

P2DT-R-04034 inu

15 JAN 2007

e0601223-6

Rapportage temperatuur gecorrigeerde stijfheden
van ingegoten basaltzuilen van de glooiing van
de polder de Breede Watering nabij Kattendijke,

Stoermevande polder



011787 2007 PZDT-R-07037 inv

ing / vRapportage temperatuur gecorrigeerde stijfhede

Projectnummer : e0601223-6
Offertenummer en datum : o060654/au/adl d.d. 21 juni 2006
Titel rapport : temperatuur correctie ingegoten basalt te kattendijke
Status rapport : Concept

Naam opdrachtgever : Rijkswaterstaat Zeeland Projectbureau Zeeweringen
Adres : Postbus 1000
Plaats : 4330 ZW MIDDELBURG
Naam contactpersoon : de heer ing. Y.M. Provoost
Datum opdracht : 19 juli 2006
Kenmerk opdracht : ZLDO35060588

Contactpersoon KOAC-NPC : ing. A.K. de Looff
Auteur(s) rapport : ir. D. van der Ven

Rapportage ir. D. van der Ven

Autorisatie ing. A.K. de Looff

Naam:

Naam:

Handtekening:

Handtekening:

Datum: 14 december 2006

Datum: 14 december 2006

Zonder schriftelijke toestemming van KOAC-NPC mag het rapport (of certificaat) niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Opbouw van de bekleding	5
2.1	Boren van kernen uit de bekleding	5
2.2	Bepaling van de laagdikten	5
3	Valgewicht deflectiemetingen	14
3.1	Principe van de VGD-metingen	14
3.2	Uitgevoerde metingen	15
3.2.1	Verloop van de deflecties	15
3.3	Meting van de temperatuur	17
3.4	Terugrekenen van de stijfheden	17
3.4.1	Principe van het terugrekenen	17
3.4.2	Surface modulus	19
4	Interpretatie van de resultaten	22
4.1	Buiging en afschuiving	22
4.2	Berekening laagstijfheden volgens nieuwe methode	22
4.3	Praktisch methode voor temperatuurcorrectie ingegoten basaltbekleding	23
4.4	Stijfheden	24

Figuren

1 Inleiding

In mei 2006 is de ingegoten basaltbekleding van de glooiing van de polder de Breede Watering nabij Kattendijke gekarakteriseerd aan de hand van valgewichtdeflectiemetingen (VGD-metingen). Het idee hierachter is dat de stijfheid van de bekleding een goede parameter is om een inzicht te krijgen in de sterkte van de bekleding. Deze stijfheid van de bekleding is bepaald aan de hand van de gemeten deflectie en de bekende laagdikte van de bekleding en onderlagen. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in rapport e0600852.

In deze rapportage (e0600852) is de berekende stijfheid van de bekleding gegeven bij de heersende meettemperatuur. Aangezien de stijfheid van de ingegoten bekleding afhankelijk is van temperatuur is besloten alle stijfheden in het vervolg te corrigeren naar een temperatuur van 5°C. De keuze voor 5°C is gemaakt omdat deze gesteld is als heersende temperatuur tijdens de maatgevende storm. De methode voor de temperatuurcorrectie is opgesteld aan de hand van metingen bij verschillende temperaturen op een ingegoten basaltbekleding op de oude havendam nabij Kruiningen. De rapportage van de onderzoeken en de achterliggende denkbeelden voor de opgestelde methodiek zijn opgenomen in rapport e0601223.

In deze rapportage zal op basis van de voor project 0600852 uitgevoerde VGD-metingen en de nieuwe methodiek zoals aangegeven in rapport e0601223 de stijfheid van de ingegoten basalt opnieuw berekend worden en een correctie van de stijfheden plaatsvinden naar een temperatuur van 5°C.

De onderzochte vakken (2 meetraaien) bevinden zich op de glooiing van de Polder de Breede Watering tussen Kattendijke en Wemeldinge (zie bijlage 1 en 2).

2 Opbouw van de bekleding

Voor de opbouw van de bekleding zijn dezelfde gegevens aangehouden als in rapport e0600852. Voor de volledigheid worden deze gegevens nogmaals weergegeven.

2.1 Boren van kernen uit de bekleding

Voor de bepaling van de laagdikte van de basaltzuilen en de indringing van de asfaltmastiek zijn 15 kernen (\varnothing 150 mm) geboord. Er zijn 10 kernen geboord uit meetraai 1 en 5 uit meetraai 2. Deze 15 kernen zijn zo goed mogelijk geboord op naden tussen de basaltzuilen. Dit om er zeker van het zijn dat de penetratie van het asfaltmastiek bepaald kan worden. Voor meetraai 1 zijn er twee kernen en voor meetraai 2 is één kern in de getijzone geboord. De boorlocaties zijn vooraf uitgezet op de locaties zoals aangegeven op de tekeningen in bijlage 2.

2.2 Bepaling van de laagdikten

In onderstaande tabel zijn de laagdikten van de 15 geboorde kernen opgenomen. De laagdikte is op 4 plaatsen met behulp van een liniaal opgemeten.

Tabel 2.2.1: Laagdikten basaltzuilen meetraal 1 (nabij parkeerplaats)

Kern	K1		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	300	19	281
meting 2	240	11	229
meting 3	120	13	107
meting 4	200	16	184
gem.	215	15	200

Kern	K2		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	335	24	311
meting 2	310	31	279
meting 3	320	6	314
meting 4	325	0	325
gem.	323	15	307

Kern	K3		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	280	11	269
meting 2	275	2	273
meting 3	270	14	256
meting 4	230	8	222
gem.	264	9	255

Kern	K4		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	334	7	327
meting 2	260	28	232
meting 3	265	2	263
meting 4	330	13	317
gem.	297	13	285

Kern	K5		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	330	13	317
meting 2	250	15	235
meting 3	170	25	145
meting 4	340	14	326
gem.	273	17	256

Kern	K6		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	90	15	75
meting 2	100	22	78
meting 3	170	10	160
meting 4	185	18	167
gem.	136	16	120

Kern	K7		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	130	35	95
meting 2	155	20	135
meting 3	170	13	157
meting 4	150	18	132
gem.	151	22	130

Kern	K8		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	215	12	203
meting 2	210	25	185
meting 3	220	23	197
meting 4	210	13	197
gem.	214	18	196

Kern	K9 (getijzone)		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	201	21	180
meting 2	194	19	175
meting 3	240	9	231
meting 4	210	9	201
gem.	211	15	197

Kern	K10 (getijzone)		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	325	15	310
meting 2	333	13	320
meting 3	347	17	330
meting 4	325	15	310
gem.	333	15	318

* Basalt gedeeltelijk afgebroken. De opgegeven laagdikte is niet de werkelijke hoogte.

Tabel 2.2.2: Laagdikten basaltzuilen meetraai 2 (nabij gemaal)

Kern	K11		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	290	4	286
meting 2	285	8	277
meting 3			
meting 4	270	8	262
gem.	282	7	275

Kern	K12		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	310	11	299
meting 2	320	10	310
meting 3	315	6	309
meting 4	300	9	291
gem.	311	9	302

Kern	K13		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	340	15	325
meting 2	310	20	290
meting 3	242	22	220
meting 4	345	15	330
gem.	309	18	291

Kern	K14		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	340	10	330
meting 2	355	10	345
meting 3	350	8	342
meting 4	350	8	342
gem.	349	9	340

Kern	K15 (getijzone)		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	283	49	234
meting 2	330	35	295
meting 3	328	15	313
meting 4	320	40	280
gem.	315	35	281

In tabel 2.2.3 en 2.2.4 zijn de penetratie van het asfaltmastiek opgenomen.

Tabel 2.2.3: Penetratie van het asfaltmastiek meetraai 1

Kern	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
meting 1	80		73	224	85	50	45	90	35	95
meting 2	95		70	226	75	85	95	90	60	75
meting 3	115				70	80			55	
gem.	97	Geheel	72	225	77	72	70	90	50	85

Tabel 2.2.4: Penetratie van het asfaltmastiek meetraai 2

Kern	K11	K12	K13	K14	K15
meting 1		300	35	55	53
meting 2		100	20	40	115
meting 3		55			145
gem.	Geheel	152	28	48	104

In tabel 2.2.5 en 2.2.6 is de penetratie uitgedrukt als percentage van de

Tabel 2.2.5: Penetratie uitgedrukt als percentage van de kernlengte van meetraai 1

Kern	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Gem. penetratie (mm)	97	geheel	72	225	77	72	70	90	50	85
Gem. laagdikte (mm)	215	323	264	297	273	136	151	214	211	333
Ingieting (klein Breteler)	0,45D	1D	0,27D	0,76D	0,28D	0,53D	0,46D	0,47D	0,24D	0,28D

In tabel 2.2.6: Penetratie uitgedrukt als percentage van de kernlengte van meetraai 2

Kern	K11	K12	K13	K14	K15
Gem. penetratie (mm)	geheel	152	28	48	104
Gem. laagdikte (mm)	282	311	309	349	315
Ingieting (klein Breteler)	1D	0,49D	0,09D	0,14D	0,33D

Conform de concept toetsmethode van Klein Breteler worden bekledingen als volgt beoordeeld:
 Tenminste 40 a 60% ingieting en bovendien tenminste 100 mm diep tussen de zuilen → goed
 20 a 30% ingieting → oppervlakkig ingegoten.

Meetraai 1:

Met de wetenschap dat de laagdikte niet de gehele basalthoogte is, wordt deze meetraai wordt geclassificeerd als goed ingegoten. Dit is gebeurd op basis van de gemiddelden voor de toetsingswaarde en de penetratiediepte.

Meetraai 2:

Deze meetraai wordt gemiddeld geclassificeerd als goed ingegoten. Dit is gebeurd op basis van de gemiddelden voor de toetsingswaarde en de penetratiediepte.

In de onderstaande figuren zijn foto's van de geboorde kernen opgenomen.

Meetraal 1



Figuur 2.1: Locatie K1



Figuur 2.2: Locatie K2



Figuur 2.3: Locatie K3



Figuur 2.4: Locatie K4



Figuur 2.5: Locatie K5



Figuur 2.6: Locatie K6



Figuur 2.7: Locatie K7



Figuur 2.8: Locatie K8



Figuur 2.9: Locatie K9



Figuur 2.10: Locatie K10

De gemiddelde laagdikte, uitgaande van gehele zuilen, bedraagt 306 mm.
De hechting van diverse zuilen laat te wensen over.
In de naden zijn op enkele locaties zeer veel zand en schelpen aanwezig.

Meetraai 2:



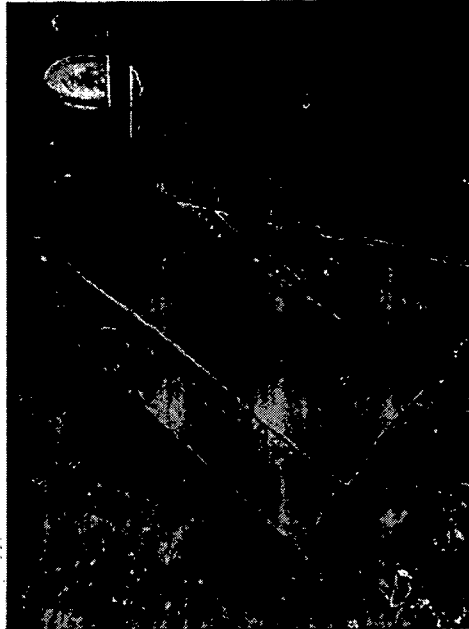
Figuur 2.11: Locatie K11



Figuur 2.12: Locatie K12



Figuur 2.13: Locatie K13



Figuur 2.14: Locatie K14



Figuur 2.15: Locatie K15

De gemiddelde laagdikte bedraagt 313 mm.

De hechting van diverse zuilen laat te wensen over.

Van de kernen 13 en 14 heeft de asfaltmastiek geheel losgelaten van de kernen.

3 Valgewicht deflectiemetingen

Voor de VGD-metingen geldt hetzelfde als voor de laagdikte, er is hier gebruik gemaakt van de gegevens zoals die verkregen zijn voor project 0600852. Wederom is voor de volledigheid in dit hoofdstuk het principe van VGD-metingen en de omvang van de uitgevoerde metingen weergegeven zoals in rapport e0600852. De enige aanpassing die gemaakt is in de VGD-metingen is de bepaling van het lokale maximum voor de centrumgeefoon wanneer deze aan het einde het signaal een uitschieter vertoont.

3.1 Principe van de VGD-metingen

Bij VGD-metingen wordt op bepaalde afstanden van het valgewicht de snelheid gemeten met snelheidsopnemers (gefoons). De snelheid wordt rekenkundig geïntegreerd van snelheid naar verplaatsing. Met deze verplaatsingen en de afstanden tot het valgewicht waarop de verplaatsingen zijn gemeten is de vorm van de deflectiekromme bekend. De vervormingen in de deflectiekrommen zeggen indirect iets over de stijfheid van de bekleding en de ondergrond. De stijfheid of elasticiteitsmodulus is gelijk aan de verhouding tussen de opgelegde kracht en de vervorming. De deflectiekromme kan met behulp van dit principe worden teruggerekend naar een stijfheid voor die locatie. Voor het terugrekenen van stijfheden is gebruik gemaakt van het computerprogramma ELMOD5. Vereiste is wel dat de laagdikte bekend is, in dit geval uit de kernafmetingen.

In figuur 3.1 is een foto opgenomen van het valgewicht.



Figuur 3.1: valgewicht-deflectiemetingen

3.2 Uitgevoerde metingen

Voor de bepaling van de deflectie is h.o.h. iedere 2 m een meting uitgevoerd. Per meetlocatie worden 3 metingen verricht. Veelal vertoont de eerste meting een onregelmatig beeld omdat het apparaat zich nog moet zetten. De berekeningen worden uitgevoerd met de resultaten van de derde meting, de tweede meting wordt als controle gebruikt. In gevallen waarbij de derde meting een onregelmatig beeld geeft en de eerste of de tweede meting niet, zijn de resultaten van de een van deze metingen gebruikt om de stijfheden terug te rekenen. Bij elke klap wordt een kracht (force) van ca. 50 kN op de bekleding uitgeoefend.

De onderzochte bekledingen hebben een totale lengte van 763 m. De metingen zijn verdeeld over twee meetraaien. Zie de tekeningen van bijlage 2 voor de raaien.

Meetraai 1:

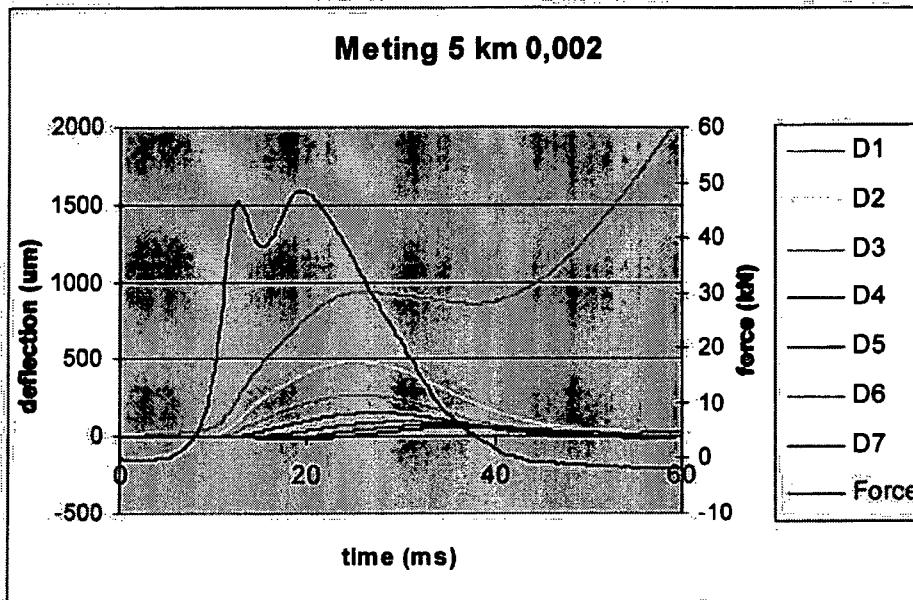
Deze bestaat uit het talud welke zich bevindt nabij de oude parkeerplaats aan de zeezijde van het talud. Deze meetraai is 543 m lang.

Meetraai 2:

Deze bestaat uit het talud welke zich bevindt nabij het gemaal. Deze meetraai is 220 m lang.

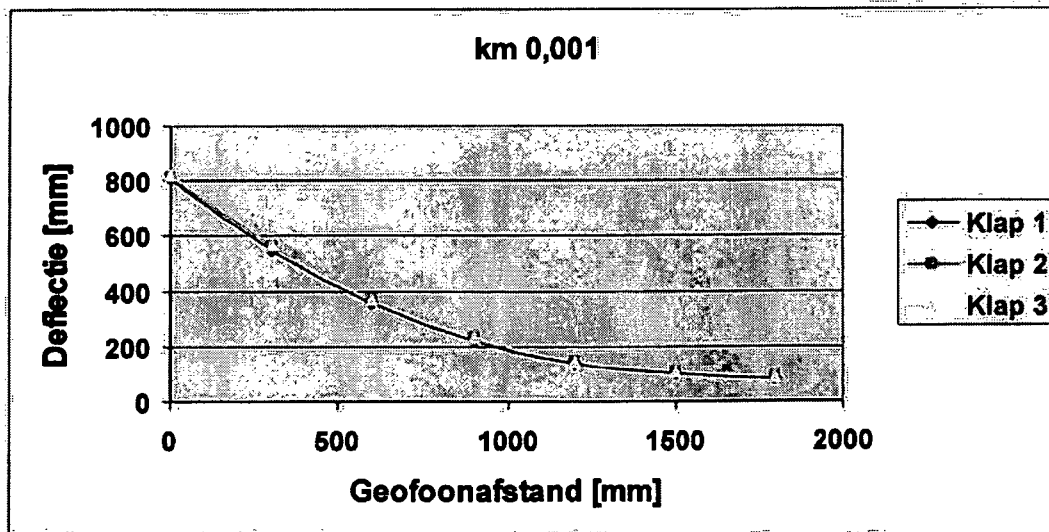
3.2.1 *Verloop van de deflecties*

Wanneer het verloop van de deflectie in de tijd wordt bekeken valt op dat bij verscheidene meetpunten de centrumdeflectie eerst een lokaal maximum bereikt (tussen de 20 en 35 ms) en daarna wegloopt. De eerste piek valt samen met de pieken van de andere geofoons en treedt op ten gevolge van de aangebrachte kracht. Waarschijnlijk door de scheefstand van het apparaat in combinatie met het onregelmatige oppervlak vindt daarna een verstoring plaats in de meting van de centrumdeflectie. Deze opslingering aan het einde van het signaal wordt dan ook buiten beschouwing gelaten bij de interpretatie van de metingen. Deze verstoring bij de centrumdeflectie treedt niet bij alle metingen op. De precieze oorzaak van deze opslingers is nog niet bekend en er zal dan ook naar gekeken moeten worden hoe dit in de toekomst voorkomen kan worden.



Figuur 3.2: Grafische weergave van de deflectiegolven.

In figuur 3.3 zijn de maximale deflecties (toppen van de curven, zie figuur 3.2) van een meting uitgezet. Deze maximale deflecties zijn gebruikt bij de bepaling van de deflectiekrommen. Indien de centrumdeflectie een opslinger vertoont is voor het berekenen van de stijfheden het lokale maximum (rond de 30 ms) aangehouden.



Figuur 3.3: Deflectiekromme meting 3 km 0,001.

In bijlage 3 is een overzicht gegeven van alle gemeten deflectieprofielen.

3.3 Meting van de temperatuur

Tijdens de metingen is op verschillende tijdstippen de temperatuur gemeten. Dit is voor de oppervlaktetemperatuur op elke meetlocatie gebeurd. Op diverse tijdstippen is ook de temperatuur in boorgaten (12 cm diep) gemeten, zou ter vaststelling van temperatuur van het asfaltmestiek. Deze in tabel 3.1 zijn de gemiddelde per meetraai opgenomen. De gemeten temperaturen zijn opgenomen in de tabellen van bijlage 4.

In tabel 3.1 zijn de gemeten temperaturen opgenomen.

	Gemiddelde oppervlaktetemperatuur (°C)	Gemiddelde temperatuur van het asfaltmestiek (°C)
Meetraai 1	25,8	19,5
Meetraai 2	33,1	25,9

Het bepalen van de temperatuur is van belang omdat deze de stijfheid sterk beïnvloedt. Bij lage temperaturen zal de asfaltmestiek een hogere stijfheid hebben. De bekleding reageert dan meer als een plaat. Bij hogere temperaturen, zoals bij deze metingen, zal het asfaltmestiek een viskeuzer gedrag vertonen. Er zullen dan meer locaties met "afschuiving" teruggevonden worden.

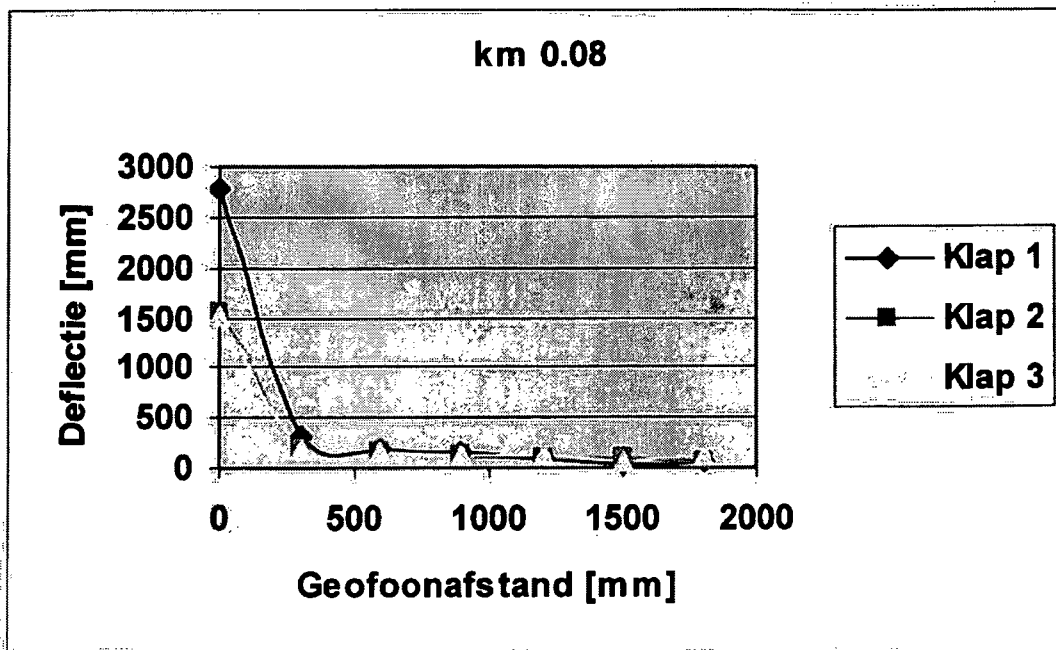
Indien de elasticiteitsmodulus als criterium wordt gebruikt in de veiligheidsbeoordeling, moet de gemeten stijfheid worden genormeerd naar 1 temperatuur, bijvoorbeeld 5 graden Celsius. Om de stijfheid te kunnen corrigeren voor de temperatuur moet de relatie tussen temperatuur en stijfheid worden bepaald. Om deze reden zijn de gemeten stijfheden niet voor de temperatuur gecorrigeerd.

3.4 Terugrekenen van de stijfheden

3.4.1 Principe van het terugrekenen

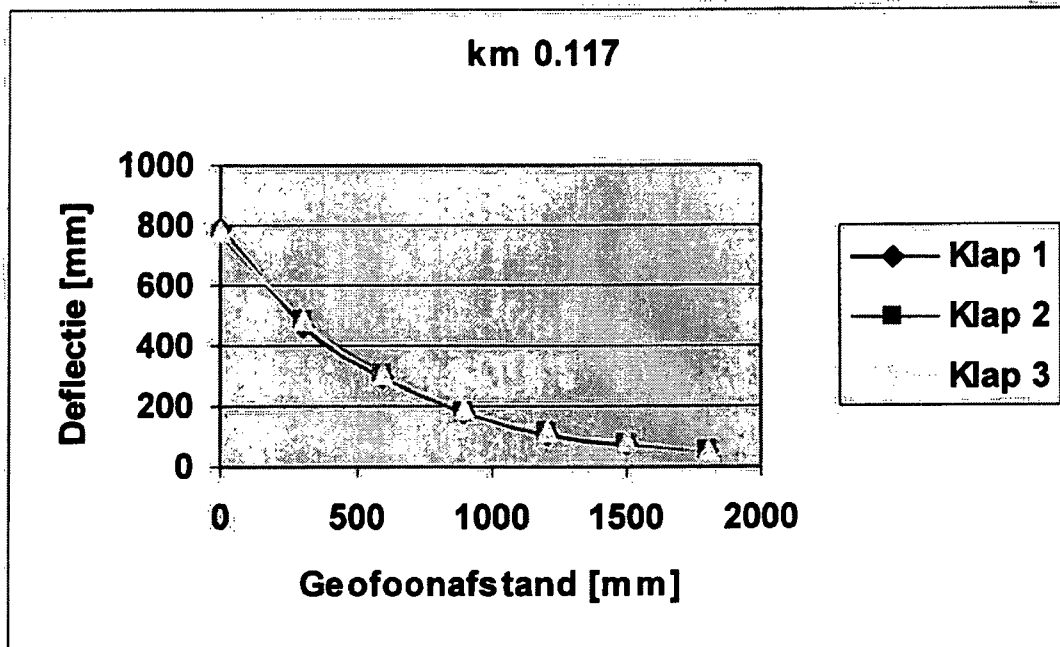
Voor de evaluatie van de metingen zijn ten eerste de ruwe meetdata van de deflectiemetingen bekeken. Meetdata met meetfouten zijn verwijderd. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door geofoons die geen of slecht contact hebben met de bekleding. De deflecties van de bekleding zijn uitgezet tegen de afstand van de geofoons tot het lastcentrum. Hierbij zijn duidelijk twee vormen waar te nemen.

Ten eerste zijn er meetpunten die een zeer grote centrumdeflectie (afschuiving) hebben waarna de deflectie van de volgende geofoons direct sterk teruglopen (zie meting in figuur 3.4).



Figuur 3.4: Deflectiekromme waarbij afschuiving in een voeg optreedt

Ten tweede zijn er meetpunten waarbij de deflecties geleidelijker teruglopen (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5: Deflectiekromme indien "buiging" dominant is

Dit verschil wordt veroorzaakt door het verschil in samenhang van de bekleding. Uit de figuren 3.4 en 3.5 wordt direct een goed inzicht gekregen in de samenhang van de bekleding. Indien

sprake is van plaatwerking tussen de elementen zal de teruggerekende stijfheid van de bovenlaag (van ingegoten basalt) een goede indicatie geven van de mate van samenhang. Algemeen kan er vanuit gegaan worden dat naarmate de stijfheid van de ingegoten basaltbekleding hoger is, de onderlinge samenhang van de zuilen beter is, en de bekleding minder gevoelig is voor verlies van zuilen t.g.v overdruk onder de bekleding.

Het terugrekenen van de stijfheid van de lagen gebeurt op basis van het concept van Boussinesq. Het bepalen van de stijfheid is een iteratief proces. Voor de lagen wordt een aanvangswaarde ingevoerd waarna het programma stijfheden berekend totdat het verschil tussen het gemeten en berekende deflectieprofiel binnen acceptabele grenzen ligt.

3.4.2 Surface modulus

Een belangrijk begrip, dat ter ondersteuning van de stijfheidberekeningen wordt gehanteerd, is de surface modulus. De surface moduli geven een indicatie over het stijfheidsverloop in de verhardingsconstructie en worden met behulp van de formules van Boussinesq berekend uit de gemeten deflecties. Uit een gemeten deflectie op een bepaalde afstand kan een E-waarde voor zo'n model berekend worden die op dezelfde afstand, dezelfde deflectie zou geven. Deze E-waarde wordt surface modulus genoemd.

De surface modulus geeft een indruk van het stijfheidsverloop in de ondergrond en verharding en maakt het mogelijk om het voorkomen van stijvere of juist minder stijve lagen te herkennen.

Voor de berekening van de surface moduli wordt gebruik gemaakt van de formules van Boussinesq:

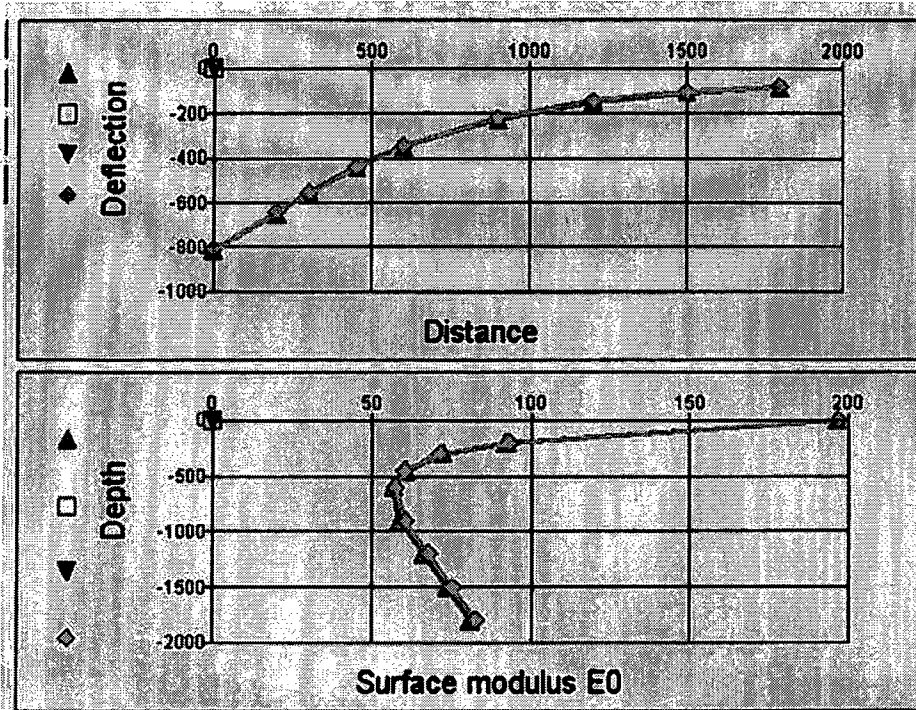
$$E_0(r) = \frac{(1-\nu^2)\sigma_0 a^2}{r \cdot \delta(r)}$$

waarin:

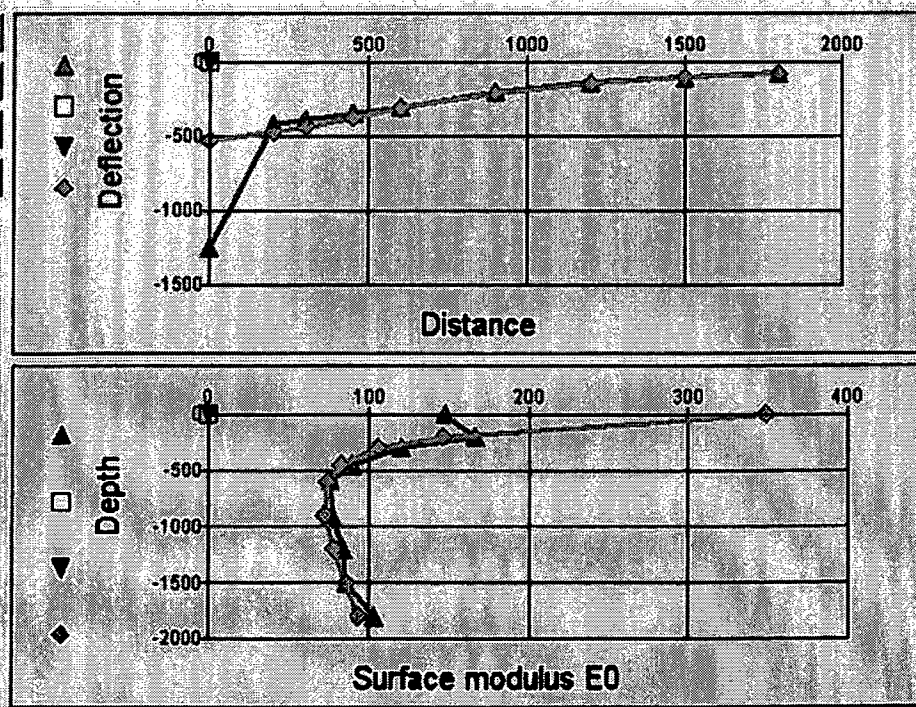
$E_0(r)$	= surface modulus equivalente diepte r [MPa];
ν	= Poissonfactor [-];
σ_0	= belasting onder de plaat [N/mm ²];
a	= straal van de plaat [mm];
r	= afstand gefoon tot het plaatmidden [mm];
$\delta(r)$	= deflectie op afstand r van het plaatmidden [μ m].

De formules beschrijven de relatie tussen de deflectie en de elasticiteitsmodulus van een oneindige 'halfruimte'.

In de figuren 3.6 en 3.7 zijn 2 voorbeelden gegeven van een deflectieprofiel en het verloop van de surface modulus. De gemeten waarden zijn in het rood aangegeven, de berekende waarden in het groen.



Figuur 3.6: deflectieprofiel en surface modulus, gemeten (rood) en berekend (groen)



Figuur 3.7: deflectieprofiel en surface modulus, gemeten (rood) en berekend (groen)

Om tot een beter resultaat te komen is een tussenlaag ingevoerd met een dikte van 200 mm. In figuur 3.6 geeft het berekende deflectieprofiel een goede benadering van het gemeten deflectieprofiel. Zoals te zien is in figuur 3.7 wordt het gemeten deflectieprofiel niet goed benaderd indien er sprake is van afschuiving in de voegen. Het toch berekenen van de elasticiteitsmoduli resulteert in dit geval in een lage waarde. Hoewel dit geen betrouwbare waarde is voor de buigstijfheid van de toplaag, kan er op deze manier wel eenvoudig onderscheid worden gemaakt tussen metingen waarbij afschuiving is opgetreden (elasticiteitsmodulus < 500 MPa) en metingen waarbij de bekleding volledig als buiglijger fungeert (indicatie: elasticiteitsmodulus > 4.000 MPa). Daarnaast is er een gebied te onderscheiden waarin zowel afschuiving in de voegen als buiging optreden.

Zie bijlage 4 voor alle teruggerekende stijfheden.

4 Interpretatie van de resultaten

4.1 Buiging en afschuiving

Voor de interpretatie van de resultaten is onderscheid gemaakt tussen:

- Onbruikbare metingen;
- Metingen waarbij (volledige) afschuiving is opgetreden;
- Metingen waarbij de bekleding als buiglijger heeft gefungeerd.

In de tabellen 4.1 t/m 4.2 is aangegeven om welke aantallen het gaat. In tabel 4.3 zijn de gegevens voor alle metingen samengevat.

Tabel 4.1: Gegevens meetraai 1

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	270	
Aantal gebruikte metingen	251	93,0 %
Aantal metingen met afschuiving t.o.v. gebruikte metingen	248	98,8 %

Tabel 4.2: Gegevens meetraai 2

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	104	
Aantal gebruikte metingen	99	95,2 %
Aantal metingen met afschuiving t.o.v. gebruikte metingen	93	93,9 %

Tabel 4.3: Totale gegevens

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	374	
Aantal gebruikte metingen	350	93,6 %
Aantal metingen met afschuiving t.o.v. gebruikte metingen	341	91,2 %

Het volgende valt op:

- 93,6 % van de metingen levert bruikbare data op. Dit is een hoog percentage.
- Bij 91,2 % van de metingen treedt afschuiving op in de voegen bij de opgelegde belasting. Dit zijn locaties die tijdens een storm naar verwachting eerder zullen bezwijken dan locaties waar de bekleding als buiglijger fungeert. Dit percentage is zeer fors.

4.2 Berekening laagstijfheden volgens nieuwe methode

Na een nadere analyse van de beschikbare data is de volgende methode voor de berekening en beoordeling van de laagstijfheden opgesteld:

1. data analyse van de VGD-metingen en verwijderen van de foutmetingen;
2. bepalen van het percentage bruikbare metingen;
3. terugrekenen van de individuele laagstijfheden per locatie;

- a. bij stijfheden van kleiner dan 50 MPa voor de filterlaag worden de berekeningen opnieuw gemaakt met de volgende uitgangspunten:
 - i. stijfheid ingegoten basaltlaag is zonder beperkingen;
 - ii. stijfheid van de filterlaag ligt tussen de 100 en 250 MPa;
 - iii. stijfheid van de ondergrond ligt tussen de 10 en 100 MPa.
4. opsplitsen van de stijfheden per locatie naar:
 - a. locaties waar de bekleding reageert als een buiglijger ($E_1 > E_2$)
 - b. locaties waar de bekleding centrumdeflectie vertoont ($E_1 < E_2$)
5. bepalen van het percentage metingen met centrumdeflecties;
6. bepalen van de gemiddeld gemeten stijfheid van alleen de punten waar de bekleding reageert als buiglijger ($E_1 > E_2$).

Hiermee zijn de twee parameters bepaald die inzicht geven in de kwaliteit van de ingieting en daarmee de kwaliteit en sterkte van de bekleding. Ten eerste geeft het percentage locaties met centrumdeflectie aan welk deel van de bekleding zich niet gedraagt als buiglijger. Op deze locatie werkt de mastiek niet samen met de basaltzuilen en heeft dus lokaal geen versterking van de bekleding plaatsgevonden door ingieting. Ten tweede wordt de gemiddelde stijfheid van de bekleding bepaald voor alle locaties waar de bekleding zich wel gedraagt als buiglijger. Hier werkt de mastiek wel samen met de basaltzuilen en levert dus een versterking ten opzichte van een niet ingegoten bekleding. De gemiddeld teruggerekende stijfheid van deze locaties zal afhankelijk zijn van de hoogte van de basaltzuilen, de diepte van de ingieting en de hechting tussen de mastiek en de zuil. Een hogere stijfheid zal samen gaan met een goede (diepe) ingieting en goede hechting tussen mastiek en basaltzuil.

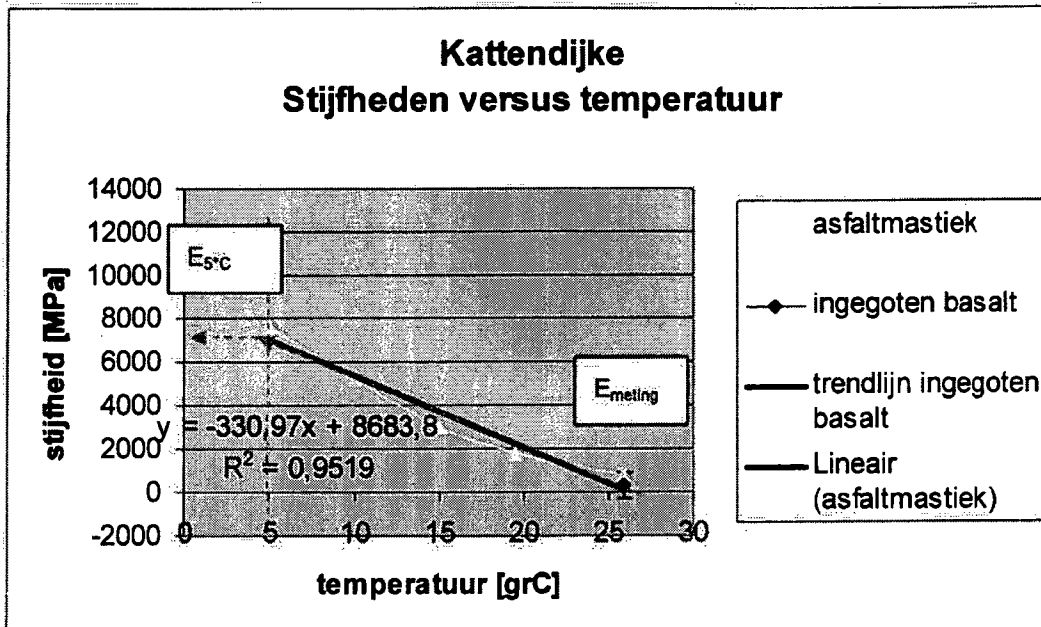
Op deze locaties (gedrag als buiglijger) zal de laagstijfheid van de bekleding als geheel (basaltzuilen en mastiek) afhankelijk zijn van de temperatuur. Des te hoger de temperatuur des te lager de teruggerekende stijfheid (bij zelfde ingieting en effectiviteit van de hechting basalt en mastiek). Deze locaties komen dus in aanmerking voor een correctie van de stijfheid naar temperatuur waarmee metingen bij verschillende temperaturen met elkaar vergeleken kunnen worden.

4.3 Praktisch methode voor temperatuurcorrectie ingegoten basaltbekleding

De methode voor de temperatuurcorrectie wordt nu als volgt:

1. Bepalen van de gemiddelde stijfheden van de ingegoten bekleding (zoals aangegeven in paragraaf 4.2).
2. Bepalen van de mengseleigenschappen van de bitumen, te weten:
 - a. Verwekingspunt ring en kogel;
 - b. Penetratie bij 25°C.
 - c. Bepalen van de stijfheid van de bitumen bij 5, 10, 15, 20 en 25°C met de nomogrammen van Van der Poel.
3. Bepalen van de samenstelling van de mastiek:
 - a. Percentage [v/v] bitumen;
 - b. Percentage [v/v] aggregaat.
 - c. Bepaling van de stijfheid van de Mastiek bij 5, 10, 15, 20 en 25°C met de nomogrammen van Bonnaure.

4. Bepalen van de (richtingscoëfficiënt van de) trendlijn (lineair) van het verloop van de mastiekstijfheid versus de temperatuur.
5. Correctie van de gemiddeld gemeten stijfheid bij de meettemperatuur naar een verwachte stijfheid van de ingegoten basaltbekleding bij 5°C. (vb. zie figuur 4.5)



Figuur 4.5: correctie gemeten stijfheid naar temperatuur van 5°C

4.4 Stijfheden

In de onderstaande grafieken is een overzicht gemaakt van de meetlocaties. Deze zijn uitgezet als functie van de ligging (km) tegen de stijfheid. Hierbij is de stijfheid in 4 klassen ingedeeld. In bijlage 2 is de gecorrigeerde stijfheid van alle meetpunten tegen de metrering uitgezet.

Katendijk vak 1

Meetraai 1

- 0,000
- 0,002
- 0,004
- 0,006
- 0,008
- 0,010
- 0,012
- 0,014
- 0,018
- 0,020
- 0,024
- 0,026
- 0,028
- 0,034
- 0,038
- 0,038
- 0,039
- 0,042
- 0,044
- 0,046
- 0,048
- 0,052
- 0,053
- 0,054
- 0,056
- 0,059
- 0,060
- 0,063
- 0,064
- 0,068
- 0,068
- 0,072
- 0,074
- 0,076
- 0,078
- 0,078
- 0,080
- 0,082
- 0,084
- 0,088
- 0,088
- 0,092
- 0,094
- 0,097
- 0,098
- 0,100

Legenda:

- E < 500 MPa
- 500 ≤ E < 5000 MPa
- 5000 ≤ E < 10000 MPa
- E ≥ 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingelijng (mm) (mm)
B1	
B2	

Katendijk vak 1

Meetraai 1

- 0,102
- 0,104
- 0,108
- 0,108
- 0,110
- 0,112
- 0,114
- 0,116
- 0,118
- 0,122
- 0,124
- 0,127
- 0,128
- 0,130
- 0,132
- 0,134
- 0,137
- 0,138
- 0,140
- 0,142
- 0,144
- 0,146
- 0,148
- 0,150
- 0,153
- 0,154
- 0,156
- 0,158
- 0,160
- 0,162
- 0,164
- 0,166
- 0,169
- 0,172
- 0,174
- 0,176
- 0,178
- 0,181
- 0,182
- 0,184
- 0,186
- 0,190
- 0,191
- 0,192
- 0,194
- 0,197
- 0,198
- 0,200

Legenda:

- E < 500 MPa
- 500 ≤ E < 5000 MPa
- 5000 ≤ E < 10000 MPa
- E ≥ 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingelijng (mm) (mm)
B1	
B2	

Kattendijke vak 1

Meetraai 1

- 0,202
- 0,204
- 0,208
- 0,211
- 0,212
- 0,214
- 0,216
- 0,220
- 0,223
- 0,224
- 0,226
- 0,228
- 0,232
- 0,234
- 0,236
- 0,238
- 0,242
- 0,244
- 0,247
- 0,248
- 0,250
- 0,252
- 0,254
- 0,256
- 0,258
- 0,262
- 0,263
- 0,264
- 0,266
- 0,268
- 0,270
- 0,272
- 0,274
- 0,278
- 0,280
- 0,284
- 0,286
- 0,289
- 0,290
- 0,292
- 0,294
- 0,296
- 0,298
- 0,300

Legenda

- E < 500 MPa
- 500 ≤ E < 5000 MPa
- 5000 ≤ E < 10000 MPa
- E ≥ 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkern	
Code	lengte : Ingelijng [mm] [mm]
B1	
B2	

Kattendijke vak 1

Meetraai 1

- 0,302
- 0,304
- 0,306
- 0,308
- 0,311
- 0,312
- 0,314
- 0,316
- 0,319
- 0,320
- 0,322
- 0,326
- 0,327
- 0,328
- 0,330
- 0,332
- 0,334
- 0,337
- 0,338
- 0,340
- 0,342
- 0,345
- 0,346
- 0,348
- 0,350
- 0,352
- 0,354
- 0,356
- 0,360
- 0,361
- 0,364
- 0,366
- 0,368
- 0,370
- 0,373
- 0,375
- 0,376
- 0,378
- 0,380
- 0,382
- 0,384
- 0,387
- 0,388
- 0,392
- 0,393
- 0,394
- 0,396
- 0,398

Legenda

- E < 500 MPa
- 500 ≤ E < 5000 MPa
- 5000 ≤ E < 10000 MPa
- E ≥ 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkern	
Code	lengte : Ingelijng [mm] [mm]
B1	
B2	

Kattendijke vak 1

Meetraai 1

- 0,401
- 0,402
- 0,404
- 0,408
- 0,409
- 0,410
- 0,414
- 0,415
- 0,416
- 0,418
- 0,422
- 0,424
- 0,426
- 0,428
- 0,431
- 0,432
- 0,434
- 0,436
- 0,438
- 0,440
- 0,443
- 0,445
- 0,448
- 0,451
- 0,453
- 0,454
- 0,456
- 0,458
- 0,460
- 0,462
- 0,464
- 0,466
- 0,468
- 0,470
- 0,472
- 0,474
- 0,476
- 0,480
- 0,482
- 0,484
- 0,486
- 0,488
- 0,491
- 0,494
- 0,495
- 0,499

Legenda:

- E < 500 MPa
- 500 ≤ E < 5000 MPa
- 5000 ≤ E < 10000 MPa
- E ≥ 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingieting [mm] : [mm]
B1	
B2	

Kattendijke vak 1

Meetraai 1

- 0,501
- 0,502
- 0,503
- 0,505
- 0,508
- 0,510
- 0,512
- 0,515
- 0,516
- 0,518
- 0,518
- 0,520
- 0,522
- 0,524
- 0,526
- 0,528
- 0,530
- 0,534
- 0,536
- 0,538
- 0,540

Legenda:

- E < 500 MPa
- 500 ≤ E < 5000 MPa
- 5000 ≤ E < 10000 MPa
- E ≥ 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingieting [mm] : [mm]
B1	
B2	

Kattendijke vak 2

Meetraal 2

0,000
0,002
0,006
0,008
0,010
0,012
0,016
0,018
0,020
0,024
0,026
0,028
0,032
0,033
0,036
0,039
0,042
0,044
0,048
0,051
0,051
0,052
0,055
0,058
0,060
0,062
0,064
0,068
0,070
0,072
0,074
0,076
0,078
0,080
0,082
0,084
0,086
0,088
0,090
0,092
0,094
0,096
0,098
0,100

Legenda

E < 500 MPa
500 ≤ E < 5000 MPa
5000 ≤ E < 10000 MPa
E ≥ 10000 MPa
Geen data beschikbaar

Gegevens boeknamen	
Code	lengte : ingeving [mm] : [mm]
B1	
B2	

Kattendijke vak 2

Meetraal 1

0,102
0,104
0,108
0,108
0,110
0,112
0,115
0,118
0,121
0,122
0,124
0,126
0,128
0,130
0,132
0,134
0,136
0,138
0,140
0,142
0,144
0,146
0,148
0,150
0,152
0,154
0,156
0,158
0,160
0,162
0,164
0,166
0,168
0,170
0,172
0,174
0,176
0,178
0,180
0,182
0,184
0,186
0,188
0,190
0,192
0,194
0,196
0,198
0,200

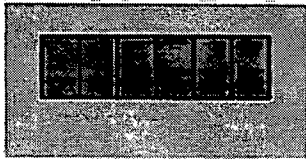
Legenda

E < 500 MPa
500 ≤ E < 5000 MPa
5000 ≤ E < 10000 MPa
E ≥ 10000 MPa
Geen data beschikbaar

Gegevens boeknamen	
Code	lengte : ingeving [mm] : [mm]
B1	
B2	






Kattendijke vak 2

Meetraai 2



0,202
0,204
0,206
0,208
0,210
0,212

Legenda

-  E < 500 MPa
-  500 ≤ E < 5000 MPa
-  5000 ≤ E < 10000 MPa
-  E ≥ 10000 MPa
-  Geen data beschikbaar

Bijlage 2

Temperatuur gecorrigeerde stijfheden per meetpunt

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0	98
0,002	4696
0,004	214
0,006	169
0,008	143
0,01	118
0,012	278
0,014	4794
0,018	101
0,02	286
0,024	138
0,026	123
0,028	161
0,034	112
0,036	99
0,038	176
0,039	135
0,042	167
0,044	4361
0,046	177
0,048	123
0,052	4471
0,053	86
0,054	4361
0,056	151
0,059	4544
0,06	120
0,063	4518
0,064	4363
0,066	4557
0,068	4492
0,072	4412
0,074	223
0,076	139
0,078	4592
0,08	151
0,082	187
0,084	4603
0,086	4361
0,088	154
0,092	10551
0,094	152
0,097	147
0,098	177
0,1	188

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0,102	120
0,104	180
0,106	4361
0,108	144
0,11	173
0,112	169
0,114	168
0,116	142
0,118	4892
0,122	164
0,124	178
0,127	145
0,128	125
0,13	180
0,132	202
0,134	159
0,137	224
0,138	201
0,14	182
0,142	4562
0,144	167
0,146	146
0,148	160
0,15	161
0,153	178
0,154	4554
0,156	163
0,158	198
0,16	141
0,162	158
0,164	205
0,166	169
0,169	119
0,172	188
0,174	161
0,176	161
0,178	179
0,181	147
0,182	189
0,184	4599
0,186	150
0,19	106
0,191	171
0,192	4349
0,194	155
0,197	183
0,198	172
0,2	203

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0,202	173
0,204	148
0,208	155
0,211	47
0,212	4584
0,214	192
0,216	47
0,22	183
0,223	235
0,224	170
0,226	56
0,228	229
0,232	283
0,234	164
0,236	4353
0,238	4612
0,242	56
0,244	51
0,247	232
0,248	51
0,25	4506
0,252	254
0,254	193
0,256	95
0,258	188
0,262	4571
0,263	126
0,264	4507
0,266	238
0,268	4354
0,27	4523
0,272	251
0,274	227
0,278	4608
0,28	55
0,284	174
0,286	160
0,289	178
0,29	4349
0,292	4353
0,294	242
0,296	259
0,298	5628
0,3	196

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0,302	143
0,304	169
0,306	5622
0,308	152
0,311	5584
0,312	52
0,314	5618
0,316	182
0,319	166
0,32	5718
0,322	5598
0,326	5707
0,327	199
0,328	187
0,33	230
0,332	5580
0,334	5657
0,337	48
0,338	5407
0,34	192
0,342	157
0,345	5409
0,346	5403
0,348	6712
0,35	253
0,352	168
0,354	5676
0,356	158
0,36	5404
0,361	150
0,364	172
0,366	230
0,368	216
0,37	5649
0,373	5404
0,375	5643
0,376	162
0,378	181
0,38	204
0,382	5410
0,384	5409
0,387	5658
0,388	5711
0,392	179
0,393	97
0,394	5405
0,396	145
0,398	203

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0,401	5403
0,402	194
0,404	207
0,408	5407
0,409	248
0,41	140
0,414	5403
0,415	172
0,416	128
0,418	174
0,422	152
0,424	192
0,426	166
0,428	51
0,431	182
0,432	65
0,434	114
0,436	156
0,438	156
0,44	113
0,443	45
0,445	161
0,448	197
0,451	58
0,453	132
0,454	5403
0,456	137
0,458	213
0,46	168
0,462	164
0,464	51
0,466	122
0,468	200
0,47	209
0,472	5580
0,474	56
0,478	191
0,48	54
0,482	151
0,484	59
0,486	136
0,488	130
0,491	171
0,494	235
0,495	183
0,499	95

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0,501	113
0,502	57
0,503	161
0,505	6052
0,508	175
0,51	7039
0,512	50
0,515	43
0,516	211
0,518	171
0,52	175
0,522	151
0,524	171
0,526	50
0,528	161
0,53	197
0,534	139
0,536	249
0,538	204
0,54	129

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]
0	409
0,002	601
0,006	134
0,008	609
0,01	70
0,012	127
0,016	82
0,018	339
0,02	96
0,024	84
0,026	112
0,028	73
0,032	84
0,033	122
0,036	108
0,039	119
0,042	198
0,044	101
0,048	162
0,051	124
0,051	102
0,052	117
0,055	113
0,058	108
0,06	106
0,062	99
0,064	132
0,068	111
0,07	7038
0,072	176
0,074	100
0,076	105
0,078	130
0,08	135
0,082	103
0,084	105
0,086	132
0,088	52
0,09	91
0,092	102
0,094	6951
0,096	114
0,098	118
0,1	7093

Chainage [km]	meetraai 1 E ₁ [MPa]
0,102	7097
0,104	122
0,106	171
0,108	112
0,11	136
0,112	156
0,115	122
0,118	150
0,121	133
0,122	112
0,124	160
0,126	6960
0,128	117
0,13	134
0,132	148
0,134	115
0,136	141
0,138	638
0,14	147
0,142	174
0,144	116
0,146	161
0,148	192
0,15	8846
0,152	145
0,154	134
0,156	6949
0,158	128
0,16	225
0,162	6950
0,164	159
0,166	146
0,168	188
0,17	6948
0,172	146
0,174	130
0,176	181
0,178	6950
0,18	127
0,182	164
0,184	6953
0,186	110
0,188	142
0,19	143
0,192	215
0,194	123
0,196	147
0,198	128
0,2	143

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]
0,102	7097
0,104	122
0,106	171
0,108	112
0,11	136
0,112	156
0,115	122
0,118	150
0,121	133
0,122	112
0,124	160
0,126	6960
0,128	117
0,13	134
0,132	148
0,134	115
0,136	141
0,138	638
0,14	147
0,142	174
0,144	116
0,146	161
0,148	192
0,15	8846
0,152	145
0,154	134
0,156	6949
0,158	128
0,16	225
0,162	6950
0,164	159
0,166	146
0,168	188
0,17	6948
0,172	146
0,174	130
0,176	181
0,178	6950
0,18	127
0,182	164
0,184	6953
0,186	110
0,188	142
0,19	143
0,192	215
0,194	123
0,196	147
0,198	128
0,2	143

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]
0,202	153
0,204	115
0,206	144
0,208	6950
0,21	42
0,212	138