

P201-R-07038 inv

16 JAN 2007

e0601223-4

Rapportage temperatuur gecorrigeerde stijfheden
van ingegoten basaltzuilen aan Het Nollehoofd
en boulevard Bankert te Vlissingen



011788 2007 PZDT-R-07038 inv
rapportage temperatuur gecorrigeerde stijfheden in

Projectnummer : e0601223-4
Offertenummer en datum : o060654/au/adl d.d. 21 juni 2006
Titel rapport : temperatuurcorrectie ingegoten basalt te Vlissingen
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

Naam: Ir. D. van der Ven

Handtekening:

Datum: 14 december 2006

Autorisatie

Naam: Ing. A.K. de Looff

Handtekening:

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	11
3.1	Principe van de VGD-metingen	11
3.2	Uitgevoerde metingen.....	12
3.2.1	Verloop van de deflecties	12
3.3	Meting van de temperatuur.....	14
3.4	Terugrekenen van de stijfheden	14
3.4.1	Principe van het terugrekenen.....	14
3.4.2	Surface modulus	16
4	Interpretatie van de metingen.....	19
4.1	Buiging en afschuiving.....	19
4.2	Berekening laagstijfheden volgens nieuwe methode	20
4.3	Praktisch methode voor temperatuurcorrectie ingegoten basaltbekleding	21
4.4	Stijfheden	21

Bijlagen

1 Inleiding

In april 2006 is de ingegoten basaltbekleding aan Het Nollehoofd en de boulevard Bankert te Vlissingen 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 e0600270.

In deze rapportage 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 0600270 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 (4 meettraaien) bestaan uit Het Nollehoofd en de boulevard Bankert te Vlissingen (zie bijlage 1).

2 Opbouw van de bekleding

Voor de opbouw van de bekleding zijn dezelfde gegevens aangehouden als in rapport e0600270. Voor de volledigheid worden deze gegevens in dit hoofdstuk 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 10 kernen (\varnothing 150 mm) geboord. Deze 10 kernen zijn geboord op naden tussen de basaltzuilen. Dit om er zeker van het zijn dat de penetratie van het asfaltmastiek bepaald kan worden.

2.2 Bepaling van de laagdikten

In onderstaande tabel zijn de laagdikten van de 10 geboorde kernen opgenomen. De laagdikte is op 4 plaatsen met behulp van een liniaal opgemeten.

Tabel 2.2.1: Laagdikten basaltzuilen meetraai 1 (Het Nollehoofd)

Kern	B1		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	315		315
meting 2	310		310
meting 3	307	10	297
meting 4	325	4	321
gem.	314	7	311

Kern	B2		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	387	13	374
meting 2	370		370
meting 3	359		359
meting 4	386	3	383
gem.	376	8	372

Tabel 2.2.2: Laagdikten basaltzulen meetraai 2 (bovenraai boulevard Bankert)

Kern	B4		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	(2940) 361	7	287
meting 2	(266) 356	4	262
meting 3	(258) 353	6	252
meting 4	(256) 367		256
gem.	(269) 359	6	264

Kern	B6		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	321	21	300
meting 2	383	11 (55)	317
meting 3	380	23	357
meting 4	392	9	383
gem.	369	16	339

Kern	B8		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	240	25	215
meting 2	387	8	379
meting 3	386	4	382
meting 4	390	24	366
gem.	351	15	336

Kern	B10		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	355		355
meting 2	320		320
meting 3	322	3	319
meting 4	333	6	327
gem.	333	5	330

Tabel 2.2.3: Laagdikten basaltzulen meetraai 3 (onderraai boulevard Bankert)

Kern	B3		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	(295) 390		295
meting 2	(283) 375		283
meting 3	(320) 395		320
meting 4	(295) 380		295
gem.	(298) 385		298

Kern	B5		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	340		340
meting 2	375		375
meting 3	363		363
meting 4	165		165
gem.	311		311

Tabel 2.2.4: Laagdikten basaltzuilen meetraai 4 (onderraai boulevard Bankert)

Kern	B7		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	305	(16 onder)	289
meting 2	393		393
meting 3	348	(20 onder)	228
meting 4	349		349
gem.	349		315

Kern	B9		
	totaal	asfaltmastiek	basalt
meting 1	404		404
meting 2	179		179
meting 3	354		354
meting 4	369		369
gem.	327		327

In tabel 2.2.5 is de penetratie van het asfaltmastiek opgenomen.

Tabel 2.2.5: Penetratie van het asfaltmastiek

Kern	Meetraai 1		Meetraai 2				Meetraai 3		Meetraai 4	
	B1	B2	B4	B6	B8	B10	B3	B5	B7	B9
meting 1				166	111	80		0		0
meting 2				190	30	45		0		0
meting 3				250	58	75		0		0
gem.	Geheel	Geheel	Geheel	202	66	67	Geheel	0	geheel	0

In tabel 2.2.6: Penetratie uitgedrukt als percentage van de kernlengte.

Kern	Meetraai 1		Meetraai 2				Meetraai 3		Meetraai 4	
	B1	B2	B4	B6	B8	B10	B3	B5	B7	B9
Gem. penetratie (mm)	Geheel	Geheel	Geheel	202	66	67	Geheel	0	geheel	0
Laagdikte (mm)	311	372	264	339	336	330	298	311	315	328
Ingieting	1D	1D	1D	0,60D	0,20D	0,20D	1D	0D	1D	0D

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:

Deze meetraai wordt geclassificeerd als goed ingegoten.

Meetraai 2:

Deze meetraai wordt gemiddeld geclassificeerd als goed - oppervlakkig ingegoten.

Meetraai 3:

Deze meetraai wordt gemiddeld geclassificeerd als goed ingegoten. Echter één van de kernen is niet ingegoten.

Meetraai 4:

Deze meetraai wordt gemiddeld geclassificeerd als goed ingegoten. Echter één van de kernen is niet ingegoten.

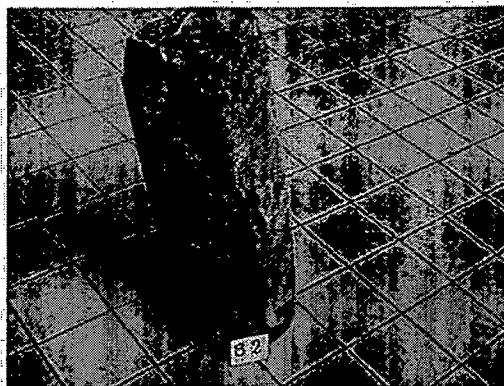
Tijdens de inspectie van de meetraaien is geconstateerd dat niet overal gietasfalt aanwezig is. Om deze reden is de onderraai gesplitst in 2 meetraaien (3 en 4). Tevens zijn er vakken binnen deze raaien aanwezig met beton of asfalt. Ook zijn er vakken binnen de raaien zonder enige vorm van penetratie. Deze vakken bestaan uit alleen basaltzuilen.

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

Meetraai 1 (Het Nollehoofd):



Figuur 2.1: Locatie B1

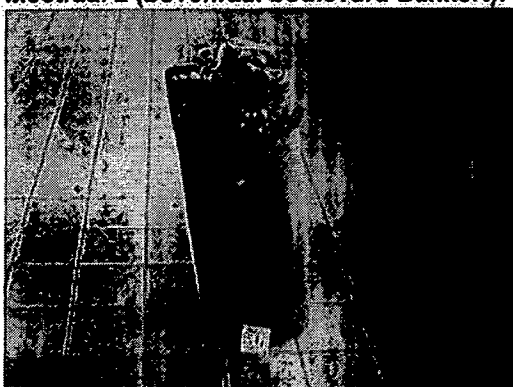


Figuur 2.2: Locatie B2

De gemiddelde laagdikte bedraagt 345 mm.

De hechting van de zuilen is door de goede penetratie zeer goed.

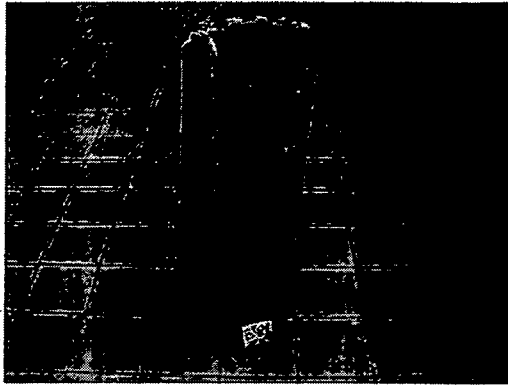
Meetraai 2 (bovenraai boulevard Bankert):



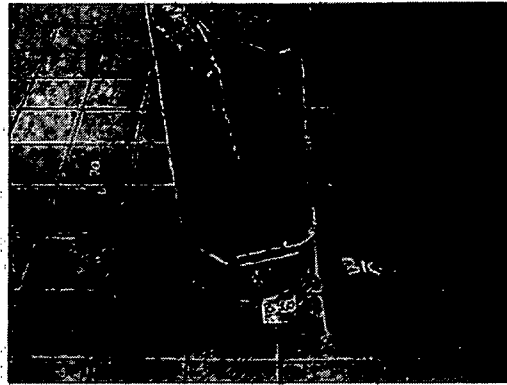
Figuur 2.3: Locatie B4



Figuur 2.4: Locatie B6



Figuur 2.5: Locatie B8

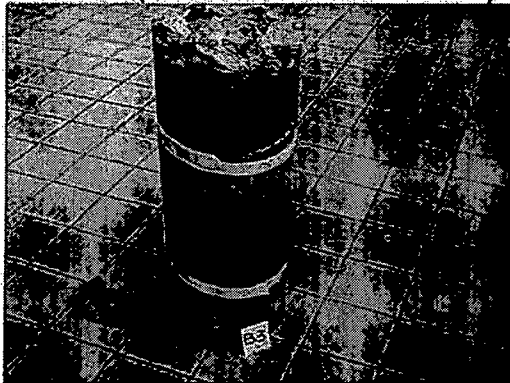


Figuur 2.6: Locatie B10

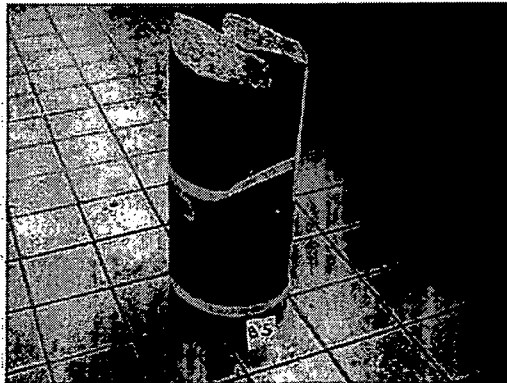
De gemiddelde laagdikte bedraagt 345 mm.

De hechting van de zuilen B4 en B6 is door de goede penetratie zeer goed. De hechting van de zuilen B8 en B10 is slechter. De penetratie van ca. 66 mm kan niet voorkomen dat de zuilen loskomen.

Meetraal 3 (onderraal boulevard Bankert):



Figuur 2.7: Locatie B3

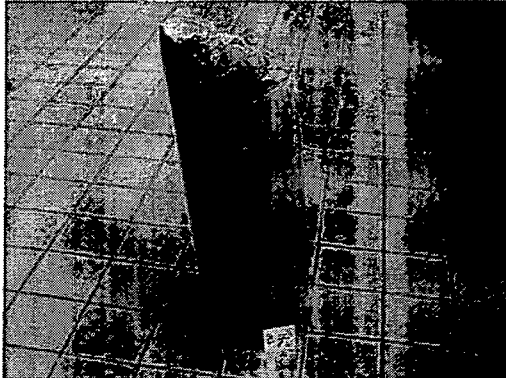


Figuur 2.8: Locatie B5

De gemiddelde laagdikte bedraagt 348 mm.

De hechting van de zuilen is slecht. Ondanks dat de penetratie van B3 volledig is. Tussen de losse zuilen/stukken gietasfalt zijn zand en schelpen aanwezig. Dit duidt op het feit dat het gietasfalt mogelijk later is aangebracht of dat er toch indringing van zand en schelpen heeft plaats gevonden. B5 is niet ingegoten.

Meetraal 3 (onderraai boulevard Blankert):



Figuur 2.9: Locatie B7



Figuur 2.10: Locatie B9

De gemiddelde laagdikte bedraagt 338 mm.

De hechting van locatie B7 is goed. B9 is niet ingegoten Tussen de losse zuilen zijn zand en schelpen aanwezig.

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 0600270. Wederom is voor de volledigheid in dit hoofdstuk het principe van VGD-metingen en de omvang van de uitgevoerde metingen weergegeven zoals in rapport e0600270. 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 van 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.

Het bemonsterde bekledingen hebben een totale lengte van 1044 m. De metingen zijn verdeeld over 4 meetraaien. Zie de tekeningen van bijlage 2 voor de raaien.

Meetraai 1:

Deze bestaat uit het talud aan Het Nollehoofd en is 125 m lang.

Meetraai 2:

Deze is de bovenraai aan boulevard Bankert en is 540 m lang.

De raai bevindt zich ca. 2 m boven gemiddeld hoogwater.

Meetraai 3:

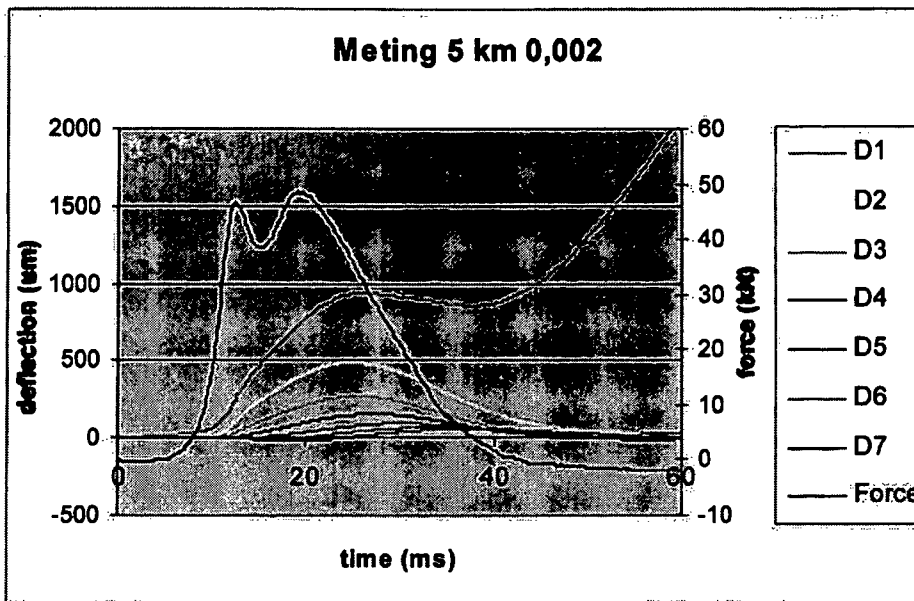
Deze is de onderraai aan boulevard Bankert en is 163 m lang. Deze raai start 75 m na het nulpunt van meetraai 2. De raai bevindt zich onder gemiddeld hoogwater.

Meetraai 4:

Deze is de onderraai aan boulevard Bankert en is 216 m lang. Deze raai start 324 m na het nulpunt van meetraai 2. De raai bevindt zich onder gemiddeld hoogwater.

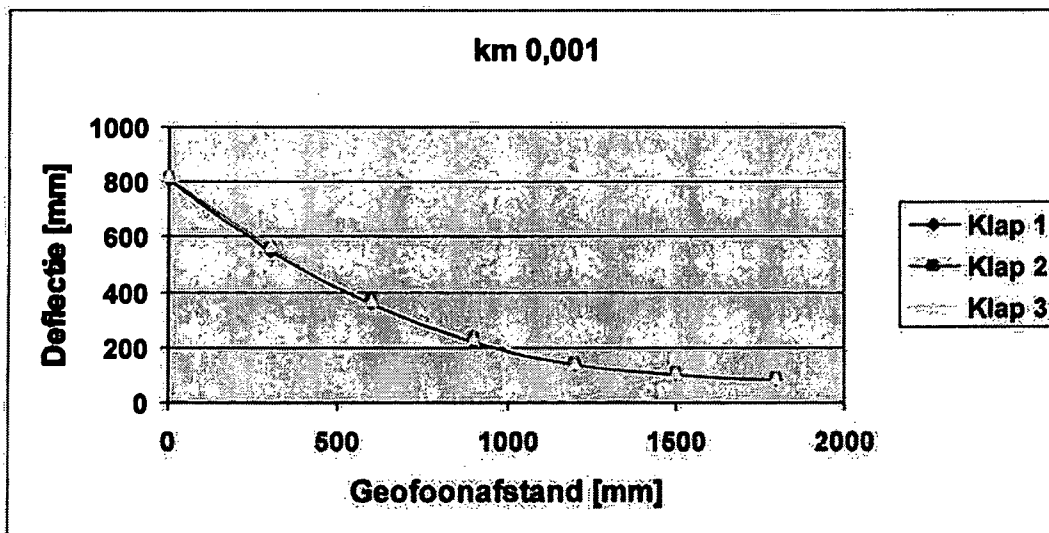
3.2.1 *Verloop van de deflecties*

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 gevoons 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

Op een nabijgelegen locatie is een gat van 12 cm diep geboord in de asfaltmastiek. Hierin is bij aanvang en einde van de metingen de temperatuur in het asfaltmastiek vastgesteld. Tevens is op deze tijdstippen de oppervlaktetemperatuur gemeten. Deze zijn in tabel 3.1 opgenomen.

tabel 3.1: gemeten temperaturen voorafgaand aan de metingen.

Meetraal	Datum	Tijdstip	Temperatuur (graden C)		Gem temp (graden C)	
			Oppervlak	Gietasfalt	Oppervlak	Gietasfalt
1	19-04-2006	12:30	19,2	12,4	19,6	13,9
1	19-04-2006	14:30	20	15,3		
2	18-04-2006	16:25	26,3	20,9	19,8	16,5
2	18-04-2006	18:50	20,7	22,4		
2	19-04-2006	8:30	11,4	10,9		
2	19-04-2006	10:00	12,4	10,9		
2	19-04-2006	14:30	20,0	15,3		
2	19-04-2006	15:50	24,9	16,8		
2	19-04-2006	16:40	22,8	18,5		
3	18-04-2006	15:25	26,5	20,7	21,9	16,5
3	18-04-2006	16:20	26,3	20,9		
3	19-04-2006	11:50	15,7	11,8		
3	19-04-2006	12:30	19,2	12,4		
4	19-04-2006	10:00	12,9	10,9	14,3	11,4
4	19-04-2006	11:50	15,7	11,8		

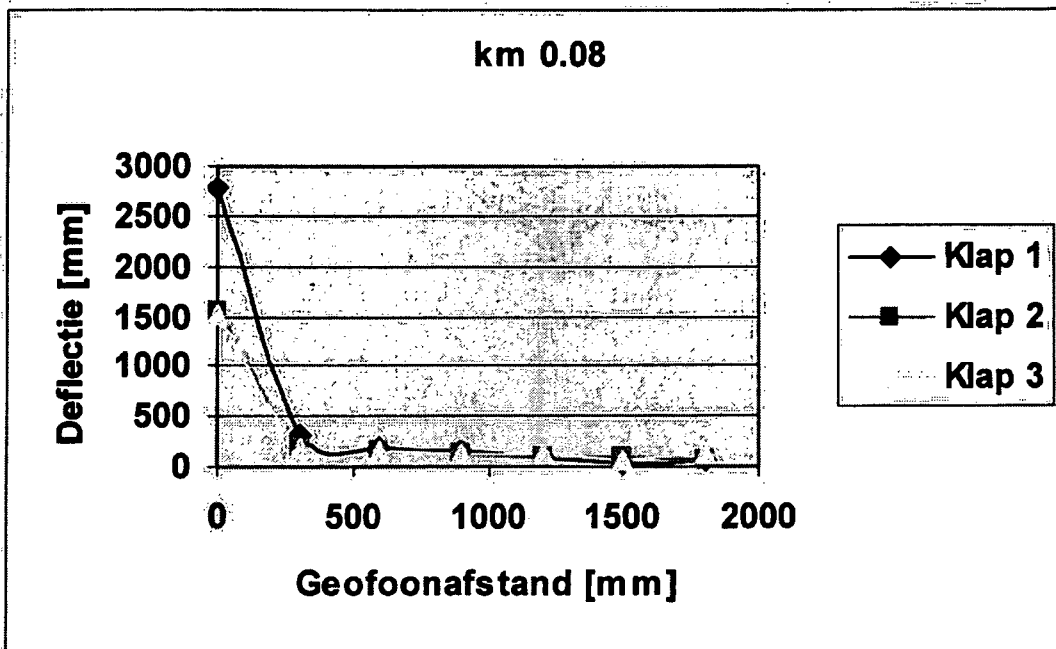
Het bepalen van de temperatuur is van belang omdat deze de stijfheid sterk beïnvloedt. Bij lage temperaturen zal het asfaltmastiek een hogere stijfheid hebben. De bekleding reageert dan meer als een plaat. Bij hogere temperaturen, zoals bij deze metingen, zal het asfaltmastiek een viskeuzer gedrag vertonen.

3.4 Terugrekenen van de stijfheden

3.4.1 Principe van het terugrekenen

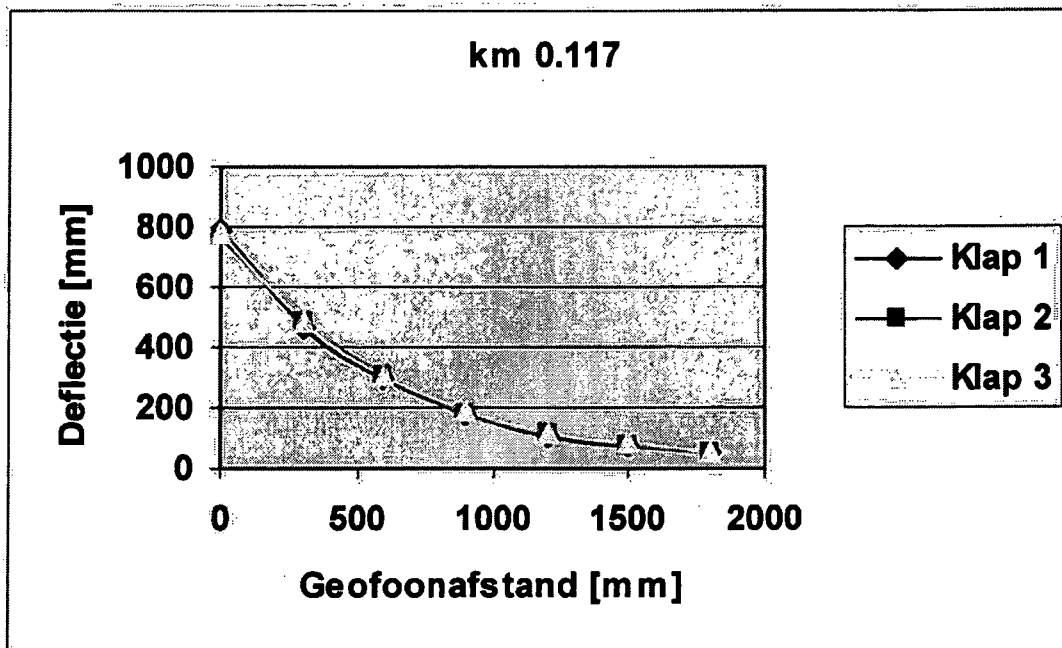
Voor de evaluatie van de metingen zijn ten eerste de ruwe meetdata van de deflectiemetingen bekeken. Meetdata met meetfouten zijn verwijderd. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door geofoons die geen of slecht contact hebben met de bekleding. De deflecties van de bekleding zijn uitgezet tegen de afstand 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:

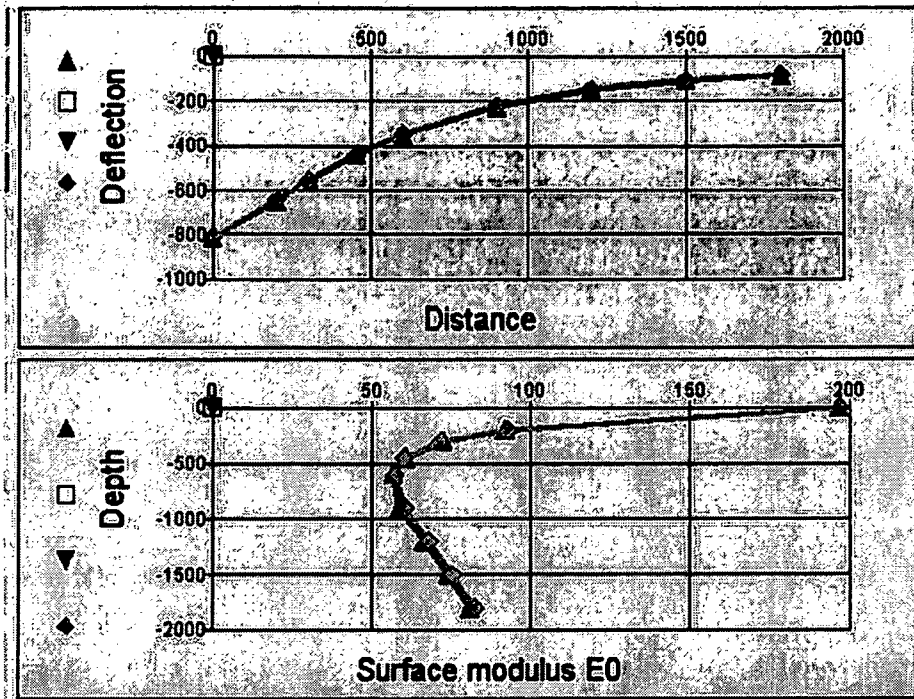
$$E_0(r) = \frac{(1-\nu^2)\sigma_0 \cdot a^2}{r \cdot \delta(r)}$$

waarin:

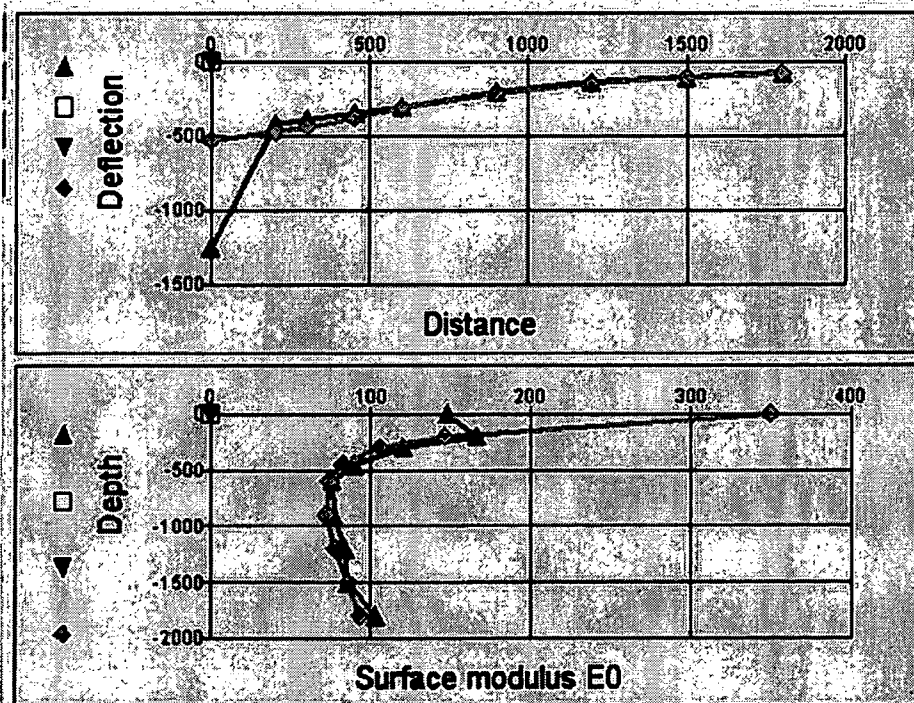
- $E_0(r)$ = surface modulus equivalente diepte r [MPa];
- ν = Poissonfactor [-];
- σ_0 = belasting onder de plaat [N/mm²];
- a = straal van de plaat [mm];
- r = afstand geofoon tot het plaatmidden [mm];
- $\delta(r)$ = deflectie op afstand r van het plaatmidden [μ m].

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 metingen

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 4.4 is aangegeven om welke aantallen het gaat. In tabel 4.5 zijn de gegevens voor alle metingen samengevat.

Tabel 4.1: Gegevens meetraai 1

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	62	
Aantal gebruikte metingen	56	90%
Aantal metingen met afschuiving	21	37,5 %

Tabel 4.2: Gegevens meetraai 2

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	273	
Aantal gebruikte metingen	234	85,7%
Aantal metingen met afschuiving	94	40,5%

Tabel 4.3: Gegevens meetraai 3

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	80	
Aantal gebruikte metingen	68	85,0%
Aantal metingen met afschuiving	23	33,8%

Tabel 4.4: Gegevens meetraai 4

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	106	
Aantal gebruikte metingen	95	89,6%
Aantal metingen met afschuiving	59	62,1%

Tabel 4.5: Totale gegevens

	Aantal	percentage
Aantal uitgevoerde metingen	521	
Aantal gebruikte metingen	453	86,9%
Aantal metingen met afschuiving	197	43,5%

Het volgende valt op:

- 87% van de metingen levert bruikbare data op. Dit percentage over de 4 meetraaien gekeken gelijk.
- Bij 43.5% 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.
- Het percentage afschuiving is vooral in meetraai 4 zeer hoog. In deze meetraai en ook in meetraai 2 zijn vakken zonder enige vorm van penetratie aanwezig.

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 ($E_1 > E_2$).

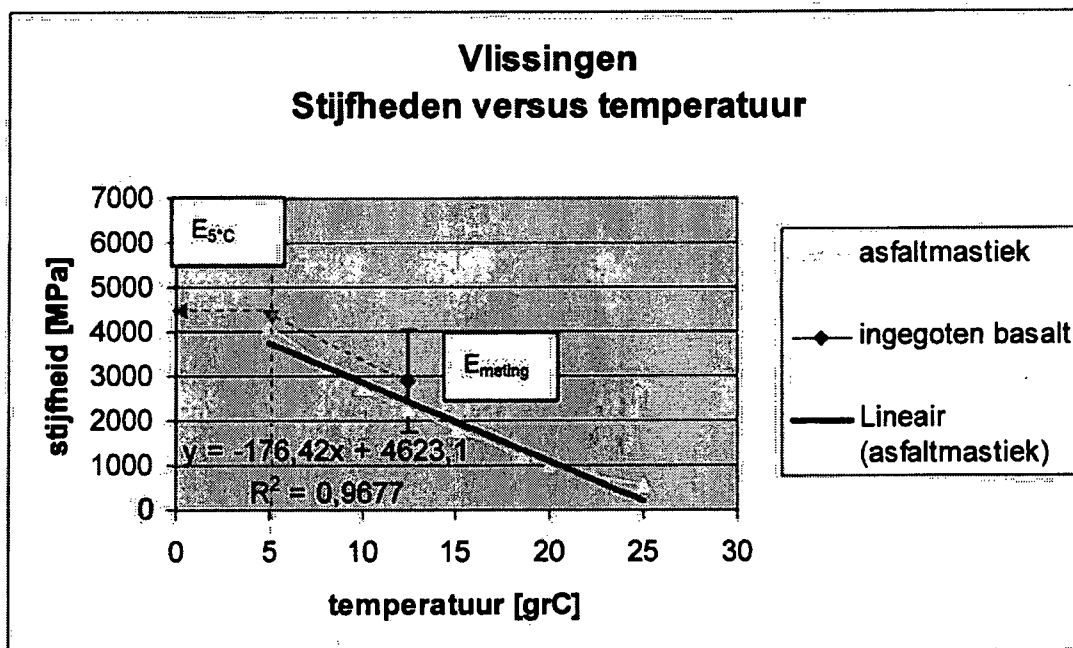
Hiermee zijn de twee parameters bepaald die inzicht geven in de kwaliteit van de ingieting en daarmee de kwaliteit en sterkte van de bekleding. Ten eerste geeft het percentage locaties met centrumdeflectie aan welk deel van de bekleding zich niet gedraagt als buiglijger. Op deze locatie werkt de mastiek 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)



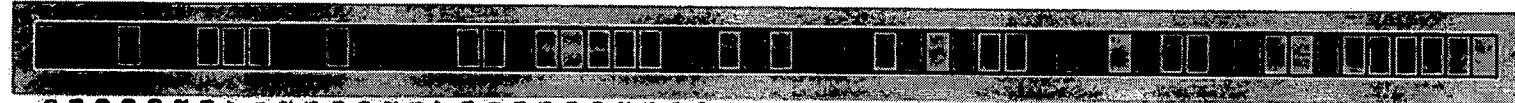
Figuur 4.5: correctie gemeten stijfheid naar temperatuur van 5°C

4.4 Stijfheden

In de onderstaande grafieken is een overzicht gemaakt van de voor temperatuur gecorrigeerde stijfheden. Deze zijn uitgezet als functie van de ligging (km) tegen de stijfheid. Hierbij is de stijfheid in 4 klassen ingedeeld. In bijlage 2 zijn de gecorrigeerde top laagstijfheden per meetpunt weergegeven.

Boulevard Vlissingen, meetraal 1 (het Nollehoofd)

Meetraal 1



0,000
0,004
0,008
0,009
0,010
0,012
0,014
0,017
0,021
0,022
0,025
0,028
0,030
0,032
0,034
0,037
0,038
0,040
0,043
0,048
0,048
0,050
0,052
0,055
0,056
0,059
0,060
0,063
0,064
0,067
0,068
0,070
0,073
0,075
0,077
0,078
0,081
0,083
0,084
0,086
0,088
0,090
0,093
0,094
0,097
0,098
0,101
0,102
0,106
0,106
0,108
0,111
0,112
0,114
0,117
0,118

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

Boulevard Vlissingen, meetraai 2 en 3

Meetraai 2
Meetraai 3



0.000
0.002
0.004
0.006
0.010
0.013
0.014
0.016
0.019
0.020
0.022
0.025
0.029
0.030
0.032
0.034
0.036
0.038
0.040
0.042
0.045
0.046
0.050
0.052
0.054
0.057
0.058
0.060
0.062
0.064
0.066
0.068
0.070
0.072
0.074
0.076
0.078
0.082
0.082
0.085
0.086
0.088
0.091
0.094
0.096
0.099
0.100

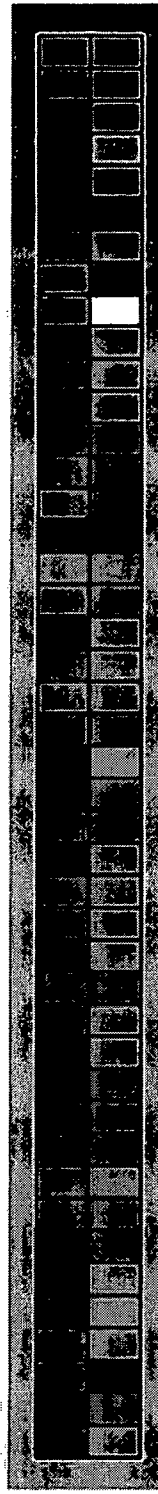
Legenda:

- E < 500 MPa
- 500 <= E < 5000 MPa
- 5000 <= E < 10000 MPa
- E >= 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingleting [mm]
B1	
B2	

Boulevard Vlissingen, meetraai 2 en 3

Meetraai 2
Meetraai 3



0.102
0.104
0.106
0.106
0.110
0.112
0.116
0.116
0.118
0.122
0.124
0.129
0.131
0.132
0.134
0.136
0.138
0.140
0.142
0.145
0.146
0.149
0.150
0.153
0.154
0.156
0.158
0.162
0.164
0.166
0.168
0.170
0.173
0.175
0.176
0.178
0.181
0.182
0.185
0.187
0.190
0.191
0.192
0.194
0.196

Legenda:

- E < 500 MPa
- 500 <= E < 5000 MPa
- 5000 <= E < 10000 MPa
- E >= 10000 MPa
- Geen data beschikbaar

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingleting [mm]
B1	
B2	

Boulevard Vlissingen, meetraai 2 en 3



Meetraai 2

Meetraai 3

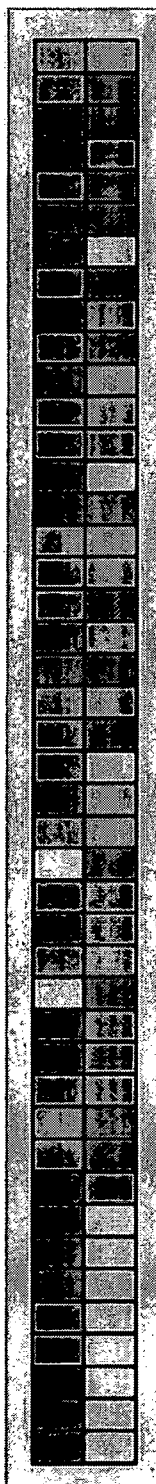
0,202 0,204 0,207 0,208 0,210 0,212 0,214 0,216 0,218 0,221 0,222 0,224 0,227 0,228 0,230 0,234 0,240 0,247 0,248 0,250 0,254 0,257 0,258 0,260 0,262 0,264 0,267 0,271 0,272 0,275 0,276 0,278 0,280 0,282 0,284 0,287 0,288 0,290 0,293 0,294 0,296

Legenda:

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

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingleting [mm]
B1	
B2	

Boulevard Vlissingen, meetraai 3 en 4



Meetraai 3

Meetraai 4

0,301 0,304 0,308 0,310 0,312 0,314 0,317 0,320 0,326 0,328 0,331 0,333 0,336 0,337 0,339 0,341 0,344 0,345 0,346 0,348 0,349 0,350 0,353 0,356 0,357 0,360 0,361 0,364 0,367 0,368 0,370 0,372 0,373 0,376 0,379 0,381 0,383 0,385 0,388 0,391 0,393 0,395 0,396

Legenda:

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

Gegevens boorkernen	
Code	lengte : ingleting [mm]
B1	
B2	

Boulevard Vlissingen, meetraai 2 en 4



Meetraai 2

Meetraai 4

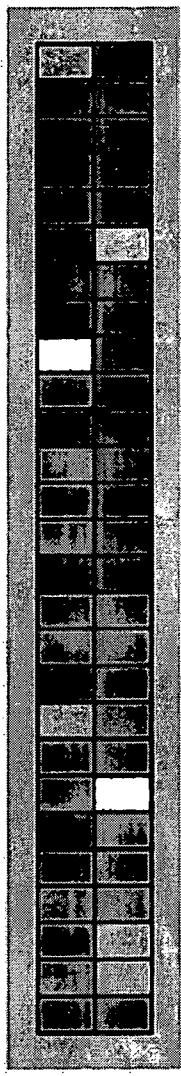
0.401 0.404 0.406 0.408 0.410 0.411 0.414 0.419 0.423 0.424 0.426 0.427 0.430 0.431 0.434 0.438 0.439 0.442 0.447 0.450 0.455 0.457 0.461 0.463 0.465 0.467 0.469 0.473 0.474 0.477 0.479 0.480 0.482 0.484 0.487 0.491 0.492

Legenda

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

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

Boulevard Vlissingen, meetraai 2 en 4



Meetraai 2

Meetraai 4

0.500 0.501 0.503 0.505 0.507 0.512 0.514 0.516 0.519 0.521 0.523 0.525 0.527 0.530 0.532 0.533 0.536 0.539 0.541 0.543 0.545 0.547 0.550 0.555 0.557 0.559 0.560

Legenda

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

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

Op de locatie zijn verschillende typen ingietingen waargenomen. Zowel penetratie met beton als asfaltmastiek komen voor. Daarnaast zijn gedeelten niet ingegoten. Dit veroorzaakt verschillen in de deflectieprofielen. In de tabellen 4.1 en 4.2 zijn de verschillende vakken op basis van type ingieting gegeven.

Tabel 4.1: Vakindeling meetraai 2 op basis van ingieting

Begin vak t.o.v. nulpunt meetraai 2 (km)	Type ingieting
0.000	Asfaltmastiek
0.320	Geen
0.336	Asfaltmastiek
0.373	Beton
0.411	Asfaltmastiek
0.422	Beton
0.432	Geen
0.475	Asfaltmastiek en beton
0.502	Asfaltmastiek
0.535	Beton
0.543	Geen

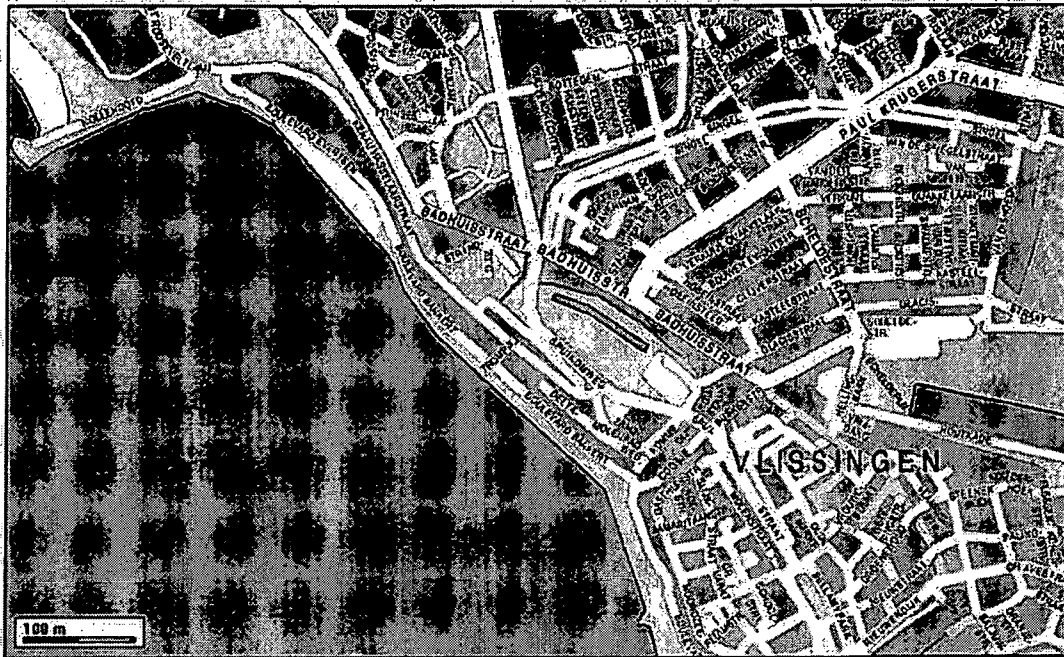
Tabel 4.2: Vakindeling meetraai 4 op basis van ingieting

Begin vak t.o.v. nulpunt meetraai 2 (km)	Type ingieting
0.324	Geen
0.342	Asfaltmastiek
0.412	Geen
0.449	(gedeeltelijk) beton
0.484	Asfaltmastiek en beton
0.498	Asfaltmastiek
0.532	Geen

De gedeelten van de bekleding die niet op met cementbeton zijn ingegoten zijn niet temperatuur afhankelijk. Voor deze gedeelten is de stijfheid dan ook niet gecorrigeerd naar 5°C maar gewoon behouden zoals teruggerekend uit de deflectiemetingen bij de heersende meettemperatuur.

Bijlage 1

Overzicht meetlocaties te Vlissingen



Bijlage 2

Toplaagstijfheden (ingegoten basalt) per meetlocatie.

Meetraai 1

Chainage [km]	meetraai 1 E, [MPa]
0	141
0,004	92
0,008	108
0,008	3118
0,01	97
0,012	72
0,014	3064
0,017	2818
0,021	4720
0,022	5354
0,025	5253
0,028	4581
0,03	144
0,032	5042
0,034	5892
0,037	8027
0,038	2171
0,04	1388
0,043	266
0,045	3730
0,048	2977
0,05	3249
0,052	3401
0,055	3433
0,058	7090
0,059	132
0,06	743
0,063	6057
0,064	4502
0,067	8288
0,068	131
0,07	6569
0,073	4822
0,075	109
0,077	3901
0,078	94
0,081	3578
0,083	4668
0,084	5303
0,088	104
0,088	7124
0,09	3613
0,093	5571
0,094	4487
0,097	4355
0,098	83
0,101	91
0,102	2791
0,106	999
0,108	100
0,108	1956
0,111	2380
0,112	1905
0,114	2065
0,117	1845
0,118	1411

Meetraai 2 en 3

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]	meetraai 3 E ₁ [MPa]
0	89	0
0,002	91	
0,004	7952	
0,006	118	
0,01	10899	
0,013	8171	
0,014	7800	
0,016	6489	
0,019	4876	
0,02	78	
0,022	7080	
0,025	2714	
0,029	12214	
0,03	6847	
0,032	3010	
0,034	103	
0,036	133	
0,038	7222	
0,04	7448	
0,042	87	
0,045	10078	
0,046	8329	
0,05	5062	
0,052	86	
0,054	9388	
0,057	7955	
0,058	64	
0,06	3990	
0,062	6064	
0,064	6691	
0,066	5700	
0,068	52	
0,07	96	
0,072	6165	
0,074	105	
0,076	4787	89
0,078	137	1056
0,082	5228	632
0,082	8558	2101
0,085	13767	4641
0,086	10049	720
0,088	123	850
0,091	7478	163
0,094	8528	217
0,096	6164	1266
0,099	10423	1301
0,1	6728	2540

Meetraai 2 en 3

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]	meetraai 3 E ₁ [MPa]
0,102	7123	3599
0,104	10616	158
0,106	120	9359
0,108	137	4120
0,11	7776	842
0,112	16026	791
0,116	16318	242
0,118	113	128
0,122	127	777
0,124	9247	110
0,129	7184	103
0,131	13892	73
0,132	7123	3007
0,134	133	1373
0,136	126	8243
0,138	7783	4022
0,14	79	3767
0,142	52	1520
0,145	10732	2900
0,146	54	96
0,149	16575	73
0,15	13155	2074
0,153	147	101
0,154	3798	1230
0,156	120	1820
0,158	6426	1578
0,162	3477	116
0,164	4006	91
0,166	5289	20414
0,168	4888	92
0,17	80	5219
0,173	8001	92
0,175	105	2540
0,176	86	3427
0,178	5680	2624
0,181	4636	
0,182	3966	139
0,185	86	4992
0,187	5086	121
0,19	5903	4333
0,191	5474	
0,192	80	4519
0,194	3829	3886
0,196	3691	3566
0,198	3947	4934

Meetraai 2 en 3

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]	meetraai 3 E ₁ [MPa]
0,202	3485	
0,204	3447	502
0,207	82	85
0,208	3764	2553
0,21	3717	116
0,212	157	
0,214	3472	4012
0,216	4425	2722
0,218	3715	2382
0,221	3869	2847
0,222	3717	2951
0,224	76	104
0,227	3584	1307
0,228	3646	2825
0,23	3832	2238
0,234	3520	5509
0,24	6965	
0,247	119	
0,248	128	
0,25	2155	
0,254	6083	
0,257	92	
0,258	3225	
0,26	3697	
0,262	60	
0,264	57	
0,267	53	
0,271	54	
0,272	51	
0,275	51	
0,276	50	
0,278	7289	
0,28	13570	
0,282	14205	
0,284	5679	
0,287	8737	
0,288	136	
0,29	4621	
0,293	2427	
0,294	5854	
0,296	142	
0,298	3549	

Meetraai 2 en 3

Chainage [km]	meetraai 3 E ₁ [MPa]	meetraai 4 E ₁ [MPa]
0,301	52	
0,304	147	
0,306	55	
0,308	3407	
0,31	2800	
0,312	404	
0,314	43	
0,317	57	
0,32	73	1088
0,326	536	75
0,328	785	400
0,331	663	2298
0,333	263	1136
0,336	393	1152
0,337		89
0,339	4271	1212
0,341	84	1258
0,344	3514	2508
0,345		110
0,346	2992	4096
0,348	105	2285
0,349	3160	
0,35	4085	153
0,353	3658	1056
0,356	95	5058
0,357	121	3359
0,36	2328	104
0,361	3258	3368
0,364	4240	2690
0,367	7031	105
0,368	79	
0,37	2298	3424
0,372	1961	1570
0,373	107	1130
0,376	1006	96
0,379	97	807
0,381	2645	200
0,383	95	
0,385	82	245
0,388	3378	72
0,391	136	1768
0,393	103	95
0,395	2233	52
0,396	590	612
0,398	99	127

Meetraai 2 en 4

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]	meetraai 4 E ₁ [MPa]
0,401	971	1517
0,404	90	1103
0,406	89	55
0,408		2314
0,41	524	91
0,411	764	138
0,414	1979	120
0,419	144	138
0,423	613	77
0,424		188
0,426	805	164
0,427	327	101
0,43	132	69
0,431	101	135
0,434	283	207
0,438	217	220
0,439		50
0,442		83
0,447	149	87
0,45	116	252
0,455	77	181
0,457	58	804
0,461	83	83
0,463	110	763
0,465		222
0,467	87	354
0,469	83	769
0,473	171	112
0,474	752	538
0,477	361	44
0,479	348	
0,48	298	95
0,482	112	73
0,484		103
0,487		931
0,491	362	190
0,492	741	83
0,497	1555	255

Meetraai 2 en 4

Chainage [km]	meetraai 2 E ₁ [MPa]	meetraai 4 E ₁ [MPa]
0,5	1258	1759
0,501	2483	
0,503	2577	
0,505	2952	1311
0,507	3028	1508
0,512	7122	1776
0,514	4965	
0,516	4083	1968
0,519		2565
0,521	70	2851
0,523	4306	3359
0,525	4272	2464
0,527	114	94
0,53	2161	90
0,532	2477	99
0,533	2175	77
0,536	247	96
0,539	524	90
0,541		429
0,543	85	52
0,545	72	77
0,547	275	
0,55	299	82
0,555	202	319
0,557	94	463
0,559	85	90
0,56		169
0,562		76