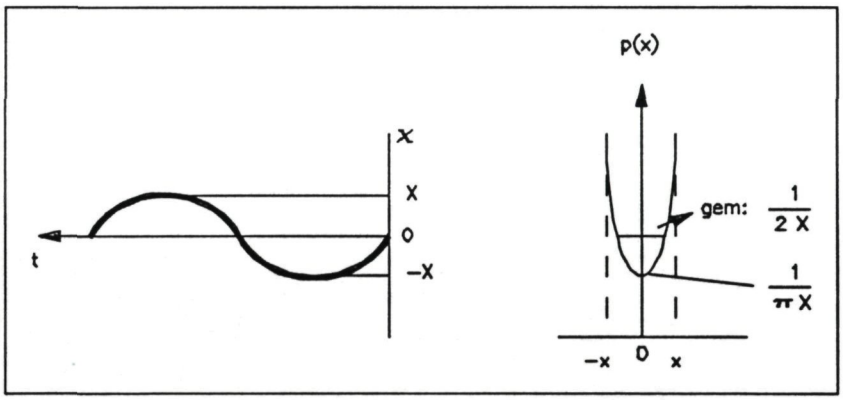
De constanten voor de invoer in de kdf van de SWL zijn reeds in het programma ingevoerd. Bij gebruik van andere constanten moeten deze waarden worden aangepast.
Als er een SWL is gekozen kan worden berekend met welke frequentie deze SWL voorkomt, uitgaande van de randvoorwaarden zoals die zijn genoemd in hoofdstuk 3. De SWL is hierbij niet gecorrigeerd in verband met het lager op het talud aangrijpen van de golfkrachten.

Met behulp van de frequentie is uitgerekend hoeveel tijd in totaal de gekozen waterstand voorkomt. De frequentie van het aantal malen per jaar dat een gekozen SWL voorkomt is daarvoor vermenigvuldigd met de levensduur en met de duur van een getij. Dit is de zogenaamde brutotijd. Als minimum is voor de brutotijd een tijdsduur van 36 uur gehanteerd, dit stelt de duur van de vaak gehanteerde ontwerpstorm voor. Een bruto stormduur van 36 uur is tamelijk lang. Deze keuze is gebaseerd op twee aspecten. In de eerste plaats is de kans op een extreem hoogwater voorafgaande en/of opvolgend op een zeer extreem hoogwater relatief groot., er is sprake van een vrij sterke correlatie. Ten tweede wordt voor deze relatief lange tijdsduur gekozen omdat voor de kansdichtheidsfunctie van de getijgolf bij de berekening van de zogenaamde nettotijd zal worden uitgegaan van de gemiddelde waarde over de kansdichtheidsfunctie; met name de zones nabij hoog en laagwater zullen echter langduriger worden belast (zie figuur 6). Het uiteindelijk aantal golven op het talud wordt vervolgens berekend uit de nettotijd per meter peilverschil met onderstaande formule:

```
NETTOT = 2 * BRUTOT / (SPRT * sqrt(1.+(1./TH)**2) ).          (11)
```

waarin
NETTOT = nettotijd [s/m];
BRUTOT = brutotijd [s];
SPRT = verschil tussen hoog en laagwater bij springtij [m]
TH = taludhelling [m/m]

De waarde 2 staat in de formule voor het aantal passages van een bepaald niveau gedurende een getij.



Figuur 6 Kansdichtheidsfunctie golfhoogten

C <u>kansdichtheden van significante golfhoogten</u>

In formule (3) is voor H_s de waarde van achtereenvolgens 1.1 * H_{smin} tot en met 3.0 * H_{smin} ingevuld. Met de reeds eerder ingevoerde waarden voor α, H_{stop}-H_{smin} en H_{smin} volgen dan de bijbehorende kansdichtheden. Het interval waarover de kansen worden berekend is hier 0.1* H_{smin} gekozen. Bij de gekozen breedte van het interval

blijkt de totale kans nagenoeg gelijk te zijn aan één.

D golfhoogten

In de volgende berekeningsstap zijn de golfhoogtes bepaald die kunnen optreden bij een range van significante golfhoogtes zoals vermeld onder punt C. De berekende golfhoogten variëren in het programma van $0.1*1.1*H_{smin}$ tot $3.0*3.0*H_{smin}$. Vervolgens is nagegaan welke golfhoogten niet kunnen bestaan in verband met de aanwezige waterdiepte. Als maximale golfhoogte voor breken is de waarde van 0.6 maal de op dat moment en bij de gekozen waarde van SWL behorende waterdiepte aangehouden. De waterdiepte is berekend uit de ingevoerde diepte ten opzichte van NAP vermeerdert met de waarde van SWL. Alle golfhoogten die groter zijn zijn vervangen door deze waarde.

E kansdichtheden van golfhoogten

Bij iedere golfhoogte zoals berekend onder punt D behoort een kans van voorkomen. De kansverdeling van de significante golfhoogtes is daarom vermenigvuldigd met de Rayleigh verdeling van formule (4). Aangehouden is ook hier weer een interval van $0.1*H_{smin}$. De gesommeerde kans bedraagt bij dit interval weer nagenoeg één. te zijn.

F golfklapgroottes

Bij iedere significante golfhoogte behoort een verdeling van golfklappen varierend in grootte van 0 tot praktisch gezien de maximale waarde van $6\ \rho\ g\ H_s$. Deze waarde is ontleend aan metingen van Führboter en Sparboom (Vledder, fig 5.15 [6]). Aangehouden is de omhullende van de metingen voor een talud met een helling van 1:4. Daarmee wordt een veilige aanname ten opzichte van de metingen verkregen. Als gevolg van deze aanname verschuift de verdeling waardoor golfklappen met een belasting kleiner dan $2\ \rho\ g\ H_s$ uit de verdeling verdwijnen. De golfhoogtes variëren dus tussen $2\ \rho\ g\ H_s$ en $6\ \rho\ g\ H_s$.

G kansdichtheden golfklappen

De kans op voorkomen van de golfklappen is ontleend aan dezelfde grafiek van Führboter en Sparboom (Vledder [6]) als vermeld onder punt F. De relatie geldt voor onregelmatige golven en een talud van 1:4. De aan deze grafiek ontleende waarden zijn ingevoerd als data in het programma.

H sommatie over het belaste deel van het talud

Tijdens een golfklap treedt midden onder de belasting een trekspanning op aan de onderzijde van het asfalt. Op naastgelegen plaatsen zal echter ook een (lagere) spanning optreden aan de onderzijde van het asfalt. In het programma zijn niet alleen de spanningen midden onder de golfbelasting, maar ook de trekspanningen tot maximaal een afstand van H vanaf het midden meegenomen in de sommatie.

I vermoeiingsaandeel n

De totale tijdsduur dat de gekozen SWL voorkomt moet worden gedeeld door de golfperiode van de betreffende golfhoogte om het aantal golven te verkrijgen. Voor de berekening van het aantal golven wordt de golfperiode berekend met de relatie $T=3.5Hs^{0.5}$ ontleend aan de

huidige Leidraad [5]. Vermenigvuldiging van het aantal golven met de kans levert een waarde voor n.

J toelaatbaar aantal belastingswisselingen N

Het totaal aantal toelaatbare belastingswisslingen bij een bepaalde optredende trekspanning in het asfalt wordt berekend met formule 10, waarbij de in hoofdstuk 5 vermelde constanten zijn gebruikt en voor de berekening van de optredende spanning gebruik is gemaakt van formule 9.

K uitvoer

De uitvoer in het programma is de Minersom, dat wil zeggen: de som van de voor alle golfklapklassen bepaalde verhouding tussen het aantal optredende en het maximaal toelaatbare aantal belastingswisselingen.

7 BEREKENINGSRESULTATEN

In een aantal berekeningen is het programma gedraaid voor een aantal asfaltdiktes met de volgende invoer van parameters:

```
LAAGDIKTE [m]                          0.25
Taludhelling                           0.25
E MODULUS [MPa], NU, VERMOEIINGSEIGENSCHAPPEN K EN A
                                5000   0.38    450.000      5
VEERKONSTANTE GROND [MN/m]             40
NIVEAU VAN BEKLEDING (=STIL WATER LIJN) [m + NAP]
                                       4.5
SPRINGTIJVERSCHIL TUSSEN HOOG EN LAAG WATER [m]
                                       5
DIEPTE WATERBODEM [m - NAP]            3
LEVENSDUUR [jr]                        30
KANSDICHTHEDEN GOLFKLAPPEN (11 getallen)
0.039   0.1    0.18   .235   0.2    .13    0.08   0.02
0.01    0.005  0.001
ALFA EN HSTOP-HSMIN            4.7    2.9
```

De uitkomst van deze berekening bedraagt 0.293

De invloed van de variatie in laagdikte volgt uit onderstaand overzicht

h=0.25 m	n/N=0.293
h=0.30 m	n/N=0.219
h=0.35 m	n/N=0.164
h=0.40 m	n/N=0.124

Halvering van het springtijverschil bij hoog en laag water heeft een verdubbeling van de waarde van n/N tot gevolg. Weliswaar blijft de brutotijd gelijk aan de stormperiode van 36 uur, maar door de directe relatie met het springtijverschil in de nettotijd werkt het verschil wel door in de waarde van n/N.

Variatie in de stijfheidsverhouding tussen asfalt en grond is berekend door de stijfheid van de grond te varieren bij verder gelijk

gehouden invoergegevens.

c grond = 80 MN/m^2	n/N=0.040
c grond = 40 MN/m^2	n/N=0.293
c grond = 20 MN/m^2	n/N=2.021

De invloed van de empirische constanten uit de vermoeidheidsformule van Meiner is hierna weergegeven:

a=5	k= 450.000	n/N=0.293
a=4.5		n/N=0.167
a=4		n/N=0.097
a=5	k= 45.000	n/N=2.93
	k= 450.000	n/N=0.293
	k=4.500.000	n/N=0.029

8 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het voorgaande rapport is een opzet beschreven voor de berekening van de benodigde dikte van asfalt op taluds onder golfbelasting.

In de eerste plaats is gekeken naar de belasting door golfklappen. Aannamen zijn daarbij gedaan over de kansdichtheidsfunctie van de waterstandshoogte en de daarmee samenhangende tijd dat een bepaalde waterstand gedurende de levensduur van een constructie voorkomt. De keuze van de hoogte geldt alleen voor diep water. Opstuwing of opwaaiing aan de kust is daarin niet verwerkt. Bij het ontwerp van de constructie zal daarmee wel rekening moeten worden gehouden.
De kansdichtheidsfunctie geldt alleen voor golven hoger dan 2,5 m en windcondities uit een beperkte hoek. De gebruikte kdf dient dan ook nog eens terdege te worden afgewogen.
Ook de aanname voor de tijd dat een bepaalde waterstand aanwezig is, is slechts beperkt onderbouwd. Deze aanname verdient een bredere discussie.

De verdeling van significante golfhoogten en de verdeling van golfhoogten voor elke waarde van de significante golfhoogte is weliswaar gebaseerd op stormcondities met een beperkt windveld, maar is verder gebaseerd op waarnemingen. Tevens is als randvoorwaarde breking in de berekening ingevoerd.

De gebruikte relatie tussen golfhoogte en golfklappen is gebaseerd op waarnemingen en is slechts geldig voor een talud 1:4. Voor afwijkende taluds en vooroevercondities zal de gebruikte kansdichtheidsfunctie moeten worden aangepast.

De sterkteeigenschappen van het asfalt en de ondergrond, en met name de verouderings- en vermoeiingskarakteristieken zijn nog onvoldoende bekend. De variatie in deze eigenschappen is niet of nauwelijks bekend.

Met de aangenomen eigenschappen is een uitkomst verkregen die past in het verwachtingspatroon en waarmee een ontwerp kan worden beoordeeld op grond van de te verwachten golfcondities.

De berekening is uitgewerkt in een Fortran programma. De listing van het programma is bijgevoegd in bijlage 2.

GRONDMECHANICA DELFT

LITERATUUR

[1] Bruinsma, J.,J v.d.Graaff
Golfhoogte waterstandsrelatie t.p.v. de NAP -20 m lijn nabij Hoek van Holland
Rijkswaterstaat WWKZ 82-G-259, Den Haag, 1982.

[2] CUR publicatie 141
Probabilistic design of flood defences

[3] Hart, R 't
Statische lineair-elastische schematisaties ten behoeve van de golfklapformule,
Concept d.d. 3 mei 1990

[4] Hart, R 't
Vergelijking numerieke resultaten driehoeksbelasting met analytische resultaten van het lijnlastmodel en het model met driehoekige verdeelde belasting.
Notitie d.d. 13-2-91 aan TAW A4 subgroep dimensioneringen.

[5] Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw,
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Staatsuitgeverij, 1984, ISBN 9012044944

[6] Vledder, G.Ph.van
Literature survey to wave impacts on dike slopes,
Delft Hydraulics, H 976, juli 1990.

BIJLAGE 1 Invoerfile asfaltprogramma

```
0.25            ! Input LAAGDIKTE [m]
0.25            ! Taludhelling
5000 0.38 450000 5      ! E MODULUS [MPa], NU, VERMOEIDHEIDSEI-
GENSCHAPPEN K EN A
40          ! VEERKONSTANTE GROND [MN/m]
4           ! Input STIL WATER LIJN [m + NAP]
5             ! input SPRINGTIJVERSCHIL TUSSEN HOOG EN LAAG WATER [m]
3             ! Input DIEPTE WATERBODEM [m - NAP]
30            ! Input LEVENSDUUR [jr]
0.039           ! Input kansdichtheid golfklappen (11 getallen)
0.10
0.18
.235
0.2
.13
0.08
0.02
0.01
0.005
0.001
4.7 2.9     ! Input ALFA EN HSTOP-HSMIN
```

BIJLAGE 2 Listing asfaltprogramma

```
      implicit real (A-Z)
      integer N1, N2, N3, N5, N15, N30, N100
      parameter (N15=15, N30=2*N15, N100=100)

      dimension HSVERD(N30), HVERD(N30,N100), KANS(15)
C
C        BEREKENING ASFALTDIKTE DIJKEN
C        aanmaakdatum 1 januari 1992
C        GRONDMECHANICA DELFT
C        M.A.Viergever
C        Postbus 69, 2600 AB DELFT
C        Telefoon 015-693500
C        Opdrachtgever RWS-DWW
C
C        In Fortran omgezet door H. den Adel d.d. 1992-2-25
C        Aangepast door R. 't Hart (RWS-DWW) d.d. 1992-3-13
C


C
C        Open het invoerbestand
C
      open (unit=10, file='ASFALT.DAT')

C
C        Open het bestand voor de printer
C
C     open (unit=11, file='PRN')

C
C        Input LAAGDIKTE [m] en Taludhelling
C
      read(10,*) H
      read(10,*) TH
      write(*,81) H, TH
81    format(' Bekledingsdikte h:',F4.2,' m.    taludhelling:',F6.3)
C
C        Input EIGENSCHAPPEN ASFALT
C        E MODULUS [MPa], NU, VERMOEIDHEIDSEIGENSCHAPPEN K EN A
C
      read(10,*) E, NU, KASF, AASF
      write(*,82) E, NU
      write(*,83) KASF, AASF
82    format(' E-modulus asfalt:',F6.0,' MPa     nu-asfalt:',F4.2)
83    format(' K-waarde asfalt :',F9.0,'      A-asfalt: ',F4.2)
C
C        Input EIGENSCHAPPEN GROND
C        VEERKONSTANTE GROND [MN/m]
C
      read(10,*) CGR
      write(*,84) CGR
84    format(' Veerconstante ondergrond:',F6.0,' MN/m.')
      BETA = (3.*CGR*(1.-NU**2)/(E*H**3))**.25
C
C        Input STIL WATER LIJN [m + NAP]
C        input SPRINGTIJVERSCHIL TUSSEN HOOG EN LAAG WATER [m]
C
      read(10,*) SWL
      read(10,*) SPRT
      write(*,85) SWL,SPRT
85    format(' SWL tov NAP: +',F5.2,' m  Springtijverschil:',F5.2,'
m')
C
C        Input DIEPTE WATERBODEM [m - NAP]
C
      read(10,*) D
      write(*,86) D
86    format(' Niveau van de bodem: NAP -',F5.2,' m.')
```

```
C
C         Input LEVENSDUUR [jr]
C
      read(10,*) LVSDR
      write(*,87) LVSDR
87    format(' Levenduur ',F5.2,' jaar.')
C
C         Input SWL0 [m] EN A SWL (vaste waarden in de source)
C
C     read(10,*) SWL0,ASWL
      SWL0 = 2.2
      ASWL = .3026
C     write(*,*) 'SWL0,ASWL',SWL0,ASWL
C
C         Input KANSDICHTHEDEN GOLFKLAPPEN
C
      do 9 N3 = 1,11
        read(10,*) KANS(N3)
9     continue
      do 10 N3 = 1,5
        write(*,130) 2*N3-1,KANS(2*N3-1),2*N3,KANS(2*N3)
130     format(' KANS(',I2,') =',F7.5,'  KANS(',I2,') =',F7.5)
10    continue
        write(*,131) KANS(11)
131     format(' KANS(11) =',F7.5,)
C
C         Input ALFA EN HSTOP-HSMIN
C
      read(10,*) ALF, HSTM
      write(*,*) ' ALFA, HSTM',ALF, HSTM
C
C     Berekening van de overschrijdingsfrequentie van het SWL-niveau
C
      NSWL = exp( -(SWL+.5*SPRT-SWL0)/ASWL )
C
C     Bruto tijdsduur = frequentie * levensduur * tijdsduur van getij
C
      BRUTOT = NSWL * LVSDR * 12.4 * 3600
C
C     Als de verwachtingswaarde van de totale tijd kleiner is dan een
C     maatgevende stormduur, moet een stormduur in rekening worden
C     gebracht.
C
      if ( BRUTOT .le. 36*3600 ) then
        BRUTOT = 36*3600
        write(*,109) BRUTOT
       else
        write(*,110) BRUTOT
      end if
109   format(' Enkele storm is maatgevend: Bruto tijd=',G12.6,' s')
110   format(' Bruto tijd=',G12.6,' s')
C
C     Netto tijd is afhankelijk van het tijverschil en de
taludhelling
C
      NETTOT = 2 * BRUTOT / (SPRT * sqrt(1.+(1./TH)**2) )
      write(*,111) NETTOT
111   format(' Netto tijd =',G12.6,' s/m')
C
C     NETTOT is tijd per eenheid van lengte gemeten tegen het talud
op.
C
      HSMIN=-.043256*SWL**2 + 1.1524*SWL -.0407
C
C     Berekenen van de kans van voorkomen van Hs
C
      do 11 N1=11,30
        H1 = (N1*HSMIN/10-HSMIN) / HSTM
        H2 = (H1)**ALF
```

```
        H3 = ((ALF-1)/ALF ) * H2
        if ( abs(H3) .lt. 85.0 ) then
          HSVERD(N1)=( (ALF-1)/HSTM) * (H2 / H1) *
     &    exp(-H3) *.1 * HSMIN
        else
          HSVERD(N1) = 0.0
        end if
11    continue

      do 12 N1=11,30
        do 13 N2=1,35
          HVERD(N1,N2) = HSVERD(N1)*4*N2/(N1*HSMIN)*
     &    exp(-.02*(float(N2))**2)*.01*N1*HSMIN
13      continue
12    continue
C
C     De maximale golfhoogte is gelimiteerd door de waterdiepte
C
      GLFB=.6*(SWL+D)

      VERM=0
      MINER=0

      Write(*,*)' Stap:    Hs op diepwater:  maximale golfhoogte:',
     &'  Miner vorige stap'
      Write(*,*)' '
C
C     Lus waarin in 20 stappen verschillende HS-waarden worden
doorlopen
C
        do 21 N1=11,30
          GLFHS=N1*HSMIN/10
          write(*,120) N1-10, GLFHS, GLFB, DMINER
120       format ('+ ',I3,'           ',G13.6,10X,G13.6,F7.5)
          DMINER = 0
C
C          de sign. golfh. wordt begrensd tot de maximale golfhoogte
C
          if ( GLFHS .ge. GLFB ) then
              GLFHS = GLFB
          end if
          GOLFKL=GLFHS/100
C
C         Lus waarin in 35 stappen H wordt doorlopen
C         H = .1 HS (stap .1 HS) tot 3.5 HS
C
          do 22 N2=1,35
            GLFA=N2*GLFHS/10
C
C             de golfhoogte wordt begrensd tot de max. golfhoogte
C
            if ( GLFA .ge. GLFB ) then
              GLFA=GLFB
            end if
C
C             de belaste breedte wordt gelijk genomen aan de
C             momentane golfhoogte (z is de helft van de basis
C             van de prismatische belasting).
C
            BETAZ = 0.5 * BETA * GLFA
            Q = .05 * GLFA
C
C           Berekeningen die buiten de lus al kunnen worden gemaakt
C
             SBZ = sin(BETAZ)
             CBZ = cos(BETAZ)
             EBZ = exp(BETAZ)
             EBZM = 1/EBZ
C
```

```
C          Lus om verschillende stootfactoren in rekening te brengen
C
             do 23 N3=1,11
C
C              berekening van de stootfactor:
C
               N4 = N3 * .4 + 1.6
C
C              Berekening bijdr. door moment ter plaatse van
inslagpunt
C              MOM = moment;
C              NMIX = toelaatbaar aantal malen tot vermoeiingsbreuk.
C              NOPTR = verwachtingswaarde voor het aantal golven;
C
               MOM = GOLFKL * N4 * ( 1. - EBZM * (CBZ + SBZ)) /
     &        (4. * BETA**2 * BETAZ)
               NMIX = KASF * (MOM*6 / H**2)**(-AASF)
               NOPTR = KANS(N3) * HVERD(N1,N2) * NETTOT * Q /
     &        ( 3.5 * sqrt(GLFHS) )
                   kanst= kanst + KANS(N3) * HVERD(N1,N2)
               VERM = NOPTR/NMIX
               DMINER = DMINER + VERM
23         continue
C
C          Integreren in 10 stappen over de momentenverdeling voor
C          x < z
C
           do 25 N5=1,10
C              write(*,*)'N5 =',N5
               X = N5 / float(20)
               BETAX = BETA * X * GLFA
C
C              Vereenvoudigingen die het rekenwerk sterk verminderen:
C
               SB=sin(BETAX)
               CB=cos(BETAX)
               EB=exp(BETAX)
               EBM=1./EB
C
C              Lus om verschillende stootfactoren in rekening te
brengen
C
               do 24 N3=1,11
C              write(*,*)'N3 =',N3
C
C                   berekening van de stootfactor:
C
                     N4 = N3 * .4 + 1.6
C
C                     MOM = moment;
C                     NMAX = toelaatbaar aantal malen tot
vermoeiingsbreuk.
C                     NOPTR = verwachtingswaarde voor het aantal
golven;
C
                     MOM = (-SB) * (EB - EBM) * EBZM * (CBZ - SBZ)
                     MOM = MOM + CB * (EB+EBM) * EBZM * (CBZ+SBZ)
                     MOM = (MOM - 2. * EBM * ( SB + CB ) ) * (-1) *
     &                        GOLFKL * 2 * N4 / ( 8*BETA**2 * BETAZ)

C
C                    MOM mag niet < 0 worden: alleen het positieve
C                    deel van het momentenverloop wordt in rekening
C                    gebracht.
C
                     if ( MOM .gt. 0 ) then
                        NMAX = KASF * (MOM*6 / H**2)**(-AASF)
                        NOPTR = KANS(N3) * HVERD(N1,N2) * NETTOT * Q /
     &                    ( 3.5 * sqrt(GLFHS) )
```

```
                        VERM = NOPTR / NMAX
                        DMINER = DMINER + VERM
                        end if
24            continue
25          continue
C
C         Integreren in volgende 10 stappen over de momentenverdeling

C         voor x > z
C
          do 26 N5=11,20
              X = N5 / float(20)
              BETAX = BETA * X * GLFA
C
C             Vereenvoudigingen die het rekenwerk sterk verminderen:
C
              SB=sin(BETAX)
              CB=cos(BETAX)
              EBM=exp(-BETAX)
C
C             Lus om verschillende stootfactoren in rekening te
brengen
C
              do 27 N3=1,11
C
C                  berekening van de stootfactor:
C
                   N4 = N3 * .4 + 1.6
C
C                   MOM = moment;
C                   NMAX = toelaatbaar aantal malen tot
vermoeiingsbreuk.
C                   NOPTR = verwachtingswaarde voor het aantal
golven;
C
                   MOM1 = CB * (EBZ*(CBZ-SBZ) + EBZM*(CBZ+SBZ))
                   MOM2 = MOM1 + SB * (EBZ*(CBZ+SBZ) + EBZM*-
(CBZ-SBZ))
                   MOM = (MOM2 - 2. * ( CB + SB ) ) * (-1.) * EBM*
     &                       GOLFKL * 2. * N4 / (8.*BETA**2 * BETAZ)

C
C                  MOM mag niet < 0 worden: alleen het positieve
C                  deel van het momentenverloop wordt in rekening
C                  gebracht.
C
                   if ( MOM .gt. 0 ) then
                      NMAX = KASF * (MOM*6 / H**2)**(-AASF)
                      NOPTR = KANS(N3) * HVERD(N1,N2) * NETTOT * Q /
     &                  ( 3.5 * sqrt(GLFHS) )
                      VERM = NOPTR / NMAX
                      DMINER = DMINER + VERM
                      end if
27            continue
26          continue
22        continue
          MINER = MINER + DMINER
21      continue

      write(*,100) MINER
100    format(' Minersom =',G12.6)
C      write(*,101) kanst
C101    format(' totale kans =',G12.6)
      end
```

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Aan

ir. M.F.C. van der Ven
NPC BV
Postbus 83
3870 CB Hoevelaken

Van

R. 't Hart

Doorkiesnummer

015-699386

Datum

23 juni 1992

Bijlage(n)

2

Onderwerp

Rapportage ontwerpmethodiek (activiteiten Viergever)
Discussiestuk "toetsen".

Het bijgaande wordt u toegezonden

☐ conform afspraak

☐ met verwijzing naar

☐ met verzoek de behandeling over te nemen

☐ met verzoek om advies

☐ met verzoek om commentaar

☐ gaarne reactie voor

☐ om te behouden

☐ gaarne retour voor

☐ met dank voor inzage

☐ conform verzoek retour

☒ te uwer informatie

☐

met vriendelijke groet,

Robert

Postadres postbus 5044, 2600 GA Delft
Bezoekadres van der Burghweg 1

Telefoon 015-699111
Telefax 015-611361
Telex 38043

Bereikbaar met buslijn 63 vanaf ns station (halte Oudelaan), buslijn 129 vanaf ns station (halte Bath. v.d. Polweg)

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-69 35 00
Telex 38234 soil nl
Telefax 015-61 08 21