

Memo

Aan
Klankbordgroep asfaltbekledingen

Datum	Aantal pagina's	
8 augustus 2008	4	
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Robert 't Hart	+31 (15) 26 93 556	Robert.tHart@deltares.nl

Onderwerp
Narekenen Deltagoot, Minersom ten gevolge van de opgelegde belastingen

Inleiding

Bij het ontwerp van de asfaltbekleding die in 1991 in de Deltagoot is beproefd, bestond het huidige rekenmodel GOLFKLAP nog niet. Er werd gewerkt met een dimensioneringswijze gebaseerd op een lijnlast. Bij de analyse van de metingen zijn indertijd wel golven nagerekend, in die zin dat de gemeten drukken zijn geschematiseerd en met die belasting de gemeten rekken zijn nagerekend [5]. De schematisatie die daar indertijd voor is gebruikt is de basis voor ons huidige rekenmodel GOLFKLAP. Als onderdeel van de validatie van GOLFKLAP is in deze notitie ook de Minersom voor de bekledingen in de Deltagoot bepaald voor de belangrijkste onregelmatige golfvelden.

Invoer voor de berekeningen

De geometrie van de "dijk" is simpel: een 1: 4 talud, waarbij, als de teen van het talud op het niveau 0,0 m wordt aangenomen, de kruin op het niveau +8,60 m ligt.

De in de berekening gehanteerde materiaaleigenschappen zijn:
 D, de dikte van de asfaltlaag 0,15 m (dun); 0,25 m (dik) [6];
 E_a, de elasticiteitsmodulus van het asfalt [4]:

Temperatuur [°C]	E-modulus [MPa]	
	bij 5 Hz	bij 10 Hz
8,6	3430	4350
13,0	2040	2750
16,5	1300	1800

Tabel 1: Stijfheid asfalt Deltagoot afhankelijk van de temperatuur en frequentie

N.B. de stijfheid van het materiaal is niet alleen temperatuursafhankelijk, maar ook afhankelijk van de belastingsfrequentie. Verondersteld is dat 5 Hz de representatieve belastingsfrequentie is voor de in rekening te brengen stijfheid in geval van golfklappen (conform [4]). Tegenwoordig wordt voor GOLFKLAP-berekeningen normaliter gebruik gemaakt van een stijfheid bepaald aan de hand van proefstukken, bij een belastingsfrequentie van 10 Hz. De temperaturen zijn gemeten met behulp van thermokoppels aan de onderzijde van de asfaltlaag.

v, de dwarscontractie-coëfficiënt van het asfalt = 0,35;
 c, de stijfheid van de ondergrond = 100 MPa/m.

Voor wat betreft de vermoeiingseigenschappen van het asfalt zijn diverse getallen beschikbaar. Enerzijds zijn er regressiewaarden bepaald door M. van der Bol [1] op basis van proeven bij verschillende temperaturen en frequenties. Het op die gegevens gebaseerde regressiemodel voor het materiaal in de Deltagoot levert voor 5°C, 1 Hz als verwachtingswaarde $\log(k) = 4,3$; $a = 3,3$ en een 5% ondergrens voor $\log(k) = 3,7$. Arjen de Looff [2] is, uitsluitend op basis van de gegevens van de proeven bij 5°C, 1 Hz NPC [3], gekomen tot de verwachtingswaarden: $\log(k) = 4,44$; $a = 3,52$. Deze laatste waarden zijn in de referentie berekeningen gehanteerd, de waarden volgens M. van der Bol zijn in de parameterstudie gebruikt.

NB. voor de vermoeiingsgegevens en de stijfheid die in de berekening worden gebruikt wordt uitgegaan van verschillende representatieve belastingsfrequenties. Dat lijkt onlogisch, maar de gedachte erachter is de volgende. In de berekening die wordt gemaakt worden de spanningen berekend die tot vermoeiing leiden. Omdat het gaat om een statisch onbepaalde constructie, zijn de spanningen ook afhankelijk van de stijfheid van het asfalt. De stijfheid van het asfalt bij deze berekeningen moet daarom worden gerelateerd aan de

snelheid van de belasting door golfklappen. 5Hz is daarom een redelijke waarde voor het vaststellen van de stijfheid.

Voor het vaststellen van de vermoeiingseigenschappen is uitgegaan van een lagere frequentie dan die hoort bij de belastingssnelheid van de golfklappen. In de vermoeiingsproeven vinden de belastingswisselingen continu plaats, terwijl in geval van golfbelastingen de klap slechts een fractie van de golfperiode duurt. Na een snelle extreme belasting is er dus sprake van een (relatieve) rustperiode. Een dergelijke belasting is bij een gelijk aantal belastingswisselingen minder belastend voor het materiaal. Daarom is de lagere frequentie van 1Hz representatief verondersteld voor de vermoeiing.

Voor wat betreft de belastingen is de bijdrage aan de Minersom niet van alle belastingen afzonderlijk bepaald, maar is van een drietal belastingen de bijdrage bepaald. Op grond hiervan kunnen al conclusies worden getrokken.

Berekende belastingen:

Proef	H _s [m]	T [s]	Duur [s]	Duur [uur]	Temperatuur [°C]	E-modulus [MPa]
AS202	1,43	7,14	5400	1,5	8,6	3878
AS602	1,49	8,65	5300	1,47	8,7	3430
Som(AS202, 203, 401, 501 t/m 504, 602, 603)	1,5	8,65	47580	13,2	8,7	3430

Tabel 2: Parameters voor bij de meest relevante proeven

NB 1 De golfperiode T in bovenstaande tabel betreft de piekperiode T_p, terwijl voor golfklap eigenlijk een gemiddelde golfperiode T_m nodig is. Het verschil tussen beide parameters is maximaal 20%. De Minersom is omgekeerd evenredig met de golfperiode, deze bepaalt namelijk de hoeveelheid golven en dus het aantal belastingswisselingen per uur. Aangezien het voor de Minersom slechts om een orde van grootte gaat, wordt er hier geen onderscheid tussen T_p en T_m gemaakt.

NB 2 Voor proef AS202 is de temperatuur iets afwijkend. Daarom is voor die proef de asfaltstijfheid geëxtrapoleerd op basis van de gegevens uit tabel 1. Bij de gemeten temperatuur wordt de asfaltstijfheid aldus: E_a = 3878 MPa.

Voor de waterstand, die in de verschillende proeven met onregelmatige golven varieerde van 4,65 m. tot ca. 5,10 m., is eenvoudig uitgegaan van 5,00 m.

Resultaten en conclusie

Voor de in de vorige paragraaf gedefinieerde situaties zijn de Golfklapberekeningen uitgevoerd. Dit levert de in de tabel 3 vermelde Minersommen

Proef	M (d = 0,25 m)	M (d = 0,15 m)
AS202	0,016 · 10 ⁻³	0,044 · 10 ⁻³
AS602	0,013 · 10 ⁻³	0,032 · 10 ⁻³
Som(AS202, 203, 401, 501 t/m 504, 602, 603)	0,119 · 10 ⁻³	0,296 · 10 ⁻³

Tabel 3: Minersommen voor proeven met onregelmatige golven

Merk op dat de Minersommen zeer laag zijn ten opzichte van de waarde waarbij het asfalt wordt verondersteld te bezwijken: M = 1,0. Dat komt beslist niet doordat de proefbelastingen kort waren in vergelijking met een stormduur. De belastingsduur was 13,2 uur voor de totale proevenserie Som(AS202, 203, 401, 501 t/m 504, 602, 603). Dat is een belastingsduur op één niveau die op een dijk in de praktijk niet wordt gehaald.

Teneinde de gevoeligheid voor verschillende cruciale invoerparameters in kaart te brengen, zijn nog een aantal varianten berekend voor de laatste berekening gegeven in tabel 3 (de dunne bekleding).

Opvallend in deze gevoeligheidsberekeningen is dat de twee verschillende methoden van bepalen van de verwachtingswaarde voor de vermoeiingsparameters, berekening nr. 0 en nr. 1, een veel grotere invloed heeft dan een verandering van 10% in één van de andere invoerparameters. Het rekenen met de 5% ondergrens voor de vermoeiingsparameters in plaats van met de verwachtingswaarden levert een factor 4 grotere Minersom op, vergelijk daartoe berekening 1 en 2.

Volgnr.	Omschrijving	Minersom
0	Referentieberekening	$0,296 \cdot 10^{-3}$
1	Vermoeiing: $a = 3,3$; $\log(k) = 4,3$	$0,524 \cdot 10^{-3}$ (+77%)
2	Vermoeiing: $a = 3,3$; $\log(k) = 3,7$ (5% ondergrens)	$2,09 \cdot 10^{-3}$ (+606%)
3	$d = 0,135$ m (-10%)	$0,327 \cdot 10^{-3}$ (+16%)
4	$c = 90$ MPa/m (-10%)	$0,248 \cdot 10^{-3}$ (+21%)
5	$E_a = 3773$ MPa (+10%)	$0,353 \cdot 10^{-3}$ (+19%)
6	$\nu = 0,315$ (-10%)	$0,282 \cdot 10^{-3}$ (-5%)
7	$H_s = 1,65$ (+10%)	$0,397 \cdot 10^{-3}$ (+34%)
8	$T = 7,785$ (-10%)	$0,329 \cdot 10^{-3}$ (+11%)

Tabel 4: Minersommen bij verschillende invoerparameters

De relatieve veranderingen ten opzichte van de standaardberekening zijn leerzaam, maar niet alleszeggend. Als even wordt afgezien van de spectaculaire invloed van de vermoeiingsparameters, dan blijkt de golfhoogte namelijk de grootste invloed te hebben, maar die parameter is uit de metingen vrij nauwkeurig bekend. De stijfheidseigenschappen (c en E_a) hebben een iets geringere invloed, maar in ieder geval de onzekerheid in de ondergrondstijfheid is veel groter dan die in de golfhoogte. Dus per saldo zal de onzekerheid in de ondergrondstijfheid tot een grotere onzekerheid in de Minersom leiden dan de onzekerheid in de golfhoogte. Voor wat betreft de asfaltstijfheid (E_a): als was uitgegaan van 10 Hz i.p.v. 5 Hz als representatieve belastingsnelheid, dan was de stijfheid 27% groter geweest en dientengevolge de Minersom ca. 50% groter.

Bij het definiëren van de uitgangspunten voor GOLFKLAP zijn bij de schematisatie van de belastingen relatief conservatieve keuzes gemaakt: iedere golf geeft een golfklap en voor de stootfactoren (= de verhouding tussen piekdruk en golfhoogte) is een bovengrensbepaling gehanteerd.

De met GOLFKLAP berekende Minersommen, uitgaande van de verwachtingswaarden voor de vermoeiing, zijn desalniettemin in alle gevallen kleiner dan 10^{-3} . Daarom is het niet merkwaardig dat de bekleding in de Deltagoot niet is bezweken als gevolg van de golfbelasting. Voor de kijkproef met betrekking tot reststerkte is danook terecht de betonzag gehanteerd.

De gevoeligheidsberekeningen tonen aan dat de wijze waarop de vermoeiingskarakteristieken worden bepaald cruciaal is voor de waarde van de Minersom die wordt berekend. Als wordt gewerkt aan verbetering van de methodes voor ontwerp en beoordeling van asfaltbekledingen dient de bepaling van de vermoeiingskarakteristiek in ieder geval de nodige aandacht te krijgen.

Literatuur

- [1] M. van den Bol; Concept - Toetsing Leidraad: Toetsing praktijkmateriaal aan referentiemateriaal. TNO; 12 november 1992.
- [2] A.K. de Looff; Karakteristieke waarden vermoeiingsparameters asfaltbeton. Oranjewoud, 10 juni 1997.
- [3] A. Versluis; Driepuntsbuigproeven aan balken van boorkernen uit de Deltagoot. NPC-91523-2, november 1991. (W-2/NPC/91)
- [4] J.P. de Waal; Gedrag van asfaltbekleding onder golfaanval, relatie tussen belasting en rek. H1702, februari 1993.
- [5] P.A. Ruygrok; Dimensioneren van asfaltbekledingen op golfklappen, analyse van de relatie tussen golfbelasting en rekken. CO-347160/17, juli 1994.
- [6] H. Derks; Gedrag van asfaltbekleding onder golfaanval, verslag modelonderzoek in Deltagoot. H1480, mei 1992.
- [7] TAW; Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, november 2002

Bijlage 1 Trucs om bij kortdurende belastingen en geringe vermoeiing toch bruikbare resultaten uit GOLFKLAP te krijgen.

Minimale belastingsduur is 5 uur

Bij het narekenen van een bijdrage aan een Minersom als gevolg van een vrij kort durende proef loop je tegen een beperking aan die in het programma GOLFKLAP is ingebouwd om onzinnige, foutieve invoer af te vangen. GOLFKLAP is namelijk bedoeld om stormen door te rekenen en een belastingsduur korter dan 5 uur wordt daarom niet geaccepteerd.

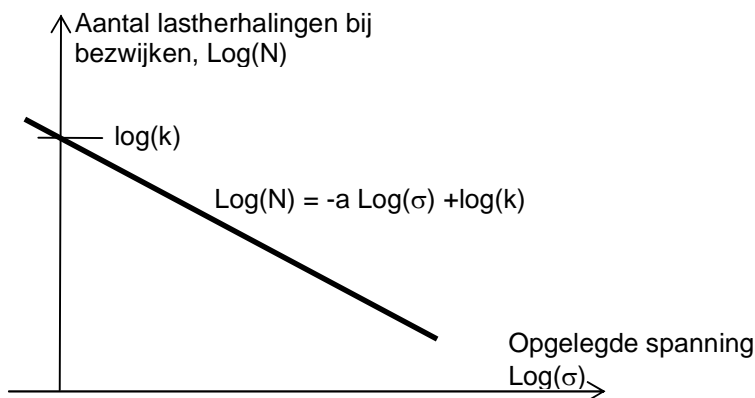
Dit probleem is eenvoudig te omzeilen als wordt bedacht dat bij een stationair golfveld de Minersom evenredig is met de belastingsduur. De proefduur kan met een willekeurige factor worden vermenigvuldigd om binnen de bruikbaarheidsgrenzen van het programma te komen, als vervolgens de berekende Minersom maar weer door diezelfde factor wordt gedeeld.

Bijdrage aan de Minersom < 0,0005.

Als de bijdrage van de proef aan de Minersom kleiner is dan 0,0005, dan toont de uitvoer slechts $M = 0,000$ als antwoord. Dat betekent voor de praktijk uiteraard genoeg: geen significante vermoeiing. Maar voor onderzoeksdoeleinden is het soms toch wenselijk dat de invloed van korteduur proeven met elkaar kunnen worden vergeleken.

Daartoe is het wenselijk om de Minersom een aantal ordes op te krikken. De vorige truc is hiervoor niet goed bruikbaar, omdat de tijdsuur al vrij snel buiten de grenzen die aan een reële storm zijn gesteld, terecht komt. Een numerieke waarde kan worden verkregen door aan de vermoeiingseigenschappen te knutselen.

Zoals in de onderstaande figuur is aangegeven worden de vermoeiingseigenschappen bepaald door de helling a en het intercept met de verticale as $\log(k)$. Door $\log(k)$ met 1 te verminderen, wordt het aantal lastherhalingen wat bij willekeurig welke opgelegde spanning kan worden weerstaan met een factor 10 gereduceerd. De Minersom wordt dan dus een factor 10 groter. Door $\log(k)$ dus met 1, 2 of 3 te verminderen, wordt de Minersom een factor 10, 100 of 1000 groter.



Figuur: principeschets vermoeiingseigenschappen asfalt