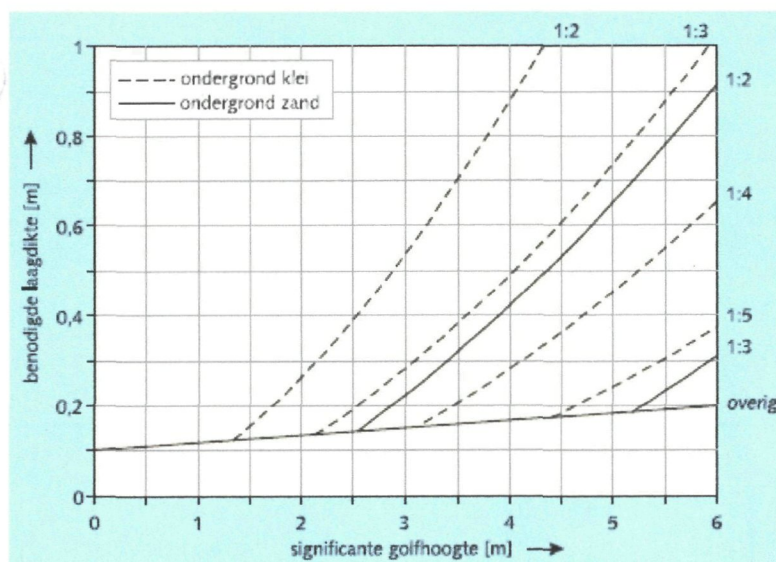


7-07-133-9

Rekentechnische vergelijking WAB-GAB ontwerpgrafiek voor Projectbureau Zeeweringen

Mei 2007

Ir. M.F.C. van de Ven, Ing C.C. Montauban



Rekentechnische vergelijking WAB- GAB ontwerpgrafiek voor Projectbureau Zeeweringen

Opdrachtgever	Project bureau Zeeweringen Postbus 1000 4330 ZW Middelburg
Contactpersoon	Y.M. Provoost
Rapport	TU Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Postbus 5048 2600 GA Delft
Uitgevoerd door	M.F.C. van de Ven C.C. Montauban
Datum	Mei 2007

Inhoudsopgave

1. Inleiding
2. Mengselgegevens
3. Berekeningsopzet
4. Resultaten
5. Conclusies

Referenties

1. INLEIDING

Projectbureau Zeeweringen (PBZ) heeft gevraagd om een eenvoudige methode waarmee een correctie kan worden toegepast op de ontwerpgrafiek [1] van waterbouwasfaltbeton (WAB, VTV 2004), indien in plaats van WAB het mengsel grindasfaltbeton (GAB) wordt toegepast.

Nagegaan dient te worden welke sterkte en stijfheid van GAB mag worden verwacht en hoe deze zich verhoudt ten opzichte van de sterkte en stijfheid van WAB waarmee de ontwerpgrafiek is opgesteld.

Voor PBZ zal ook nog worden nagegaan of het gebruik van GAB met 50% asfaltgranulaat de resultaten kan beïnvloeden. Dit is het maximum toegestane percentage asfaltgranulaat dat volgens de RAW [8] mag worden toegepast in waterbouwasfaltbeton.

Daarbij zal de volgende informatie worden gebruikt:

- Voor een werkweg op Terschelling is de vergelijking gemaakt met BANDS-PC tussen de vermoeiingssterkte van WAB en GAB [2].
- CROW informatie over de vermoeiingsterkte en stijfheid van GAB met 50% asfaltgranulaat [3].
- DWW rapporten over sterkte en stijfheid van STAB en GAB met en zonder asfaltgranulaat
- Met het Belgische programma PRADO [4] is het wellicht mogelijk een vergelijking te maken tussen mengsels met steenslag en grind en een zeker percentage asfaltgranulaat.

Eerst wordt bekeken hoe de verschillen liggen tussen WAB, GAB en GAB-50% (50% asfaltgranulaat).

Vervolgens worden enkele berekeningen gemaakt met GOLFKLAP om te zien hoe deze liggen ten opzichte van de ontwerpgrafiek voor WAB.

Op basis van de resultaten worden dan conclusies getrokken over de te gebruiken eenvoudige methode voor GAB-50%.

In hoofdstuk 2 zullen de gekozen mengsel gegevens worden besproken. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 het onderzoeksprogramma worden weergegeven en de eigenschappen van GAB worden bepaald. Met de parameters in hoofdstuk 3 voor zowel de materialen als de hydraulische randvoorwaarden worden dan vervolgens in hoofdstuk 4 de resultaten van enkele berekeningen gegeven.

Tot slot worden in hoofdstuk 5 conclusies getrokken in relatie tot de ontwerpgrafiek voor WAB in het VTV 2004 [1].

2. MENGSELGEGEVENS

Om berekeningen te kunnen uitvoeren met BANDS of PRADO is het noodzakelijk om uit te gaan van materiaalgegevens. In tabel 1 zijn de parameters gegeven die zijn gekozen voor de berekeningen. De aannames zijn gedaan op basis van ervaring. Verandering van de waarden kan de resultaten enigszins beïnvloeden, maar zal niet de relatieve vergelijking veranderen. Om berekeningen met PRADO te kunnen uitvoeren, zal ook informatie bekend moeten zijn over de gradering van de diverse materialen.

Tabel 1. Aannames gebruikt voor de berekeningen

	WAB	GAB	GAB-50%
Bouwstoffen	Soort	soort	Soort
Steen	Steenslag	grind	Grind
Zand	A	A	A
Vulstof	Kalksteen	kalksteen	Kalksteen
bitumen	70/100	45/60	???
Diversen			Asfaltgranulaat
Samenstelling	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
Steen	50	57	?
Zand	42	37	?
Vulstof	8	6	?
Bitumen	6.5 (op)	4.5 (op)	?
Dichtheid			
Bitumen (a)	1020	1020	?
Mineraal aggregaat (a)	2650	2650	?
Holle ruimte (a)	4.0	7.0	?
Dichtheid mengsel (b)	2391	2454	?
Dichtheid proefstuk (b)	2295	2282	?
Volumieke samenstelling			
Mineraal (b)	82.0	83.0	?
Bitumen (b)	14.0	10.0	?
Holle ruimte (a)	4.0	7.0	?
Bitumeneigenschappen			
Penetratie	75	45	
Verwekingspunt (b)	50	55	
Penetratie Index PI (a)	-0.5	-0.5	
Bitumen stijfheid (N/m²)			
Voor vermoeiingssterkte (5°C, 1 Hz)	$6.0 \cdot 10^7$	$1.0 \cdot 10^8$	
Voor E-modulus (5°C, 10 Hz)	$1.5 \cdot 10^8$	$3.0 \cdot 10^8$	

Toelichting: a = aanname; b = berekend; Penetratie = 75% van bovengrens

Opgemerkt wordt dat 50% asfaltgranulaat het maximum is dat mag worden toegepast volgens de RAW [8], zowel voor asfaltmengsels in de wegenbouw als de waterbouw. Daarnaast is het in tabel 1 gegeven GAB een typisch wegenbouw mengsel met een relatief laag bindmiddelgehalte.

3. BEREKENINGSOPZET

3.1 Basis informatie voor de berekeningen.

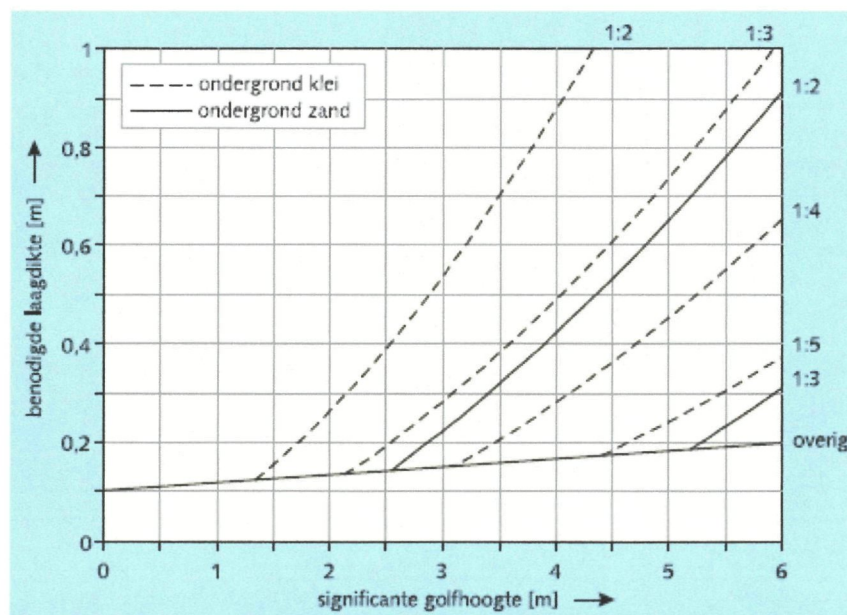
Voor de ontwerpgrafiek van asfaltbeton (WAB) zoals deze vermeld is in het VTV 2004 [1] zijn invoerparameters toegepast, die zijn weergegeven in de betreffende notities van NPC [5, 6]. De gebruikte parameters zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 2. Invoer parameters gebruikt voor het bepalen van figuur 8-37 in het VTT [1].

Taludhelling	1:2	1:4
Elasticiteitsmodulus WAB (MPa)	10000	karakteristieke waarde
Constante van Poisson (-)	0.35	karakteristieke waarde
Log k	4.9	karakteristieke waarde
a	4.2	karakteristieke waarde
Beddingsconstante	Klei: 30 MPa/m	Zand: 100 MPa/m
Belaste zone (m)	0.5	
Diepte waterbodem (m-NAP)	10	
Stormduur (uur)	17	
Significante golfhoogte (m)	0.5 tot 6.0	
Gemiddelde golfperiode (s)	2.47 tot 8.57 ($T_g = 3.5\sqrt{H_s}$)	

Daarnaast is bij de berekeningen een waterstandsverschil van 0,5 meter en een stormduur van 17 uur aangehouden zoals aangegeven in bijlage 6 van het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren [7].

Op basis van deze aannames is figuur 8-37 in het VTV samengesteld, hier gegeven als figuur 1.



Figuur 1. Ontwerpgrafiek asfaltbeton (WAB) uit [1].

Figuur 1 is bepaald op basis van berekeningen met het oude golfklap programma. Hierdoor zullen de resultaten aan de veilige kant zijn en kan verwacht worden dat een controle met het nieuwe programma zal leiden tot geringere diktes.

Het is niet de bedoeling om voor GAB alle berekeningen te maken om complete lijnen te kunnen opstellen. Op basis van een beperkt aantal berekeningen met GOLFKLAP wordt gecontroleerd hoe de GAB mengsels passen in de systematiek en op basis daarvan worden eenvoudige lijnen opgesteld. Besloten is om slechts de extreme berekeningen voor klei uit te voeren. In alle gevallen zal de berekening ook worden uitgevoerd op WAB om een goede relatieve vergelijking mogelijk te maken.

De berekening zal worden uitgevoerd voor de situaties zoals gegeven in tabel 3.

Tabel 3. Berekeningen met GOLFKLAP voor GAB en WAB

Materiaal	Talud	Hs
klei	1:2	2m
		4m
	1:4	3m
		6m

Afhankelijk van de posities van de 4 punten in de grafiek, kan dan indien nodig een correctie op de ontwerpgrafiek worden toegepast voor GAB.

3.2 Eigenschappen GAB

Op basis van de mengselgegevens in tabel 1 is gekeken of het zinvol is om met PRADO [4] berekeningen uit te voeren op het GAB en het GAB-50% (50% asfaltgranulaat).

Uitwerking van een mengsel met PRADO moet gebeuren op basis van een gradering en standaard bitumen eigenschappen (penetratie, ring en kogel). Omdat er van het mengsel geen gradering kan worden samengesteld in de zin van een werkelijk mengsel ontwerp, zouden voor de uiteindelijke gradering een aantal aannames moeten worden gedaan. Ook blijkt dat bij het uitwerken met PRADO voor hergebruik de eigenschappen van het mengsel van het verouderde bitumen met de nieuwe toegevoegde (zachtere) bitumen moeten worden samengevat. In Nederland gebeurt dat volgens de RAW [8] met de log pen regel. Het gevolg hiervan is, dat het samengestelde bitumen van het GAB-50% exact dezelfde eigenschappen krijgt als het bitumen van het GAB mengsel. Hierdoor kan geen verschil in materiaal gedrag worden gevonden. Ook het gedeeltelijk vervangen van het ronde aggregaat door gebroken aggregaat (mogelijk in PRADO) levert geen verbetering op, omdat dit vooral de holle ruimte beïnvloed bij een mengselontwerp. Indien een bepaalde holle ruimte wordt aangenomen, geeft dat dezelfde mechanische eigenschappen voor beide mengsels.

Omdat met PRADO geen directe verschillen konden worden aangegeven, is besloten om de mechanische eigenschappen van GAB te bepalen op dezelfde manier als gedaan door Montauban [2], maar dan niet met nomogrammen, maar met het computerprogramma BANDS.PC.

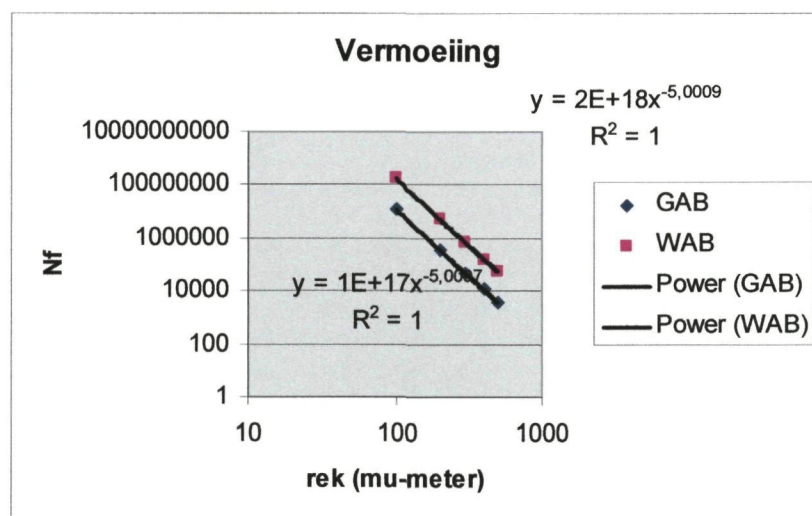
Op deze manier zijn voor het GAB de materiaaleigenschappen bepaald die van belang zijn voor het berekenen van de minersom met het programma GOLFKLAP 1.2 [9]. Deze waarden zijn vergeleken met de resultaten van WAB en vervolgens zijn de waarden voor de GAB aangepast ten opzichte van de aannames voor WAB, zoals gebruikt in het VTV 2004 [1].

De resultaten van de berekeningen met BANDS.PC zijn gegeven in tabel 3.

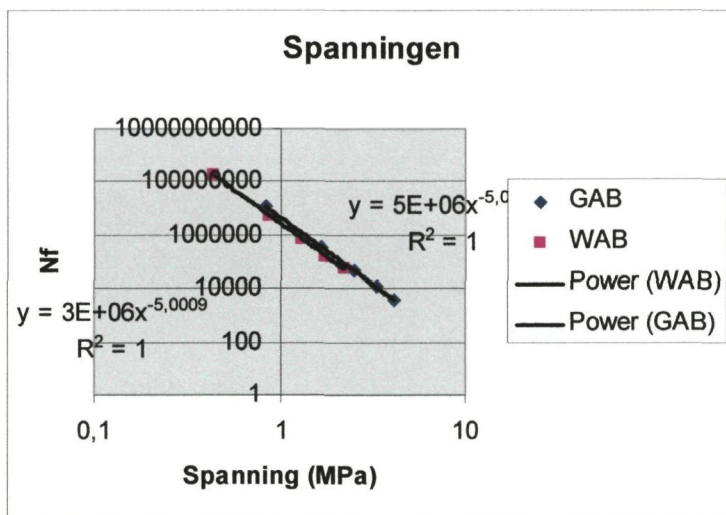
Tabel 3. Resultaten van BANDS.PC berekening op GAB en WAB

		GAB	WAB
Volumetrische Samenstelling	Mineraal	83	82
	Bitumen	10	14
	Holle ruimte	7	4
Bindmiddel eigenschappen	Penetratie (1/10 mm)	45	75
	Verwekingspunt (C)	55	50
	PI	-0,3	-0,2
5 C, 10 Hz	Ebitumen (MPa)	217	121
	Easfalt (MPa)	12700	8770
5 C, 1 Hz	Ebitumen (MPa)	92,2	43,7
	Easfalt (MPa)	8320	4430
5 C, 1 Hz	Vermoeiingslijn omgezet naar N-σ	$N = 5 \cdot 10^6 \cdot \sigma^{-5}$	$N = 3 \cdot 10^6 \cdot \sigma^{-5}$
	Helling lijn log-log	a = 5	a = 5
	Intercept lijn log-log	logk = 6,7	logk = 6,5

De vermoeiingslijnen zijn weergegeven in figuur 2 en 3.



Figuur 2. Vermoeiingslijnen berekend met BANDS.PC volgens de initiële rekmethode.



Figuur 3. Omzetting van de vermoeiingslijnen op basis van initiële rek naar de bijbehorende spanning met gebruikmaking van de berekende stijfheden.

Uit tabel 3 kan worden afgelezen, dat er een shift is in stijfheid (5°C, 10 Hz) tussen GAB en WAB van ongeveer 4000 MPa. Deze shift zal ook worden gebruikt bij het doorrekenen van de minersom.

Uit tabel 3 kan ook worden afgelezen dat de helling van de vermoeiingslijn gelijk is voor GAB en WAB, maar dat logk ongeveer 0,2 verschilt. Dit verschil in logk zal ook worden toegepast bij de berekening van de minersom.

De input voor de berekeningen van de minersom zijn zoals weergegeven in tabel 4. Dus BANDS.PC is alleen gebruikt om de shift te bepalen van GAB ten opzichte van WAB.

Tabel 4. Input gegevens voor het materiaal in GOLFKLAP.

	GAB	WAB
Elasticiteitsmodulus (MPa)	14000	10000
Constante van Poisson (-)	0,35	0,35
logk	5,1	4,9
a	4,2	4,2

Ter ondersteuning van het gebruik van dezelfde vermoeiingskarakteristieken van een GAB met of zonder asfaltgranulaat is in de literatuur nagegaan of hierover informatie bekend is. Op basis van CROW publicatie 179 [3] kan worden gesteld, dat bij 50% granulaat een zelfde niveau wordt gevonden als de bestaande vermoeiingslijn voor GAB mengsels zonder asfaltgranulaat. Om deze reden is geen onderscheid gemaakt tussen het vermoeiingsgedrag van GAB en GAB-50% tijdens een superstorm.

4. RESULTATEN

Voor de berekeningen met GOLFKLAP 1.2 [9] zijn de volgende vaste invoergegevens gebruikt voor de volgende hydraulische parameters:

- ✚ GWS = 0 m
- ✚ Toetspeil = 5,0 m
- ✚ GGA = 0,8 m
- ✚ Tty = 12 uur
- ✚ Δ fase = 0

De resultaten van de berekeningen zijn gegeven in de tabellen 5 en 6 voor GAB en de tabellen 7 en 8 voor WAB.

Tabel 5. GAB: Minersom voor een helling 1:2 bij twee significante golfhoogtes Hs.

Laagdikte (m)	0,18	0,19		0,65	0,68	0,69
Minersom (Hs = 2 m)	1,08	0,93				
Minersom (Hs = 4m)				1,18	1,03	0,98

Tabel 6. GAB: minersom voor een helling 1:4 bij drie significante golfhoogtes Hs

Laagdikte (m)	0,10		0,14	0,15		0,35	0,36
Minersom (Hs = 3 m)	0,59						
Minersom (Hs = 4 m)			1,06	0,92			
Minersom (Hs = 6 m)						1,03	0,98

Tabel 7. WAB: minersom voor een helling 1:2 bij twee significante golfhoogtes Hs.

Laagdikte (m)	0,17	0,18		0,60	0,65	0,66
Minersom (Hs = 2 m)	1,04	0,81				
Minersom (Hs = 4m)				1,30	1,03	0,98

Tabel 8. WAB: Minersom voor een helling van 1:4 bij drie significante golfhoogtes Hs

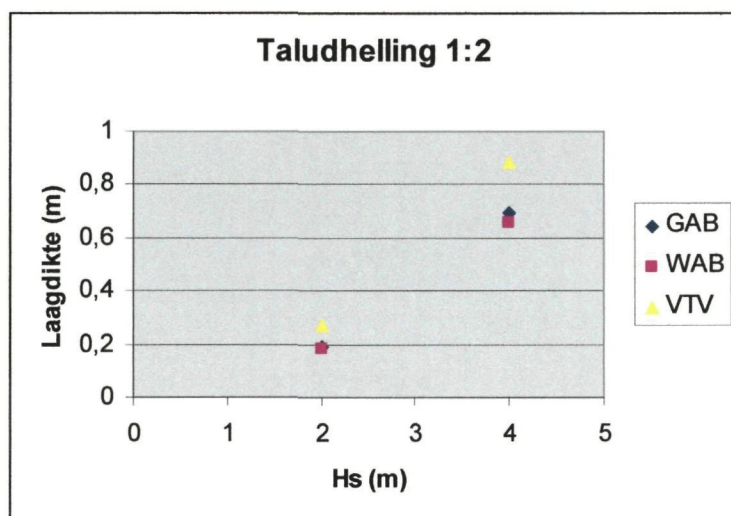
Laagdikte (m)	0,10	0,11		0,28	0,29	0,30
Minersom (Hs = 3 m)	0,42					
Minersom (Hs = 4 m)	1,05	0,95				
Minersom (Hs = 6 m)				1,05	1,01	0,96

Op basis van de resultaten in hoofdstuk 4 kunnen de met GOLFKLAP 2.1 berekende minimale laagdiktes waarvoor geldt dat de Minersom < 1 vergeleken worden met waarden die moeten worden afgelezen uit de grafiek. Het resultaat is in tabel 9 samengevat. Op basis van de getallen in tabel 9 kan worden geconcludeerd, dat er een aanzienlijk verschil is tussen de beschikbare laagdikte volgens GOLFKLAP 2.1 berekeningen en de afgelezen laagdiktes van figuur 8-37 uit [1].

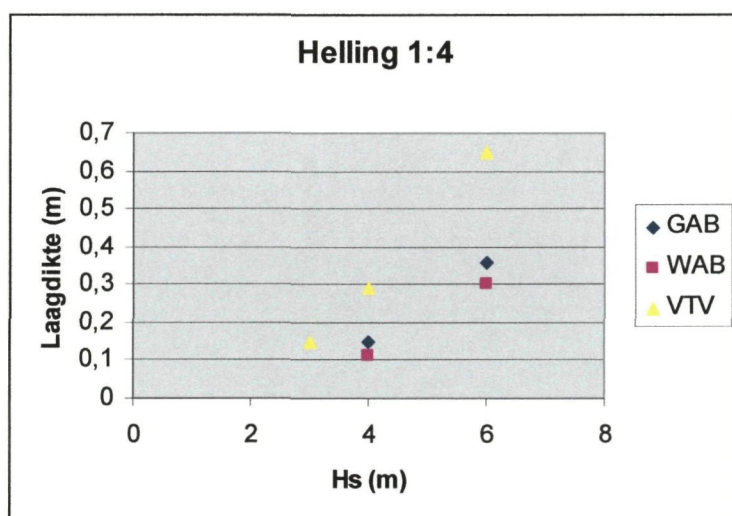
Tabel 9. Vergelijking benodigde asfaltdiktes op kleigrond.

	Taludhelling 1:2			Taludhelling 1:4		
	Hs = 2 m	Hs = 4 m		Hs = 3 m	Hs = 4 m	Hs = 6 m
GAB	$\geq 0,19$	$\geq 0,69$		$< 0,10$	$\geq 0,15$	$\geq 0,36$
WAB	$\geq 0,18$	$\geq 0,66$		$< 0,10$	$\geq 0,11$	$\geq 0,30$
Figuur 8-37	$\geq 0,27$	$\geq 0,88$		$\geq 0,15$	$\geq 0,29$	$\geq 0,65$

In figuur 4 en 5 zijn de resultaten van tabel 9 grafisch weergegeven voor respectievelijk de helling 1:2 en 1:4.



Figuur 4. Vergelijking laagdiktes voor een helling 1:2 (klei ondergrond)



Figuur 5. Vergelijking laagdiktes voor een helling 1:4 (klei ondergrond).

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit de literatuur blijkt dat de stijfheid en het vermoeiingsgedrag van GAB met of zonder 50% asfaltgranulaat geen wezenlijk verschil geeft. Om deze reden is aangenomen dat de vergelijking op basis van BANDS.PC kan worden gebruikt voor een relatieve vergelijking van het vermoeiingsgedrag van de beide GAB mengsels met WAB.

Uit de berekeningen die voor WAB en GAB zijn uitgevoerd met GOLFKLAP 2.1 kan worden geconcludeerd dat voor GAB een marginaal grotere laagdikte (variërend van 0,01 m bij geringe laagdiktes tot 0,06 m bij grote laagdiktes) nodig is dan voor WAB.

Vergelijking van de vereiste laagdiktes volgens GOLFKLAP 2.1 met de grafiek volgens het VTV 2004 geeft aan dat voor WAB en GAB aanzienlijk geringere laagdiktes nodig zijn dan op basis van de grafiek wordt aangegeven. Het betreft een factor 1,4 tot zelfs een factor 2 afname in benodigde laagdikte. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het oude golfklapmodel met een aantal parameters op een andere manier wordt gerekend en dat voor de berekeningen dezelfde hydraulische voorwaardes zijn gebruikt.

Het gebruik van figuur 8 – 37 voor het ontwerp van de benodigde laagdikte van GAB met asfaltgranulaat zal ruim voldoende veiligheid bieden tegen de superstorm voor wat betreft het vermoeiingscriterium. Er is zeker geen laagdikte correctie nodig naar boven, eerder naar beneden.

Hierbij wordt wel sterk aanbevolen om het GAB goed te verdichten (gerekend is met 7% holle ruimte, maar beter is een lagere holle ruimte) en onmiddellijk na aanleg het oppervlak met een oppervlakbehandeling af te sluiten. Opgemerkt wordt in deze studie is uitgegaan van een GAB die typisch wordt toegepast in de wegenbouw (4.5 % bitumen op).

Het gebruik van PRADO heeft vooralsnog geen meerwaarde opgeleverd voor dit onderzoek.

Aanbevolen wordt om na te gaan of de grafieken van het VTV 2004 niet kunnen worden aangepast op basis van berekeningen met GOLFKLAP 2.1. Hiermee lijkt meestal een aanzienlijke reductie in laagdikte te kunnen worden gerealiseerd. Ook bij toetsing kan dit tot grote verschillen leiden.

Tot slot moet worden gerealiseerd dat de GAB wordt toegepast op een berm. Uit de berekeningen met GOLFKLAP 1,2 blijkt dat voor de kritieke plek op het talud voor GAB ongeveer 10% meer laagdikte nodig is dan voor WAB. Ook blijkt dat de laagdikte voor WAB (en GAB) aanzienlijk lager kan worden genomen dan volgens figuur 8-37 van het VTV. De volgende oplossingsrichtingen zijn nu mogelijk.

✚ Oplossing 1: gebruik de oude ontwerpgrafieken, maar deze zijn erg conservatief en gelden waarschijnlijk niet voor de berm. Dus GAB niet dikker uitvoeren dan WAB volgens figuur 8-37 van het VTV.

✚ Oplossing 2: bereken met GOLFKLAP 1.2 en de eigenschappen van het GAB ter plekke van de berm de benodigde laagdikte. Dit zal de optimale laagdikte geven.

REFERENTIES

- [1]. De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006 (VTV). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, januari 2004.
- [2]. Toetsen van de werkweg op Terschelling. C.C. Montauban, DWW 29 april 2004.
- [3]. Warm hergebruik van asfalt. Stand van zaken 2002. CROW publicatie 179, april 2003.
- [4]. PRADO Win 1.0. OCW, België, januari 2003.
- [5]. Notitie Grafieken laagdikte. A. de Loof, NPC (Alo/ivi/p998331), 16 november 2000.
- [6]. Notitie controle ontwerpgrafieken asfaltbekledingen. Ing. A.K. de Looff, NPC (Alo/ivi/p028214), 24 juni 2002.
- [7]. Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren. TAW, november 2002.
- [8]. Standaard RAW Bepalingen. CROW, 2005
- [9]. Gebruikershandleiding GOLFKLAP 1.2. KOAC-NPC (rapport e038390), 7 december 2004.

