

Faculteit Industriële
Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

"Drainaspave": prestatiebepaling voor een waterdoorlatende asfaltstructuur

Jonathan Mike Weckx

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

BEGELEIDER :

ing. Tine TANGHE

ir. Margo BRIESSINCK

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen | Agoralaan Gebouw H - Gebouw B | BE 3590 Diepenbeek

Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE 3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE 3500 Hasselt



2024
2025

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen:
bouwkunde

Masterthesis

"Drainaspave": prestatiebepaling voor een waterdoorlatende asfaltstructuur

Jonathan Mike Weckx

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

BEGELEIDER :

ing. Tine TANGHE

ir. Margo BRIESSINCK



KU LEUVEN

Woord vooraf

Het schrijven van deze masterproef was een uitdagend maar ook leerzaam proces. Hierbij heb ik niet alleen mijn academische vaardigheden kunnen bijschaven. Het combineren van deze masterproef met een voltijdse job heeft voor een aantal uitdagingen gezorgd die niet opgelost konden worden zonder ondersteuning van een aantal mensen en organisaties.

Allereerst wil ik Prof. dr. ir. Ali Pirdavani bedanken voor de interne ondersteuning vanuit de opleiding. Het nazicht van en feedback op mijn masterproef is zeer nuttig geweest tijdens het proces van de masterproef.

Daarnaast wil ik ing. Tine Tanghe bedanken voor de begeleiding als externe promotor bij het OCW. Haar inbreng en ondersteuning was onmisbaar voor de vooruitgang van deze proef. Samen met Anne Fondu, Erik Kestens en Peter Vanelven hebben zij het mogelijk gemaakt dit onderzoek uit te voeren. Van technische ondersteuning tot begeleiding bij het uitvoeren van proeven, zonder hun inbreng was deze masterproef niet gelukt.

Verder gaat mijn dank uit naar ir. Margo Briessinck en ing. Dieter Seghers voor hun inbrenging als externe promotor bij AWW. Zonder hen was het onderwerp van deze masterproef niet geopperd. Ook Bjorn Berthels en Lotfi Azouhri hun ondersteuning binnen het labo van AWW was cruciaal om de proeven uit te voeren specifiek voor onderlagen.

Als laatste gaat mijn dank uit naar de familie en vrienden wiens ondersteuning onmisbaar was. Van het nalezen van de scriptie tot klankbord zijn om de vooruitgang te bespreken.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Verklarende woordenlijst en afkortingen	9
Abstract.....	11
Abstract in English.....	13
1. Introductie	15
1.1. Situering van het onderzoek	15
1.2. Bestaand normeringskader voor waterdoorlatende asfaltverhardingen.....	16
2. Methodologie	17
2.1. Opsplitsing tussen onderlagen en toplagen	17
2.2. Proevenprogramma voor bitumineuze toplagen in ZOA-C	19
2.3. Proevenprogramma voor bitumineuze onderlagen in ZOA-B.....	22
3. Beschrijving van de verschillende proeven.....	25
3.1. Gyratorproef volgens EN 12697-35.....	25
3.2. Cantabro proef volgens EN 12697- 17	27
3.3. Permeabiliteitsproef volgens EN 12697-19.....	29
3.4. Rafelingsproef volgens CEN TS 12697-50	30
3.5. Stijfheid en vermoeiingsproef volgens EN 12697- 24 en -26.....	31
4. Resultaten van proeven uitgevoerd op bitumineuze toplagen.....	33
4.1. Gyratorproef.....	33
4.2. Rafelingsproef	34
4.3. Cantabroproef.....	40
4.4. Waterdoorlatendheid/permeabiliteit.....	42
4.5. Beperkingen en opmerkingen bij proeven uitgevoerd op toplagen.....	44
5. Resultaten van proeven uitgevoerd op bitumineuze onderlagen	45
5.1. Gyratorproef.....	45
5.2. Cantabroproef.....	46
5.3. Stijfheid en vermoeiingsproeven	47
5.4. Waterdoorlatendheid/permeabiliteit.....	50
5.5. Beperkingen bij proeven uitgevoerd op onderlagen	52

6.	Conclusie	53
6.1.	Conclusie voor toplagen	53
6.2.	Conclusie voor onderlagen.....	54
6.3.	Toekomstige onderzoeksmogelijkheden	55
7.	Referenties	56
8.	Appendices.....	58
8.1.	Appendix A: Voorafgaande voorstellen gesteld binnen “DRAINASPAVE”	58

Lijst van tabellen

Tabel 1: Waardes voorgesteld in SB250 v5 voor toplagen in ZOA.....	19
Tabel 2: Samenstelling van mengsels voor toplagen	21
Tabel 3: Eisen voorgesteld in SB250 v5 voor onderlagen in ZOA-B.....	22
Tabel 4: Originele mengselsamenstellingen voor onderlagen ZOA-C	23
Tabel 5: Samenstellingen varianten 5 en 6 voor onderlagen ZOA-C	23
Tabel 6: Resultaten gyrator ZOA-C	33
Tabel 7: Resultaten rafelingsproef voor 6 varianten.....	35
Tabel 8: Opmetingstabel proefstukken rafeling van variant 1	36
Tabel 9: Resultaten rafelingsproef voor 6 varianten met aanpassing variant 1	36
Tabel 10: Resultaten Cantabroproef toplagen.....	40
Tabel 11: Detail waardes Cantabro variant 1	41
Tabel 12: Waterdoorlatendheid resultaten toplagen	42
Tabel 13: Resultaten gyrator onderlaag varianten 1 tot 4 gyrator.....	45
Tabel 14: Resultaten gyrator onderlaag variant 5 met controle OCW varianten 5 en 6 ..	45
Tabel 15: Resultaten Cantabro onderlagen	46
Tabel 16: Resultaten stijfheidstest onderlaag varianten 5 en 6	47
Tabel 17: Resultaten vermoeiingsproef onderlaag varianten 5 en 6	47
Tabel 18: Resultaten permeabiliteit onderlagen	50

Lijst van figuren

Figuur 1: SB250 paragraaf 3.11.6 eisen PMB's	20
Figuur 2: a) Servopac Gyrator toestel b) Proefstukken gemaakt met gyrator	25
Figuur 3: Abrasion drum gebruikt voor Cantabro proef	27
Figuur 4: Proefstuk voor Cantabro proef, voor en na het uitvoeren van de proef	27
Figuur 5: proefopstelling voor verticale permeabiliteit en voorbeeld proefstukken	29
Figuur 6: DSD rafelingstester	30
Figuur 7: Voorbeeld proefstuk rafelingsplaat, voor en na het uitvoeren van de rafelingsproef met DSD rafelingstester	30
Figuur 8: Figure A.5 uit EN 12967-24 bevestigingsmethode voor trapezoides bij vermoeiingsproef	31
Figuur 9: Historische resultaten voor rafelingsweerstand OCW	34
Figuur 10: Massaverlies na 50 cycli in functie van de holle ruimte.....	35
Figuur 11: Gemiddeld massaverlies na 50 cycli in functie van de holle ruimte met aanpassing variant 1	36
Figuur 12: Variant 1 tot 3 verloop van rafelingsproef.....	37
Figuur 13: Variant 4 tot 6 verloop van rafelingsproef.....	38
Figuur 14: Resultaten Cantabroproef voor toplagen	40
Figuur 15: Waterdoorlatendheid ifv holle ruimte onderlagen	42
Figuur 16: Vermoeiingscurve onderlaag variant 5 met PMB 45-80/50	48
Figuur 17: Vermoeiingscurve onderlaag variant 6 met B50/70	48
Figuur 18: Waterdoorlatendheid onderlagen ifv holle ruimte	50
Figuur 19: Overzicht permeabiliteit	51

Verklarende woordenlijst en afkortingen

WOORD/AFKORTING	BETEKENIS
AWV	Agentschap Wegen en Verkeer
DSD	Darmstadt scuffing device
HR%	Percentage holle ruimte aanwezig in proefstuk of mengsel
OCW	Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
PMB	Polymeer gemodificeerde bitumen
SPW	Service public de Wallonie

Abstract

Het gebruik van waterdoorlatende wegstructuren wordt steeds meer de norm in België. Het meest gebruikte mengsel voor waterdoorlatende asfaltverhardingen is Zeer Open Asfalt (ZOA). Er zijn echter nog veel kenmerken van ZOA-mengsels die verder onderzoek vereisen.

Het doel van deze masterproef is om parameters van ZOA mengsels te onderzoeken en valideren zodanig dat deze voldoen aan de oude en nieuwe eisen gesteld in het standaardbestek SB250. Deze studie sluit aan bij een groter onderzoek van het OCW “DRAINASPAVE”, een recent lopend project naar waterdoorlatende asfaltstructuren.

Als onderzoeksmethodologie zijn de ZOA mengsels opgesplitst in twee categorieën. De onder- en toplagen zijn apart onderzocht. De holle ruimte, permeabiliteit en massaverlies bij impact zijn bepaald voor alle lagen. Voor elke categorie is er een bijkomende proef gebeurd, rafelingsweerstand voor toplagen en stijfheid en vermoeiingsproef voor de onderlagen.

Gebaseerd op de testresultaten kan gesteld worden dat de beste resultaten voor toplagen bekomen zijn met holle ruimtes tussen 18 en 20% met 75/130-75 als bindmiddel voor rafeling en massaverlies bij impact. Voor de verticale permeabiliteit zijn er geen problemen vastgesteld indien de holle ruimte meer dan 20% is. Bij onderlagen zijn de verschillen tussen B50/70 en PMB 45/80-50 niet significant voor stijfheid en vermoeiingsproeven. De permeabiliteit van deze lagen voldoen aan de gestelde norm indien er een holle ruimte van meer dan 18% is aangehouden.

Abstract in English

The use of permeable road structures is becoming increasingly commonplace in Belgium. A lot of research still needs to be performed to make these structures applicable to the entire Belgian road network. Asphalt pavement can be made permeable with the use of porous asphalt mixtures (PA). Certain parameters of the PA-mixtures are yet to be fully determined.

The research goal of this master's thesis is to determine parameters of PA-mixtures so that they comply with old and new road construction guidelines in Flanders. This study is part of a larger research project performed at BRRC called "DRAINASPAVE", a recent research project into permeable asphalt pavements.

For this research the PA-mixtures are split into two categories. The upper- and lower layers are researched separately. The air void percentage, permeability and mass loss by impact are determined for all mixtures. For each category an additional test was performed: the scuffing resistance for the top layers and stiffness and fatigue test for the base layers.

Based on the test results for the top layers it can be concluded that the best values for scuffing and mass loss by impact are achieved with an air void percentage between 18% and 20%. The vertical permeability is guaranteed if at least a value of 20% is achieved. For the base layers the difference between B50/70 and PMB 45/80-50 is insignificant for both stiffness and fatigue tests. The permeability of the base layer is guaranteed if at least 18% of air voids is present.

1. Introductie

1.1. Situering van het onderzoek

Binnen België is er een toename vastgesteld van de hoeveelheid zware regenval doorheen de jaren [1]. Deze toename zorgt voor grote hoeveelheden water die op korte termijn op het land neervallen en daar infiltreren of afstromen. Voor verharde terreinen zoals wegen, parkings,... is infiltreren vaak moeilijker met huidige technieken dan afstromen. Het afstromen van het regenwater zorgt dat rioleringen en grachten vollopen en mogelijks problemen met de capaciteit van deze afvoeren opwekt.

Om voor dit probleem een oplossing mogelijk te maken is er een noodzaak aan geschikte en bruikbare oplossingsmogelijkheden. Voor onverharde terreinen kunnen dit bijvoorbeeld wadis of opvangbekkens zijn. Hiernaast kan het ontharden van terreinen of onverharde delen bij het ontwerp een oplossing bieden. Voor veel situaties is dit echter niet mogelijk. Voor wegen of industrieterreinen zijn er wegnisstructuren nodig die geschikt zijn om de belasting op te nemen die het verkeer opwekt.

De bestaande oplossing voor dit probleem is het uitvoeren van de verhardingen in drainerende structuren. Dit zijn structuren die het water tijdelijk kunnen opslaan en dan afvoeren doorheen de structuur. Om dit mogelijk te maken met asfalt verhardingen zijn er open asfaltlagen nodig. In 2020 waren er twee aannemers die binnen België dergelijke verhardingen aanboden en hiermee een aantal proefprojecten opgestart hadden. Voor de opdrachtgevers was er echter te weinig informatie om deze verhardingen meer te kunnen voorschrijven.

Om dit probleem aan te pakken is het OCW in 2021 samen met AWW en SPW begonnen aan een onderzoek getiteld "DRAINASPAVE". Deze scriptie maakt deel uit van dit lopende onderzoek. Het doel van "DRAINASPAVE" is tweeledig. Enerzijds, het aanbieden van voorschriften voor gebruik bij de voorstudie van asfalt mengsels. Bij deze voorstudie bepaald de aannemer de kenmerken van het asfaltmengsel die hij wenst te gebruiken en zorgt dat dit mengsel voldoet aan de voorschriften om dit te mogen produceren voor gebruik bij wegniswerken. Anderzijds de controle van aangelegde verhardingen. Hierbij worden er in-situ proeven gedaan voor de controle van prestaties van bestaande verhardingen. Bovendien worden er proefprojecten aangelegd om de opvolging van de levensduur en de prestaties mogelijk te maken

Drainerende verhardingen bestaan uit meer dan enkel de asfaltlagen. De funderingen en onderfunderingen zijn eveneens van belang voor de waterdoorlatendheid van een structuur. Dit ligt echter buiten het kader van deze scriptie [2].

1.2. Bestaand normeringskader voor waterdoorlatende asfaltverhardingen

Voor het bepalen van voorschriften voor poreuze asfaltmengsels is de Europese productstandaard EN13108-7 “Bituminous Mixtures-Material specifications – Part 7: Porous Asphalt” [3] van toepassing. De bekomen voorschriften moeten dus voldoen aan deze standaard. Gedurende het voorgaande onderzoek zijn er keuzes uit deze productstandaard gebruikt om zowel de prestatiekenmerken als de eisen te kunnen bepalen.

“Zeer Open Asfalt” (ZOA) is een van de Belgische classificaties die in gebruik zijn om asfaltmengsels te onderscheiden. Volgens het SB250 V4 hoofdstuk 6 is ZOA gedefinieerd als “zeer open asfalt met steenskelet” [4]. Deze beschrijving indiceert de dragende structuur van het mengsel. Een steenskelet indiceert een mengsel waarin de krachtenstructuur voornamelijk via de granulaten van het mengsel overgedragen worden. De andere opties hiervoor zijn een zandskelet en mastiekskelet.

In het SB250 [4] staan er heel wat eisen beschreven waaraan een ZOA-mengsel moet voldoen. Deze eisen, in overeenstemming met de eerdere bevindingen van “DRAINASPAVE” [2], zijn onder andere gebruikt om een nieuwe versie van het SB250 op te stellen. In het SB250 v5 zullen er een aantal wijzigingen opgenomen worden waaraan voldaan moet zijn. De aannemers moeten aan deze wijzigingen voldoen om de goedkeuring van asfaltmengsels te bekomen. De validatie van de gekozen parameters en de bepalingen hoe eraan voldaan moet worden is echter noodzakelijk. Voornamelijk naar levensduur en rafelingsweerstand van de asfaltmengsels zijn er nog beperkingen in het aantal proeven die uitgevoerd zijn.

De reden om de nadruk te leggen op levensduur van de waterdoorlatende asfaltlagen, kan teruggebracht worden op de eigenschappen van de lagen. Om het mogelijk te maken dat water doorheen de verharding kan bewegen, zijn er hoge percentages aan holle ruimte noodzakelijk in de asfaltlagen. Bijvoorbeeld voor ZOA-mengsels gebruikt in SB 250 v4 als toplagen is de toegelaten holle ruimte vastgelegd tussen 18 en 28%. Bij deze mengsels zijn de meest geobserveerde schadeprofielen rafeling en massaverlies. Beide schadeprofielen worden hoofdzakelijk veroorzaakt door verkeersbelasting en water [2], [4].

Om de prestatiekenmerken van mengsels te bepalen tegen rafeling en massaverlies bij waterdoorlatende asfaltverhardingen zijn er twee proeven die veelvuldig gebruikt worden. Enerzijds de rafelingsproef volgens (CEN TS 16967-50) voor het bepalen van rafelingsweerstand. Anderzijds de Cantabroproef (EN 12697-17) voor het bepalen van het massaverlies [5], [6].

2. Methodologie

2.1. Opsplitsing tussen onderlagen en toplagen

Asfalt gebruikt in wegenis bestaat typisch uit 2 verschillende mengsels. Een top laag en een of meerdere onderlagen. Voor beide lagen worden er verschillende samenstellingen gebruikt. Volgens [2] kan voor de toplagen best ZOA-C gebruikt worden en voor de onderlagen ZOA-B. De classificering C of B verwijst naar de grootste korrelmaat aanwezig in de granulaten van het mengsel, voor type C is dit 10 mm en voor type B is dit 14 mm respectievelijk. Om hieraan te voldoen, is een opsplitsing tussen top- en onderlagen noodzakelijk.

De aanwezige belastingen verschillen tussen top- en onderlagen waardoor het uitvoeren van rafelingsproeven niet relevant is voor onderlagen. Wel relevant voor onderlagen is de bepaling van de vermoeiing en stijfheid van het mengsel dit door een tweepuntsbuigtest volgens EN12697-24 en EN12697-26.

Voor de toplagen is het doel om verschillende mengsels te creëren telkens met lichte aanpassingen naar granulaatverhoudingen en gebruikte bindmiddel. Dit om een vergelijking tussen de verschillende mengsels te kunnen maken om hieruit conclusies te trekken. In hoofdstuk 2.2 op pagina 21 zijn de exacte samenstellingen van deze mengsels genoteerd.

Voor onderlagen is het doel identiek, hierbij zijn er minder varianten ontworpen voor gebruik. De reden om hier minder mengsels voor te ontwerpen is hoofdzakelijk door de minder strenge prestatie-eisen die gesteld worden voor onderlagen in vergelijking met toplagen. Dit zorgt dat er meer vrijheid is voor de aannemer om mengsels te creëren die voldoen aan de gestelde eisen van de aanbestedende instelling. Ook zijn er andere granulaten die gebruikt worden voor onderlagen wat resulteerde in een beperking van de beschikbaarheid van de correcte granulaten bij de laboratoria waar de proeven uitgevoerd zijn. Voor deze mengsels zijn in hoofdstuk 2.3 op pagina 23 de samenstellingen genoteerd.

2.2. Proevenprogramma voor bitumineuze toplagen in ZOA-C

2.2.1. Voorgestelde eisen voor toplagen in “DRAINASPAVE” en SB 250 v5

Gedurende het voorgaande onderzoek binnen “DRAINASPAVE” is de tabel in Appendix A bekomen als voorstel voor de verschillende waarden aan prestatie-eisen [2]. Gedurende de besprekingen voor het opmaken van het SB250 zijn hier nog een aantal wijzigingen doorgevoerd die verder onderzoek vereisen. De doorgevoerde wijzigingen zijn gebaseerd op de besprekingen van de werkgroep rond hoofdstuk 6 van het SB250 v5. Binnen deze werkgroep zitten verschillende belanghebbende samen voor de normen en eisen af te spreken die binnen de wegenbouwsector zullen gehanteerd worden. De afwijkingen ten opzichte van de voorgestelde waardes en de implicaties hiervan vereisen bijkomend onderzoek [3].

De relevante wijzigingen voor toplagen zijn zichtbaar in onderstaande tabel 1. Deze tabel is een samenvatting van de wijzigingen, in [3] zijn er andere wijzigingen doorgevoerd maar deze zijn niet relevant voor dit onderzoek.

Tabel 1: Waardes voorgesteld in SB250 v5 voor toplagen in ZOA [3]

Wijzigingen voorgesteld SB250 v5 voor toplagen	
Holle ruimte HR%	18-25%
Cantabro (maximaal massaverlies,%)	≤ 20%
Rafelingsweerstand, max (g/m ² , @ 2000N, 25°, 50 cycli)	≤ 2000 g/m ²
Permeabiliteit	≤ 0.3 * 10 ⁻³ m/s

2.2.2. Mengselsamenstellingen voor bitumineuze toplagen

Zes mengsels werden ontworpen voor gebruik binnen dit onderzoek naar toplagen. De mengsels hierbij zijn opgesteld om zo vergelijkbaar mogelijk te zijn door gebruik van dezelfde granulaten en het beperken van de variaties tussen de mengselsamenstellingen onderling. Binnen de zes mengsels zijn er twee granulaat samenstellingen voor ZOA-C waarbij de holle ruimte verschillend is met als richtwaardes 18 HR% en 20 HR%. Voor het gebruikte bindmiddel zijn er drie varianten toegepast. De varianten voor ZOA-C hierbij zijn respectievelijk 45/80-50, 45/80-65 en 75/130-75 polymeer gemodificeerde bitumen (PMB). De verschillende PMB's voldoen aan de eisen gesteld in paragraaf 3.11.6 van het SB250 zoals in onderstaande Figuur 1 weergegeven.

11.6 Polymeerbitumen

Koolwaterstofproducten aangeduid met de term polymeerbitumen zijn koolwaterstofproducten bestaande uit bitumen, innig gemengd met een nieuw elastomeer. Voor gietasfalt, of indien expliciet aangegeven in de opdrachtdocumenten, mag een nieuw plastomeer gebruikt worden. Ze worden warm verwerkt.

Op de technische fiche dient verplicht de optimale mengtemperatuur vermeld te worden.

Tabel 3-11-13 en 3-11-14 leggen de keuzes vast voor de norm NBN EN 14023, waaraan polymeerbitumen moeten voldoen. Daarnaast voldoen ze ook aan de voorschriften van PTV 855.

Kenmerken	Eenheden	Nieuw-polymeerbitumen		
		45/80-50	45/80-65	75/130-75
Indringing 5 s	0,1 mm	45 tot 80	45 tot 80	75 tot 130
Verwekingspunt R&K	°C	min. 50	min. 65	min. 75
Breekpunt van Fraass	°C	max. -10	max. -12	max. -15
Elastische terugvering 25 °C volgens NBN EN 13398	%	min. 60	min. 80	min. 80
Vlampunt	°C	min. 235	min. 235	min. 235

Tabel 3-11-13 eisen waaraan nieuw polymeerbitumen moet voldoen

Kenmerken		Eenheden	Nieuw-polymeerbitumen		
			45/80-50	45/80-65	75/130-75
Weerstand tegen verharding (na RTFOT)	resterende indringing	%	≥ 60	≥ 55	≥ 50
	toename verwekingspunt R&K	°C	≤ 12	≤ 12	≤ 12
	afname verwekingspunt R&K	°C	TBR	TBR	TBR
	massaverandering	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8
	elastische terugvering 25 °C	%	TBR	TBR	TBR
DSR (bij 52 °C; 1,6 Hz en 15 °C; 10 Hz)	G*	kPa	TBR	TBR	TBR
	δ	°	TBR	TBR	TBR
Trekeigenschappen d.m.v. kracht-ductiliteit-methode bij 5 °C		J/cm ²	≥ 2	≥ 2	≥ 2
BBR	hoogste kritische temperatuur	°C	TBR	TBR	TBR
Dynamische viscositeit bij 135, 150, 165 en 180 °C		mPa.s	TBR	TBR	TBR

Tabel 3-11-14 mee te delen waarden door de producent

De “hoogste kritische temperatuur” voor de BBR-proef is de hoogste temperatuur van de volgende:

- temperatuur waarbij de stijfheid S na 60 s = 300 MPa;
- temperatuur waarbij de helling “m” na 60 s (stijfheidscurve versus tijd) = 0,3.

Om PMB's te produceren die voldoen aan de eisen van bovenstaande paragraaf worden er verschillende polymeren toegevoegd aan het bitumen. De prestatie-eisen vereisen zwaardere modificaties van het bitumen in een PMB 75/130-75 ten opzichte van de andere PMB's.

Als ontwerpprogramma is er gebruik gemaakt van PradoWeb, een softwareprogramma ontwikkeld door het OCW voor het theoretisch (volumetrisch) mengselontwerp van asfaltmengsels [4]. In Tabel 2 staan de samenstellingen van de verschillende mengsels uitgedrukt in massa%. De massa% zijn meer dan 100% omdat additieven zoals vezels en de bitumen weergegeven worden op 100% van de aggregaat samenstelling.

Tabel 2: Samenstelling van mengsels voor toplagen

Mengsel variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
Porfier 6,3/10	83,00%	83,00%	83,00%	78,20%	78,20%	78,20%
Porfier 2/4				4,50%	4,50%	4,50%
Porfierzand 0/2	11,20%	11,20%	11,20%	11,50%	11,50%	11,50%
Vulstof type IIA	5,80%	5,80%	5,80%	5,80%	5,80%	5,80%
PMB 45/80-50		4,50%			4,50%	
PMB 45/80-65	4,50%			4,50%		
PMB 75/130-75			4,50%			4,50%
Cellulose vezel	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%

Zoals blijkt uit bovenstaande Tabel 2 zijn de granulaat samenstellingen identiek voor de varianten 1 tot 3 en 4 tot 6. De enige variabele die verandert tussen deze mengsels onderling is het gebruikte bitumen als bindmiddel.

2.2.3. Proevenprogramma voor bitumineuze toplagen

Op elk van de zes varianten zijn er een aantal proeven uitgevoerd om de prestatiekenmerken en de eigenschappen van de varianten te kunnen bepalen. Als eerste werd er een gyrator verdichting uitgevoerd volgens EN 12697-31 voor de bepaling van de holle ruimte binnen de mengsels. Vervolgens is er rafelingstest uitgevoerd volgens CEN TS 12697-50 om de rafelingsweerstand te bepalen. Nadien is er een Cantabroproef uitgevoerd volgens EN 12697-17 om het massaverlies te controleren. Als laatste is er een waterdoorlatendheidsproef volgens EN 12697-19 op de mengsels uitgevoerd om de permeabiliteit van de mengsels te controleren.

Door de bovenstaande proeven uit te voeren kunnen alle wijzigingen voorgesteld in [3] gecontroleerd worden en kan onderzocht worden wat de impact hiervan is op de prestaties van de asfaltmengsels.

2.3. Proevenprogramma voor bitumineuze onderlagen in ZOA-B

2.3.1. Voorgestelde eisen voor onderlagen in “DRAINASPAVE” en SB 250 v5

Gelijkaardig aan de toplagen, zijn er bij het voorgaande onderzoek binnen DRAINASPAVE, een tabel in Bijlage A met aanbevelingen voor richtwaardes opgesteld [2]. Bij besprekingen voor het opstellen van de nieuwe versie v5 van het SB250, zijn er deels hierop gebaseerd een aantal eisen gesteld. In het algemeen zijn de eisen gelijkaardig als deze voor de toplagen.

De functie voor een onderlaag is verschillend van deze van toplagen. Dit zorgt ervoor dat er bepaalde parameters die beproefd moeten worden voor toplagen niet van toepassing zijn voor onderlagen. In het kader van dit onderzoek is dit de rafelingsweerstand van de mengsels. Op de mengsels voor onderlagen werd dus geen rafelingsproef uitgevoerd. Een eis die wel gesteld is aan onderlagen is de stijfheid en vermoeiing. In Tabel 3 is een overzicht van de gestelde eisen aan onderlagen weergegeven.

Tabel 3: Eisen voorgesteld in SB250 v5 voor onderlagen in ZOA-B [3]

Eisen gesteld in SB250 v5 voor onderlagen	
Holle ruimte HR%	18-28%
Cantabro (maximaal massaverlies,%)	/
Stijfheid (MPa, 15°C, 10 Hz)	≥ 4500 MPA
Vermoeiing (ε6, min)	≥ 70
Permeabiliteit	≤ 0.3 * 10 ⁻³ m/s

2.3.2. Mengselsamenstellingen voor bitumineuze toplagen

Vier mengsels werden origineel ontworpen voor gebruik als onderlagen binnen dit onderzoek. Hierbij werd dezelfde redenering als voor de toplagen gebruikt namelijk de hoeveelheid variabelen binnen de verschillende varianten beperken. Deze vier varianten bestonden uit twee granulaatsamenstellingen voor ZOA-B en twee verschillende bitumentypes. De gebruikte bitumen hierbij zijn respectievelijk een niet gemodificeerde 50/70 en een gemodificeerde 45/80-50. Dit zijn de meest gebruikelijke types bitumen voor het ontwerp van ZOA-B onderlagen. Voor de granulaten is er gebruik gemaakt van kalksteengranulaten.

Als ontwerpprogramma is er wederom gebruik gemaakt van PradoWeb, een softwareprogramma ontwikkeld door het OCW voor het theoretische (volumetrische) mengselontwerp van asfaltmengsels [4]. In onderstaande Tabel 4 staan de

samenstellingen van de verschillende mengsels uitgedrukt in massa%. De massa% zijn meer dan 100% omdat additieven zoals vezels en de bitumen weergegeven worden op 100% van de aggregaat samenstelling.

Tabel 4: Originele mengselsamenstellingen voor onderlagen ZOA-C

Mengsel variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Kalksteen 10/14	51,0%	51,0%	46,0%	46,0%
Kalksteen 6.3/10	24,0%	24,0%	29,0%	29,0%
Kalksteen 2/6.3	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
Kalksteenzand 0/2	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%
Vulstof Ila (Duras IIA)	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
PMB 45/80-50	4,17%		4,17%	
B50/70		4,17%		4,17%
Cellulose vezel	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%

Op elk van de vier varianten waren er origineel een aantal proeven gepland om de prestatiekenmerken en de eigenschappen van de varianten te kunnen bepalen.

Na het uitvoeren van de gyratorproeven bleken de twee granulaatsamenstellingen niet te voldoen voor de holle ruimte van de mengsels. In hoofdstuk 5.1 Gyratorproef op pagina 45 is de detaillering hiervan weergegeven. De mengsels werden bijgestuurd met een nieuwe granulaatsamenstelling zoals weergegeven in Tabel 5. Vanwege tijdsbeperkingen is het aantal varianten hierbij teruggebracht naar twee. Enkel het type bitumen is als variabele tussen de varianten behouden. De exacte samenstelling van de twee nieuwe varianten zijn terug te vinden in onderstaande tabel.

Tabel 5: Samenstellingen varianten 5 en 6 voor onderlagen ZOA-C

Mengsel variant	Variant 5	Variant 6
Kalksteen 10/14	56,0%	56,0%
Kalksteen 6.3/10	19,0%	19,0%
Kalksteen 2/6.3	7,5%	7,5%
Kalksteenzand 0/2	12,5%	12,5%
Vulstof Ila (Duras IIA)	5,0%	5,0%
PMB 45/80-50	4,17%	
B50/70		4,17%
Cellulose vezel	0,10%	0,10%

2.3.3. Proevenprogramma voor bitumineuze onderlagen

Op de twee opnieuw ontworpen samenstellingen werden er een aantal proeven uitgevoerd. Allereerst werd er een gyratorverdichting uitgevoerd volgens EN 12697-35 voor de bepaling van de holle ruimte binnen de mengsels. Nadien is er een Cantabroproef uitgevoerd volgens EN 12697-17 om het massaverlies te controleren. Als volgende is de stijfheid en vermoeiing volgens EN 12697-24 en EN 12697-26 beproefd. Als laatste is er een waterdoorlatendheidsproef volgens EN 12697-19 op de mengsels uitgevoerd om de permeabiliteit van de mengsels te controleren.

Door de bovenstaande proeven uit te voeren kunnen alle wijzigingen voorgesteld in [3] gecontroleerd worden en kan onderzocht worden wat de impact hiervan is op de prestaties van de asfaltmengsels.

3. Beschrijving van de verschillende proeven

3.1. Gyratorproef volgens EN 12697-35

In [5] staan de uitvoeringsmethode en de specificaties voor de gyratorproef beschreven. Deze proef bestaat uit het verdichten van een gekende afgewogen hoeveelheid asfalt binnen een geijkte mal onder specifieke omstandigheden. Regionaal is de voorgeschreven testprocedure voor ZOA 100 gyraties met een druk van 600N onder een hoek van 82° in een mal van 100 mm diameter voor mengsels met een maximale korreldiameter kleiner dan 16 mm. Alle varianten voor de toplagen hebben een maximale korreldiameter van 10 mm dus deze voldoen aan de beperking aan de korreldiameter. De uiteindelijke afmetingen van de verdichte asfaltkernen is bepaald op een diameter van 100 ± 3 mm en een hoogte van $100 \pm 2,5$ mm. Deze waarden zijn onveranderd tussen de twee granulaatsamenstellingen. Figuren 2 bieden een impressie van de gyratorproef en proefstukken gemaakt in de gyrator.



Figuur 2: a) Servopac Gyrator toestel



b) Proefstukken gemaakt met gyrator

Conform de procedure beschreven in het SB250, worden per variant van de toplaag vier proefstukken aangemaakt waarvan eerst alle vier de proefstukken gebruikt worden voor het gemiddelde te bepalen, waarna de meest afwijkende kern verwijderd wordt en er een nieuw gemiddelde berekend wordt.

Bij de proeven voor de onderlagen is de proefopstelling voor gyrator bijna identiek als deze gebruikt bij de toplagen. Er is een verschil qua het gebruikte type gyrator. Voor de onderlagen is er gebruik gemaakt van een Pine verdichter; voor de toplagen een Servopac gyrator. Tussen deze twee toestellen zijn er verschillen die zorgen voor licht verschillende resultaten. Over het algemeen kan er gesteld worden dat de resultaten van de Pine gyrator lager zijn dan deze bekomen met de Servopac gyrator. Per variant voor de onderlaag werden er drie proefstukken aangemaakt met als richtwaardes voor de holle ruimte rond de 18 en 20% voor de verschillende granulaatsamenstellingen.

3.2. Cantabro proef volgens EN 12697- 17

De Cantabroproef zoals beschreven in [6] kan aangepast worden naargelang de regio waar de proef uitgevoerd is. Voor verdichting zijn er twee opties die gebruikelijk zijn. Enerzijds is er de verdichting met een Marshalltoestel voor 2x50 slagen. Anderzijds is er de verdichting met gyrator op 40 gyraties. Na verdichting en conditionering op 18°C, zal het proefstuk in een Los Angeles abrasion drum geplaatst worden voor een bepaald aantal omwentelingen aan een gecontroleerd aantal toeren per minuut. Volgens de Vlaamse normeringen is dit 300 rotaties aan 30-33 toeren per minuut. Na het uitvoeren van de rotaties wordt het massaverlies gemeten van de proefstukken. Per variant worden er zes proefstukken aangemaakt. Het bekomen percentage massaverlies is een van de eisen die zoals in Tabel 1 weergegeven, beproefd moet worden [7], [3].

Onderstaande figuren 10 en 11 bieden een beeld van een Los Angeles abrasion drum en een Cantabro proefstuk voor en na het uitvoeren van de proef.



Figuur 3: Abrasion drum gebruikt voor Cantabro proef



Figuur 4: Proefstuk voor Cantabro proef, voor en na het uitvoeren van de proef

Belangrijke opmerking voor de proevenreeks is een wijziging van de voorgeschreven uitvoeringsmethode van de Cantabro proef tussen SB250 v4 en v5. In het SB250 v4 is het vereist de kernen aan te maken en te beproeven met het gewenste bitumenpercentage en dan deze procedure te herhalen met + en – 0.3% bitumen. Voor het SB250 v5 is het voldoende om enkel het gewenste bitumenpercentage te testen. Voor deze proevenreeks is de variant van het SB250 v5 toegepast [7], [3].

3.3. Permeabiliteitsproef volgens EN 12697-19

De proefopstelling voor verticale permeabiliteit is beschreven in [8]. De proef vereist een proefstuk van gekende afmetingen. Boven dit proefstuk wordt een waterkolom geplaatst van 300 ± 1 mm waarvan de temperatuur gecontroleerd is rond de 22°C . Na het conditioneren gedurende een paar minuten van het proefstuk kan de test aanvangen. Gedurende een minuut wordt het water dat door het proefstuk loopt opgevangen in een aparte bak en gewogen. Na drie herhalingen van de proefperiode is de proef afgerond. Uit de opgevangen hoeveelheid water kan nadien de stroomsnelheid en de permeabiliteit berekend worden. Onderstaande figuren 5 geven een indicatie van de proefopstelling.



Figuur 5: proefopstelling voor verticale permeabiliteit en voorbeeld proefstukken

Permeabiliteit k_v is een materiaaleigenschap die indiceert hoe snel een medium doorheen het materiaal kan stromen. Doorgaans ligt deze waarde k_v voor zeer open asfalt types tussen de $0.5 \cdot 10^{-3}$ en $3.5 \cdot 10^{-3}$ m/s. De gestelde eis voor de materialen is $k_v \geq 0.3 \cdot 10^{-3}$ m/s, dit komt ongeveer overeen met 1000 mm/u.

3.4. Rafelingsproef volgens CEN TS 12697-50

De uitvoeringsmethode voor rafelingsproeven staat beschreven in [9]. Bij deze proef worden platen aangemaakt van 26 x 26 x 4 cm die geconditioneerd worden op 25 ± 1 °C. De platen worden dan in een Darmstadt scuffing device (DSD) geplaatst. Bij deze proef is er keuze voor de belastingen en de hoeveelheid cycli waaraan een proefstuk blootgesteld is. Gedurende deze proevenreeks is er gebruik gemaakt van de zware condities, dit betekent een druk van 2000 N op de band voor 50 cycli. De reden voor deze zware condities is om de condities van zwaar verkeer op een weg te simuleren. Per variant worden vier platen aangemaakt voor te beproeven. De gemiddelde hoeveelheid massaverlies van deze platen geeft een rafelingsweerstand voor het mengsel. De rafelingsweerstand is een van de waardes in Tabel 1 die onderzocht worden.

Onderstaande Figuur 6 en Figuur 7 bieden een beeld van de DSD en rafelingsproefstukken voor en na het uitvoeren van een rafelingsproef.



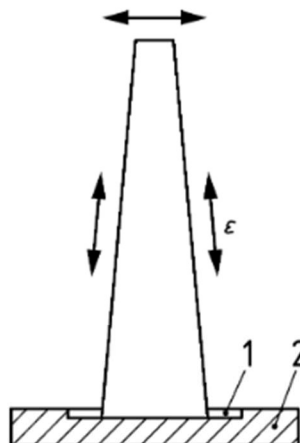
Figuur 6: DSD rafelingstester



Figuur 7: Voorbeeld proefstuk rafelingsplaat, voor en na het uitvoeren van de rafelingsproef met DSD rafelingstester

3.5. Stijfheid en vermoeiingsproef volgens EN 12697- 24 en -26

De uitvoeringsmethodes voor de Stijfheid en vermoeiingsproef staan beschreven in [10] en [11]. Bij deze proeven worden er trapezoidale proefstukken aangemaakt volgens EN 12697-33 en EN 12697-35. De proefstukken worden gezaagd uit een groter volume dat verdicht is onder zware condities met een verdichter met twee pneumatische banden. Hierbij worden er minimaal 22 trapezoides vervaardigd. Van deze 22 proefstukken worden er vier proefstukken aan een tweepuntsbuigtest onderworpen met een frequentie van 10 Hz bij 15°C voor de bepaling van de stijfheid. De overige 18 proefstukken worden gebruikt voor de vermoeiingseigenschappen van de asfaltmengsels te bepalen. Deze proef bestaat uit een tweepuntsbuigtest met een belastingsfrequentie van 30 Hz bij 15°C. Na het uitvoeren van deze 18 proeven bij verschillende deformatie (strain) niveaus, kan de uiteindelijke vermoeiingsweerstand van het asfaltmengsel berekend worden. In onderstaande Figuur 8 is een schematische weergave van een proefstuk voor het uitvoeren van stijfheid en vermoeiingsproef.



Key

- 1 groove of approximately 2 mm
- 2 metal base

Figure A.5 — Fixation of the specimen

Figuur 8: Figure A.5 uit EN 12967-24 bevestigingsmethode voor trapezoides bij vermoeiingsproef [10]

4. Resultaten van proeven uitgevoerd op bitumineuze toplagen.

4.1. Gyratorproef

In onderstaande Tabel 6 zijn de resultaten weergegeven voor de verschillende varianten van de ZOA-C toplagen. In deze tabel staan de gemiddelde resultaten van de varianten. De resultaten voor alle vier kernen zijn weergegeven net zoals de resultaten voor de drie kernen die de minste onderlinge afwijking hebben.

Tabel 6: Resultaten gyrator ZOA-C

	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde HR% 4 kernen	21,8	21,6	21,6	21,6	20,8	20,7
Standaard afwijking HR% 4 kernen	0,9	1,2	1,3	1,6	0,4	0,3
Gemiddelde eindhoogte proefstukken 4 kernen (mm)	101,9	101,5	101,9	100,6	100,2	100,2
Gemiddelde HR% 3 kernen	21,4	21,0	21,0	20,8	20,6	20,6
Standaard afwijking HR%	0,6	0,8	0,7	0,1	0,03	0,2
Gemiddelde eindhoogte proefstukken 3 kernen (mm)	101,7	101,1	101,7	100,6	100,0	100,2

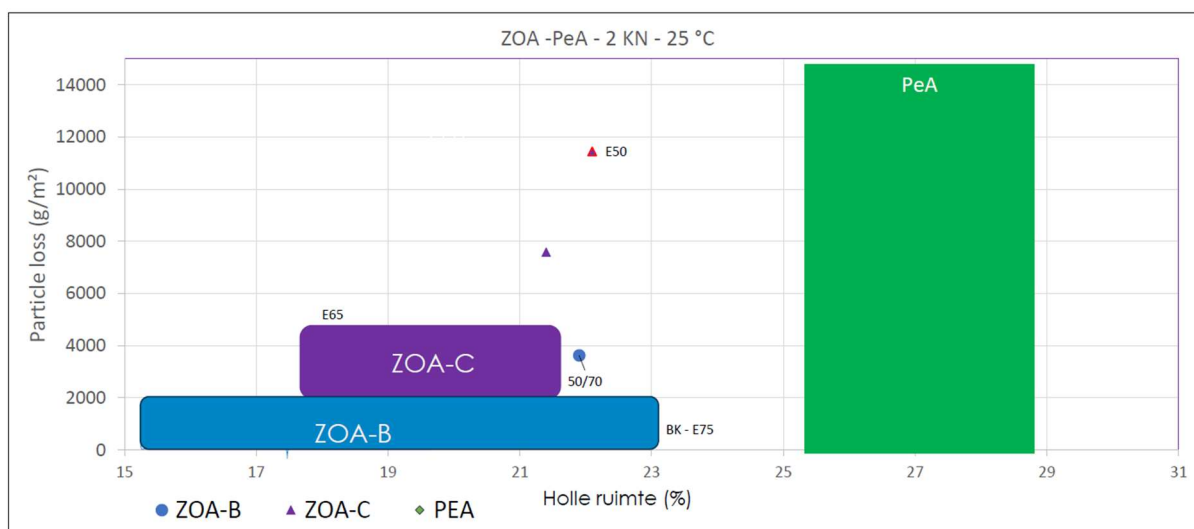
Opmerking bij bovenstaande resultaten. Bij variant 4 is er een kern van de reeks afgekeurd, deze kern had een te grote afwijking ten opzichte van de toegelaten afmetingen. Vermoedelijk is hier een menselijke fout bij het uitvoeren van de proef gebeurd waardoor er niet voldoende asfalt in de mal is afgewogen. Deze kern is de reden voor het grote verschil bij deze variant tussen de gemiddeldes voor drie en vier kernen.

Naar aanleiding van de samenstellingen van de varianten is de prognose uit de theoretische berekening met PradoWeb een groepering van de resultaten van de varianten 1 tot 3 en een groepering van de varianten 4 tot 6. Hierbij zou volgens de prognose de resultaten van varianten 1 tot 3 een hoger HR% vertonen ten opzichte van de varianten 4 tot 6.

De resultaten van de gyrator komen overeen met de prognose. De groepering van de varianten 1 tot 3 heeft een gemiddeld HR% van 21.1% en de groepering van de varianten 4 tot 6 een gemiddeld HR% van 20.6% respectievelijk. Hierbij is het verschil tussen de twee groeperingen kleiner dan volgens de theoretische berekeningen met PradoWeb.

4.2. Rafelingsproef

Figuur 9 is gebaseerd op de databanken van het OCW. Hierin staat per type open asfaltmengsel enkele bekomen resultaten voor rafelingsweerstand. Gebaseerd op deze cijfers liggen de verwachte resultaten voor ZOA-B mengsels meestal onder 2000 g/m² indien de holle ruimten voldoende laag zijn en een geschikt bindmiddel gebruikt is. Voor ZOA-C waren er echter nog weinig resultaten beschikbaar. De eerste resultaten uitgevoerd in “DRAINASPAVE” gaven een haalbaar bereik tussen 2000 en 4000 g/m². In de eis gesteld in [3] voor rafeling, is de waarde op 2000 g/m² gezet. De resultaten bekomen in dit onderzoek, zouden kunnen bijdragen om deze eis verder te evalueren en eventueel bij te stellen. De PeA mengsels vermeld in “DRAINASPAVE” zijn speciale mengsels ontworpen om holle ruimtes boven 25% te bereiken. Het gebruik van deze mengsels is nog niet ingeburgerd in de wegebouw.

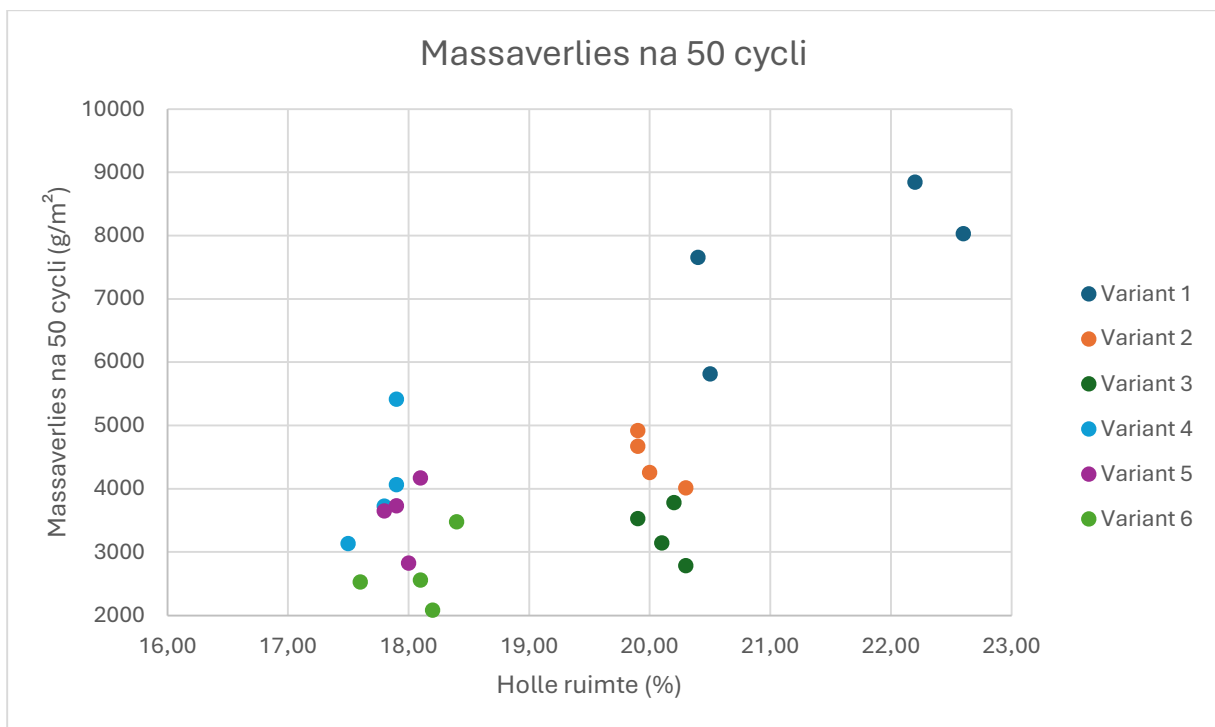


Figuur 9: Historische resultaten voor rafelingsweerstand OCW[12]

In onderstaande Tabel 7 en Figuur 10 zijn de proefresultaten weergegeven voor de gemeten gemiddelde holle ruimte en het massaverlies na 50 cycli. Hierbij is in de tabel de standaardafwijking voor de resultaten weergegeven.

Tabel 7: Resultaten rafelingsproef voor 6 varianten

Mengsel variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde HR% (%)	21,4	20,0	20,0	17,8	18,0	18,1
Standaardafwijking HR% (%)	1,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3
Gemiddeld massaverlies na 50 cycli (g/m ²)	7587	4464	3309	4085	3593	2661
Standaardafwijking verlies (g/m ²)	1283	404,5	436,9	966,4	562,5	585,7



Figuur 10: Massaverlies na 50 cycli in functie van de holle ruimte (individuele resultaten)

Het HR% voor variant 1 heeft een grote standaardafwijking van 1,20%. Bij het aanmaken van proefstukken voor rafeling werd het mengsel voor twee platen simultaan aangemaakt. Daarom is de samenstelling nagenoeg identiek tussen de twee platen die gelijktijdig aangemaakt worden. Hierbij is er een duidelijk verschil tussen de eerste twee platen en de volgende twee platen zichtbaar zoals in onderstaande Tabel 8 weergegeven. Bij het aanmaken en verdichten van proefstukken kunnen er beperkte verschillen optreden. Deze afwijking is echter groter dan toelaatbaar dus zijn platen 1355 en 1356 verder buiten beschouwing gelaten en is er enkel gewerkt met de waardes voor de platen 1357 en 1358. Deze keuze heeft wel invloed op de nauwkeurigheid voor deze specifieke variant naar rafelingsweerstand. Dit impliceert dat eventuele conclusies hoofdzakelijk gebaseerd moeten worden op variant 2 tot 6. Variant 1 is enkel als mogelijke bevestiging gebruikt.

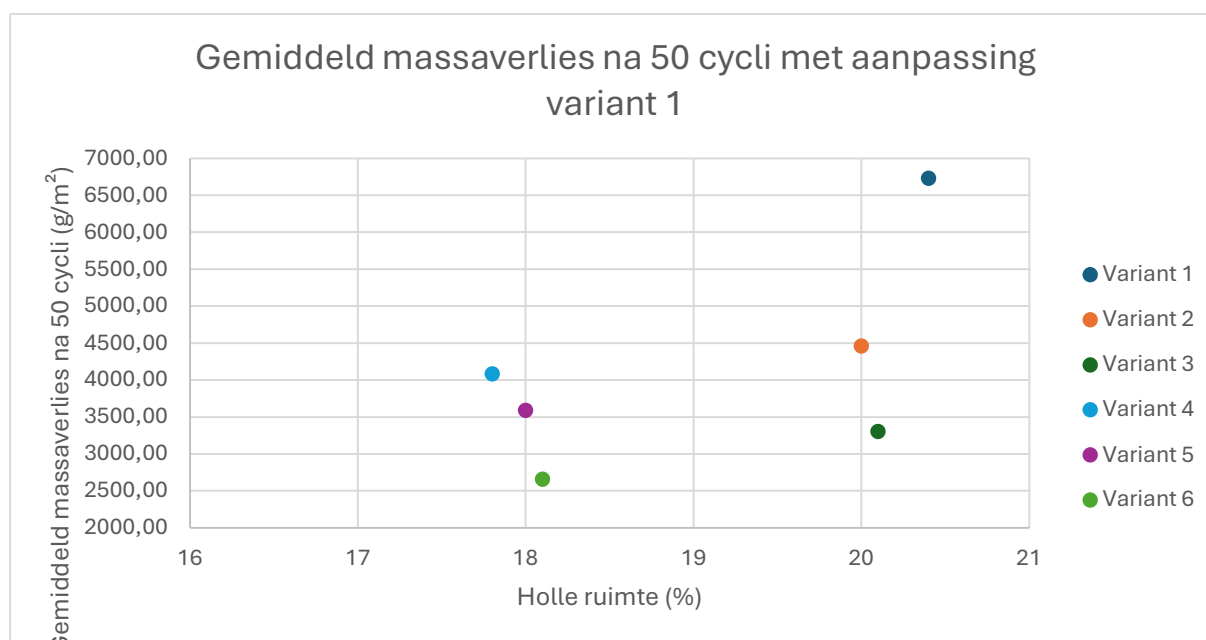
Tabel 8: Opmetingstabel proefstukken rafeling van variant 1

Plaatnr.	Mengsel	Lengte-Breedte (cm)		Dikte (cm)		Volume (cm ³)	Gewicht (g)	MVM (g/cm ³)	SVM (g/cm ³)	H.R. (%)
		Gemiddelde	St.dev.	Gemiddelde	St.dev.					
P1355	ZOA-C2 E65	26,17	0,04	4,09	0,02	2803,2	5517,7	2,544	1,968	22,6
P1356		26,09	0,05	4,08	0,02	2778,2	5497,9	2,544	1,979	22,2
P1357		26,18	0,05	4,13	0,03	2831,6	5729,3	2,544	2,023	20,5
P1358		26,10	0,06	4,15	0,03	2827,8	5727,5	2,544	2,025	20,4

Het verwijderen van deze platen geeft onderstaande Tabel 9 en Figuur 11. In deze tabel en figuur zijn de gemiddelde resultaten weergegeven van de varianten in plaats van de individuele testresultaten.

Tabel 9: Resultaten rafelingsproef voor 6 varianten met aanpassing variant 1

Mengsel variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde HR% (%)	20,4	20,0	20,1	17,8	18,0	18,1
Standaardafwijking HR% (%)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3
Gemiddeld massaverlies na 50 cycli (g/m ²)	6734	4464	3309	4085	3593	2661
Standaardafwijking verlies (g/m ²)	1302	404,5	436,9	966,4	562,5	585,7



Figuur 11: Gemiddeld massaverlies na 50 cycli in functie van de holle ruimte met aanpassing variant 1

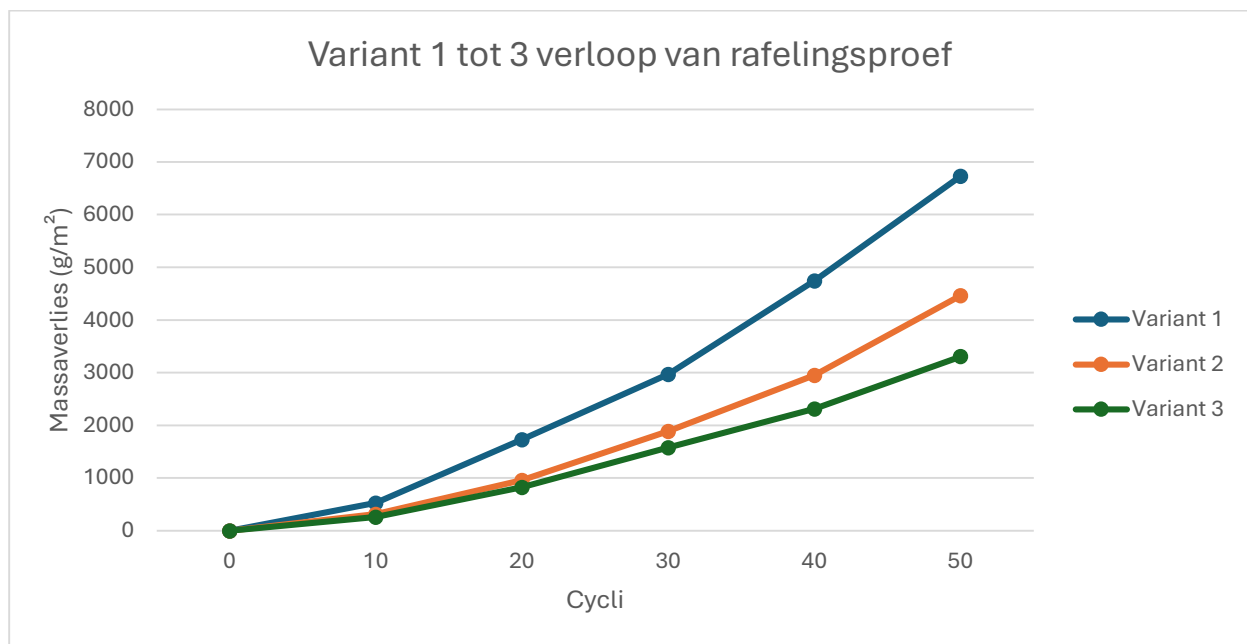
Uit de resultaten kan afgeleid worden dat er een aantal factoren zijn die bijdragen aan de rafelingsweerstand. De invloed van de holle ruimte in de rafelingsweerstand is de eerste parameter die onderzocht wordt. Als tweede is het type bindmiddel ook relevant voor de rafelingsweerstand.

De holle ruimtes zoals in Figuur 11 weergegeven bieden een visueel beeld van de invloed van de holle ruimte. Voor varianten 4 tot 6 is de gemiddelde holle ruimte 17,9% met een gemiddeld massaverlies van 3446 g/m². Voor variant 1 tot 3 is de gemiddelde holle ruimte 20,2% en het gemiddelde massaverlies 4835 g/m². Tussen de verschillende

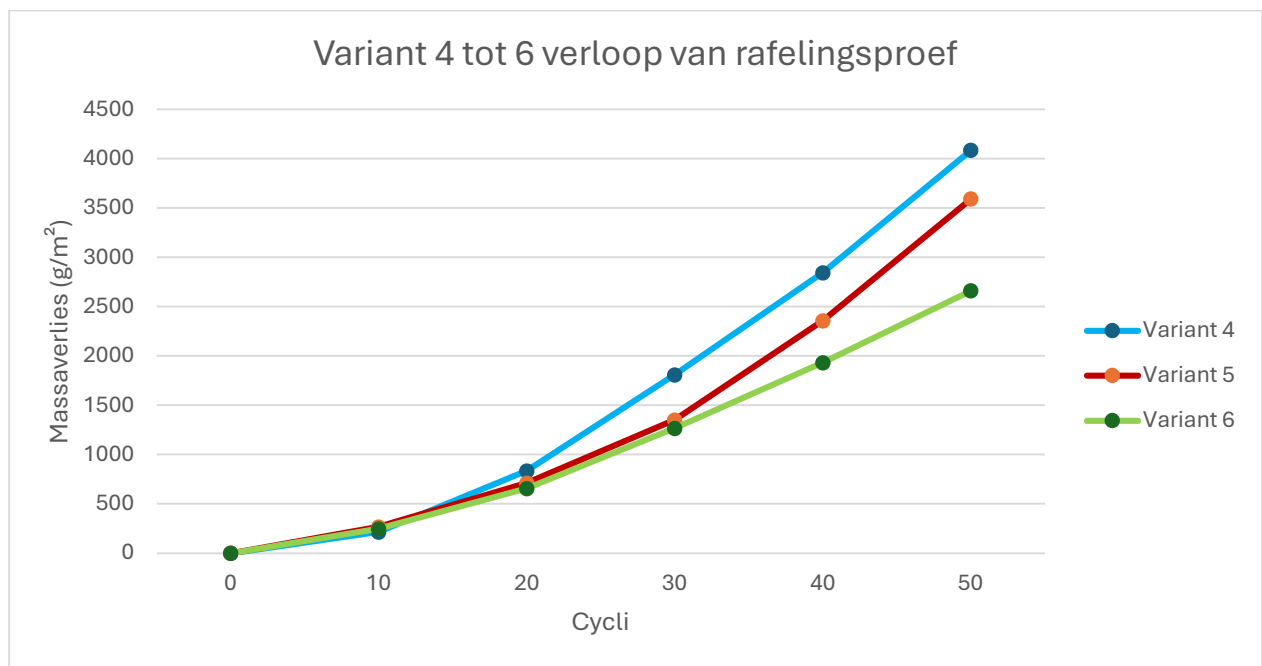
granulaatsamenstellingen levert dit een verschil op van 28.7% in gemiddeld massaverlies voor een verschil van 2.3% holle ruimte.

Dit resultaat kan verklaard worden door de implicaties van holle ruimtes in het asfalt. Indien het percentage van holle ruimtes in asfalt toeneemt is er meer open ruimte aanwezig. De open ruimtes dragen niet bij aan de weerstand van het asfalt en creëren zwakkere plekken in het asfalt.

Ter vergelijking van de verschillen tussen de verschillende PMB's zijn de volgende Figuur 12 en Figuur 13 nuttig. Hierbij is er per 10 cycli aangegeven hoe het massaverlies verloopt en dit voor respectievelijk variant 1 tot 3 en variant 4 tot 6.



Figuur 12: Variant 1 tot 3 verloop van rafelingsproef



Figuur 13: Variant 4 tot 6 verloop van rafelingsproef

Uit Figuur 12 en Figuur 13 valt op te maken dat net zoals de holle ruimtes in de proefstukken, het gebruikte type PMB in de mengselsamenstelling invloed heeft op de prestaties. Variant 1 en 4 vertonen de minste prestaties van alle PMB's. Zowel variant 1 als variant 4 maken gebruik van het PMB type 45/80-65. Variant 2 en 5 zijn de middelste van de mengsels voor beide reeksen. Hierbij is er gebruik gemaakt van een PMB type 45/80-50. De beste prestaties worden behaald door variant 3 en 6. Deze zijn gemaakt met PMB type 75-130/75. Aangezien alle mengsels dezelfde hoeveelheid vezels en bitumen bevatten heeft dit geen invloed op de resultaten. Enkel de gebruikte PMB bij het aanmaken van de proefstukken is een variabele binnen deze groeperingen.

Deze resultaten waren onverwacht wat de PMB types 45/80-65 en 45/80-50 betreffen. Naar aanleiding van deze resultaten is er een bijkomende controle van de kwaliteit van de PMB 45/80-65 gebeurd. Dit was een PMB afkomstig van een lading waarbij is gebleken dat de prestaties van deze PMB tegen de ondergrenzen aanlagen voor wat aanvaardbaar is voor gebruik. De 45/80-50 daarentegen was specifiek voor deze proeven besteld en waren de basiskennmerken gemiddeld en conform de eisen. Dit verschil in kwaliteit van bitumen geeft een reden voor de onverwachte resultaten. Bijkomende proeven zijn hierbij mogelijks noodzakelijk voor de staving van deze redenatie. Deze zijn niet uitgevoerd voor dit onderzoek. Aangezien beide PMB's minder goede resultaten halen dan de PMB 75-130/75 is dit laatste het meest aangeraden bindmiddel om te gebruiken bij ZOA mengsels voor toplagen.

De beste resultaten afkomstig van het PMB type 75-130/75 zijn niet onverwacht en liggen in dezelfde lijn als de resultaten bekomen in [2]. Deze PMB is sterk gemodificeerd waardoor de prestaties van deze PMB hoger zijn voor verschillende parameters in vergelijking met de andere gebruikte PMB types. Deze PMB staat beschreven in het SB250

v4 en v5, maar is niet courant gebruikt waardoor de beschikbaarheid in de Belgische markt moeilijker is [7], [3].

Uit deze proeven blijkt dat voor rafelingsweerstand de eis vanuit [3] namelijk 2000 g/m^2 niet gehaald is door deze proefstukken. Het doel van deze proevenreeks is niet om een mengsel te optimaliseren zodanig dat dit aan deze eis voldoet maar om de invloed van een aantal parameters te kunnen evalueren. Het beste resultaat van deze proevenreeks bedraagt maar 2661 g/m^2 . Om in de praktijk toepasbaar te zijn moeten er dus extra maatregelen genomen worden om deze te behalen. Hierbij zijn de gebruikte granulaten en het bitumengehalte twee parameters die niet in dit onderzoek bekeken zijn maar waar uit voorgaand onderzoek al gebleken is dat deze helpen voor betere resultaten. Het bitumengehalte in deze mengsels bedroeg maar 4.5%, dit is de ondergrens die toegelaten is in België volgens SB250 v4 en v5 [7], [3], [13].

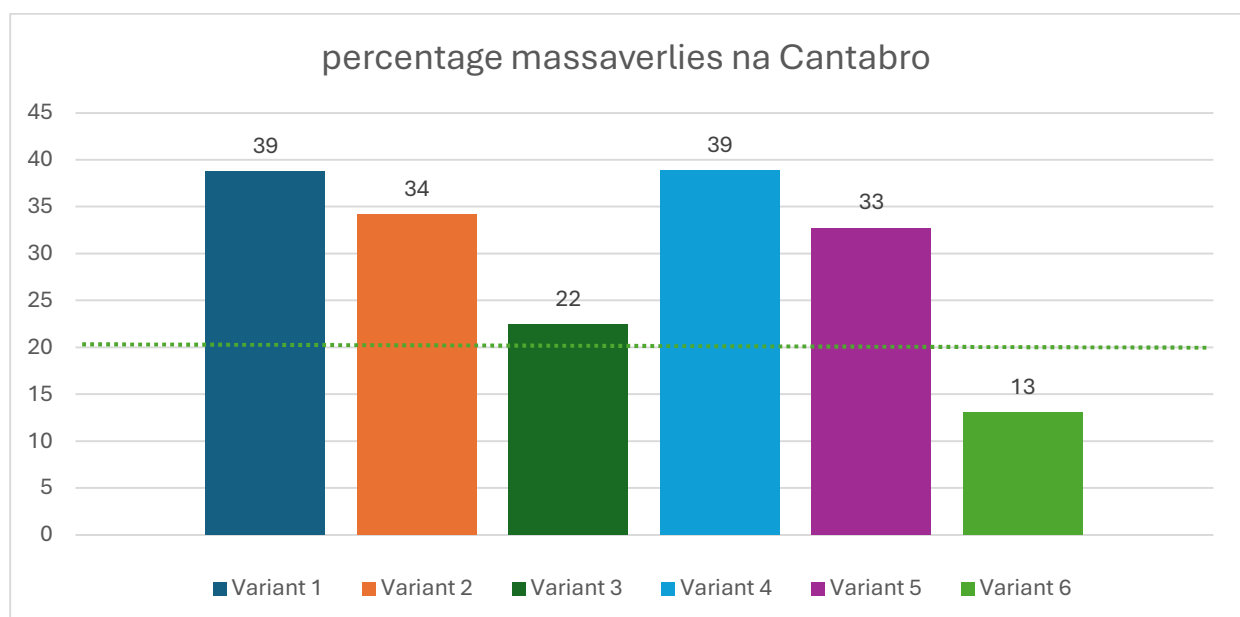
Bij de aanbevelingen origineel gemaakt in de tabel in Appendix A was voor rafelingsweerstand een waarde van 3000 g/m^2 vermeld. De haalbaarheid van de nieuw gestelde waarde van 2000 g/m^2 is niet voldoende gestaafd met deze proevenreeks. Bij speculatie is het mogelijk voor deze waarde te behalen met geoptimaliseerde samenstellingen. De waarde van 3000 g/m^2 is wel aangetoond haalbaar met gebruik van de samenstelling van variant 6. Mogelijks is de waarde van 2000 g/m^2 te streng voor gegarandeerd te zijn bij werfomstandigheden.

4.3. Cantabroproef

In onderstaande Tabel 10 worden de resultaten voor de Cantabroproef weergegeven per variant. Idem aan de gyratorproeven worden afwijkende resultaten verwijderd voor bepaling van het gemiddelde.

Tabel 10: Resultaten Cantabroproef toplagen

	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde massaverlies (%)	39	34	22	39	33	13
Standaard afwijking massaverlies (%)	9,4	3,7	5,9	3,5	2,5	3,3



Figuur 14: Resultaten Cantabroproef voor toplagen

Gelijkaardig met de resultaten van de rafelingsproeven, duiden de resultaten van de Cantabroproeven op een aantal factoren die invloed hebben op de prestaties van de varianten.

Allereerst is het type PMB gebruikt in de varianten een belangrijke factor. Binnen dezelfde groepering van granulaatsamenstelling presteert de variant met 75/130-75 als PMB het beste. De verbetering ten opzichte van de andere twee PMB's bedraagt tussen de 16% en 25% massaverlies. De weerstand tegen impact van het asfalt is dus significant hoger bij deze PMB. De hogere vereiste elasticiteit van deze PMB kan hier de oorzaak van zijn.

Als tweede factor is de holle ruimte wederom een factor voor de prestaties. De invloed hiervan is beperkter in verhouding tot het type PMB.

Eerder is al aangetoond in [2] dat er een verhouding is tussen de holle ruimte en de resultaten van de Cantabroproef. De resultaten van deze proevenreeks bevestigen dit. De resultaten bij de mengsels met lagere holle ruimtes vertonen betere prestaties.

Een andere observatie in de resultaten van de holle ruimtes van de Cantabro proefstukken: deze liggen hoger dan bij de gyrator holle ruimten en rafelingstesten. Na 40 gyraties is de eindverdichting van de asfaltkernen nog niet volledig bereikt, dus is de holle ruimte hoger. De beperkte verdichting in de kernen is specifiek aan de gebruikte verdichtingsmethode. Bij verdichting met de Marshallmethode is de verdichting wel volledig bereikt. In verhouding zijn de resultaten hierdoor beter bij de Marshallmethode. De vergelijking tussen de twee methodes is dus niet rechtstreeks uitvoerbaar. Ter indicatie van de bereikte holle ruimtes zijn de detailwaarden voor een variant in Tabel 11 zichtbaar.

Tabel 11: Detail waardes Cantabro variant 1

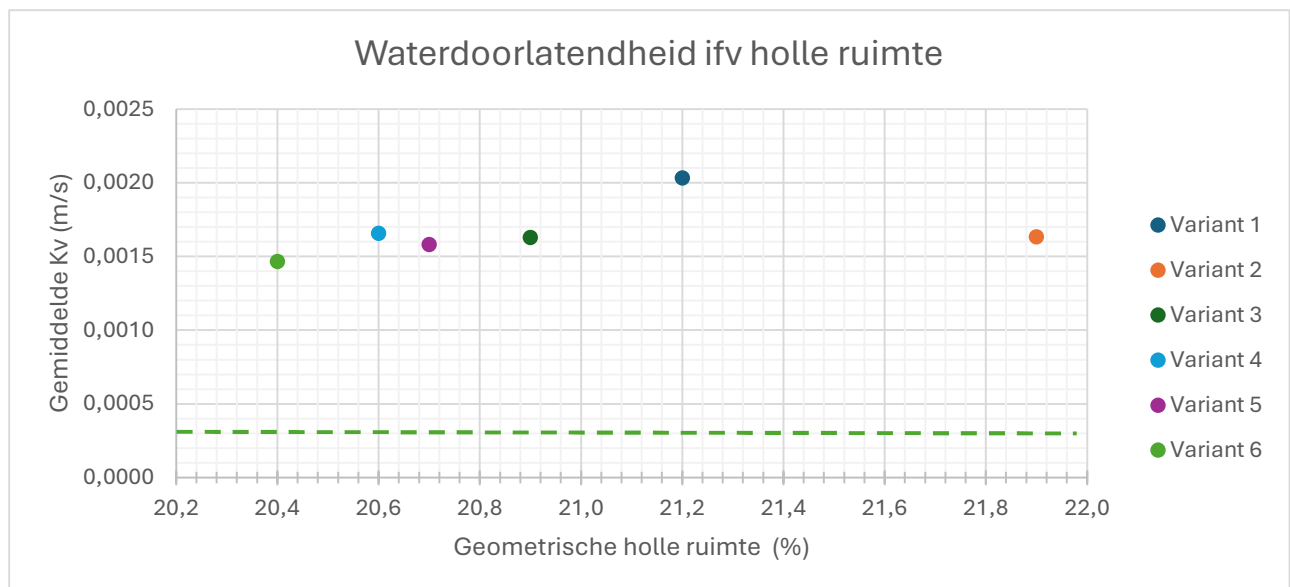
Variant 1						
Massaverlies Cantabro (%)	49	41	38	21	39	43
Holle ruimte (%)	26,5	25,8	26,2	23,3	26,5	24,4

4.4. Waterdoorlatendheid/permeabiliteit

Per varianttype is de permeabiliteit bepaald voor twee proefstukken. De kernen afkomstig van de gyratorproeven uit hoofdstuk 4.1 zijn hiervoor gebruikt. De resultaten van deze proeven zijn in onderstaande Tabel 12 en Figuur 15 zichtbaar.

Tabel 12: Waterdoorlatendheid resultaten toplagen

Mengsel variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde Kv (m/s)	2.03×10^{-3}	1.63×10^{-3}	1.63×10^{-3}	1.66×10^{-3}	1.58×10^{-3}	1.47×10^{-3}
Standaardafwijking Kv (m/s)	2.76×10^{-4}	3.8×10^{-4}	5.32×10^{-5}	1.14×10^{-3}	1.15×10^{-4}	7.69×10^{-5}
Gemiddelde geometrische HR% (%)	21,2	21,9	20,9	20,6	20,7	20,4
Standaardafwijking HR% (%)	0,40	0,90	0,20	0,50	0,30	0,10



Figuur 15: Waterdoorlatendheid ifv holle ruimte onderlagen

Alle varianten voldoen aan de gestelde eis van $0.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ voor permeabiliteit. De HR% van alle varianten ligt boven de 20%. Hieruit kan besloten worden dat deze waarde voldoende is voor de permeabiliteit van de asfaltmengsels te garanderen. Uit de literatuur [14], [15] blijkt dat de waardes voor permeabiliteit exponentieel afnemen tussen 20% en 16%. Gebaseerd op deze informatie kan geëxtrapoleerd worden dat de grens om te voldoen aan de eis ergens tussen 16% en 20% holle ruimte ligt. Om te voldoen aan deze eis kan gesteld worden dat indien de holle ruimte boven 20% ligt, er zeker geen probleem optreedt voor permeabiliteit en dat er specifieke testen vereist zijn op de mengsels indien de holle ruimte onder 20% ligt.

Het gebruikte type PMB heeft geen significant verschil voor de permeabiliteit van asfaltmengsels. In elke reeks is de variant met als bindmiddel 75/130-75 de variant met de laagste permeabiliteit en de laagste holle ruimte. De verschillen beperken zich tot 0.4×10^{-3} en 0.19×10^{-3} respectievelijk voor de twee reeksen. Gebaseerd op deze waarden is er mogelijk een voordeel aan het gebruik van 45/80-50 of 45/80-65, maar dit is beperkt en zal geen doorslaggevend verschil geven voor de permeabiliteit.

4.5. Beperkingen en opmerkingen bij proeven uitgevoerd op toplagen

Bij de beproeving van de toplagen zijn volgende beperkingen en opmerkingen voorgekomen die noodzakelijk vermeld moeten worden.

Allereerst de beperkingen voor deze proevenreeks:

- De hoeveelheid resultaten beschikbaar voor conclusies te formuleren zijn beperkt tot één proevenreeks per variant. Hierdoor zijn alle resultaten indicatief bruikbaar maar verdere controle van de resultaten kan noodzakelijk blijken. Bijkomende proeven zijn niet uitgevoerd vanwege beperkingen met de beschikbaarheid van de vereiste laboratoriumtoestellen en tijdsbeperkingen.
- De kwaliteit van de PMB 45/80-65 gebruikt bij deze proeven is maar net voldoende voor de eisen gesteld aan dit type PMB. De gemeten ring en kogel temperatuur van de 45/80-65 bedroeg 64.2 °C met een secundaire beproeving waarbij uiteindelijk 71.0 °C is bekomen. De vergelijking met de 45/80-50 is hierbij interessant. De gemeten ring en kogel temperatuur van deze PMB is 65.8 °C. Dit wil zeggen dat desondanks de verschillende classificaties van PMB de verschillen tussen deze twee PMB's beperkt is. Dit blijkt ook uit de resultaten die voortkwamen uit de proeven. Er is een algemeen onderzoek lopende naar de kwaliteit van geleverde PMB 45/80-65 bij verschillende aannemers in België. De conclusies van dit onderzoek als deze uitgebracht worden, zijn interessant om mee in beschouwing te nemen als kadering voor de resultaten bekomen in deze proevenreeks.

Vervolgens de opmerkingen die vermeld moeten worden bij deze proevenreeks:

- De waterdoorlatendheid van toplagen bij holle ruimtes onder de 20% is niet verder onderzocht vanwege tijdsbeperkingen binnen dit onderzoek. Bijkomende beproeving bij lagere holle ruimtes zijn noodzakelijk voor de exacte grens vast te leggen waarbij niet meer aan de gestelde eis van $0.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ voldaan is. De gestelde grens van 20% binnen dit onderzoek is gesteld met een veiligheidsmarge waarbij er geen enkel proefmonster niet voldeed aan de gestelde eis van $0.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.
- De Cantabro proef is uitgevoerd met proefstukken aangemaakt met een gyrator. De eindverdichting bij deze proefstukken is nog niet volledig bereikt. De Marshall verdichtingsmethode behaalt daarentegen wel volledige verdichting. Hierbij is er mogelijks een verschil dat kan optreden tussen deze twee verdichtingsmethodes. Bij het testen van het massaverlies bij impact is het hierdoor noodzakelijk om duidelijk te vermelden welke verdichtingsmethode gebruikt is.

5. Resultaten van proeven uitgevoerd op bitumineuze onderlagen

5.1. Gyratorproef

In onderstaande Tabel 13 zijn de resultaten weergegeven voor de verschillende varianten van bitumineuze ZOA -B onderlagen. In deze tabel staan de gemiddelde resultaten van de varianten samen met de standaardafwijking.

Tabel 13: Resultaten gyrator onderlaag varianten 1 tot 4 gyrator.

Mengsel variant	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Gemiddelde HR% (%)	17,0	17,1	17,2	16,7
Standaardafwijking HR% (%)	0,3	0,6	0,3	0,6

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat de mengsels niet voldoen aan de gestelde eis van 18% holle ruimte. De onderste grens voor holle ruimte aanvaardbaar voor deze proevenreeks is vastgelegd op 17.5% gemeten met de gyrator. Aangezien alle varianten niet voldoen is het vereist om de samenstelling aan te passen zodanig dat deze voldoet aan deze eis.

Vanwege tijdsgebrek is enkel voor variant 5 de gyratorproef uitgevoerd. De enige variabele tussen variant 5 en 6 is het gebruikte bitumen. Dit heeft een beperkt effect op de gemeten holle ruimtes. Indien variant 5 voldoet aan de gestelde eis kan er verondersteld worden dat variant 6 ook voldoet. Ter controle is er een bijkomende test uitgevoerd door het OCW voor de holle ruimtes van de varianten 5 en 6. Dit is met een ander type van gyrator gebeurd dan de originele reeks testen voor onderlagen. De resultaten van de eerste proef en de controle proeven uitgevoerd door het OCW zijn terug te vinden in onderstaande Tabel 14.

Tabel 14: Resultaten gyrator onderlaag variant 5 met controle OCW varianten 5 en 6 .

Mengsel variant	Variant 5	Variant 5 controle	Variant 6 controle
Gemiddelde HR%	17,6	17,5	17,5
Standaardafwijking HR%	0,3	0,7	1

Volgens de waarden in de bovenstaande tabel, voldoen variant 5 en 6 aan de gestelde eis voor holle ruimte. Deze mengsels zijn verder gebruikt voor de volgende proeven.

5.2. Cantabroproef

De Cantabroproef staat eerder beschreven in hoofdstuk 4.3 op pagina 40. Voor deze proefopstelling zijn dezelfde regionale condities van toepassing als voor de toplagen, namelijk 40 gyraties met een druk van 600N onder een hoek van 0.82° voor verdichten gevolgd door 300 rotaties aan 30-33 toeren per minuut in een Los Angeles abrasion drum. Voor de varianten 5 en 6 werden telkens zes proefstukken aangemaakt en getest. De resultaten van deze proevenreeks zijn in onderstaande Tabel 15 weergegeven.

Tabel 15: Resultaten Cantabro onderlagen

Mengsel variant	Variant 5	Variant 6
Gemiddeld massaverlies (%)	28	28
Standaardafwijking massaverlies	2,0	3,3

De verschillen tussen de bekomen waardes voor Cantabro met de ZOA-B proefstukken zijn statistisch verwaarloosbaar. Dit betekent dat de keuze van bitumentype tussen een niet gemodificeerde 50/70 en een gemodificeerde 45/80-50 geen relevant verschil geeft voor de prestatie naar massaverlies bij de Cantabro proef. Voor andere proeven zijn er wel meetbare verschillen tussen de bitumentypes zoals aangetoond in [2].

5.3. Stijfheid en vermoeiingsproeven

In onderstaande Tabel 16 zijn de resultaten zichtbaar voor de verschillende varianten van de ZOA-B onderlagen voor de stijfheidstest. In deze tabel staan de gemiddelde resultaten voor de E-modulus van de asfaltmengsels samen met de standaardafwijking.

Tabel 16: Resultaten stijfheidstest onderlaag varianten 5 en 6

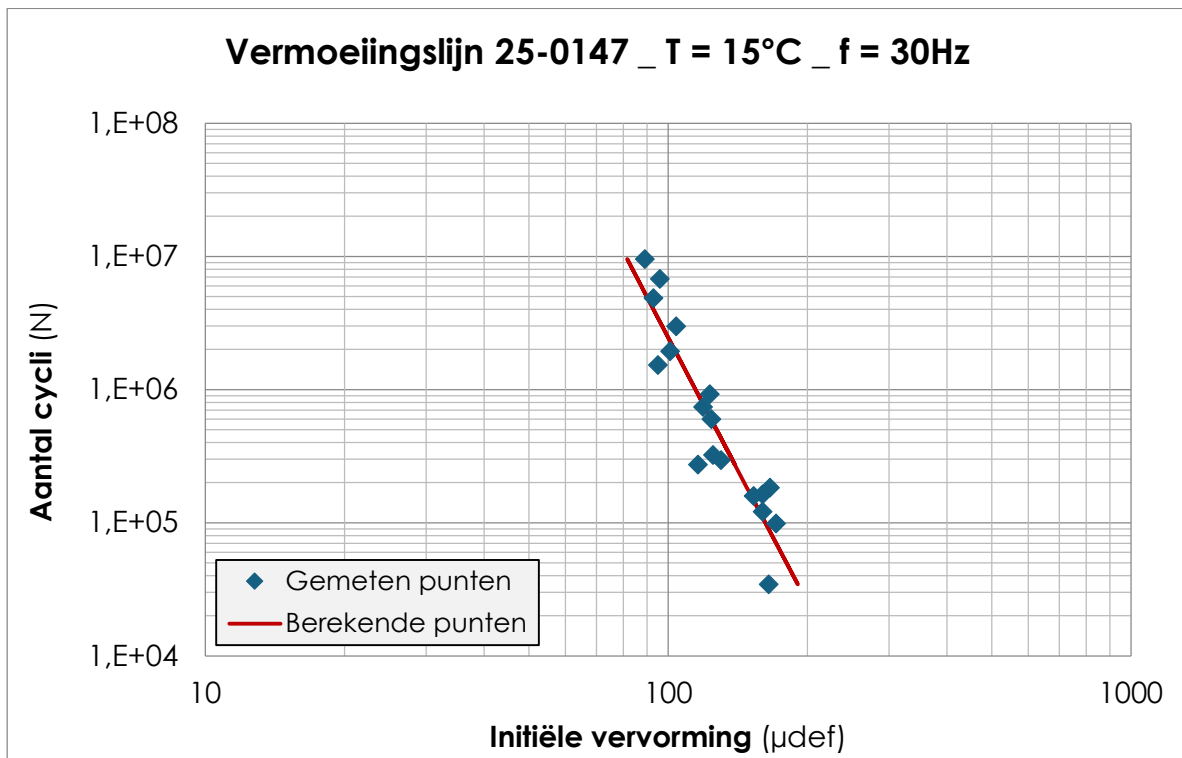
Mengsel variant	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde E* (MPa)	6289	6893
Standaardafwijking E* (MPa)	475	145

Uit Tabel 16 blijkt dat beide varianten voldoen aan de eis van minimaal 4500 MPa voor E-modulus van de asfaltmengsels zoals weergegeven in Tabel 1. Elke individuele waarde van de proefstukken voor E-modulus voor zowel variant 5 als variant 6 voldoet aan de gestelde eis van 4500 MPa met als laagste waarde 5644 MPa. Hieruit kan geconcludeerd worden dat deze eis niet maatgevend is voor het mengselontwerp van waterdoorlatende onderlagen in ZOA-B.

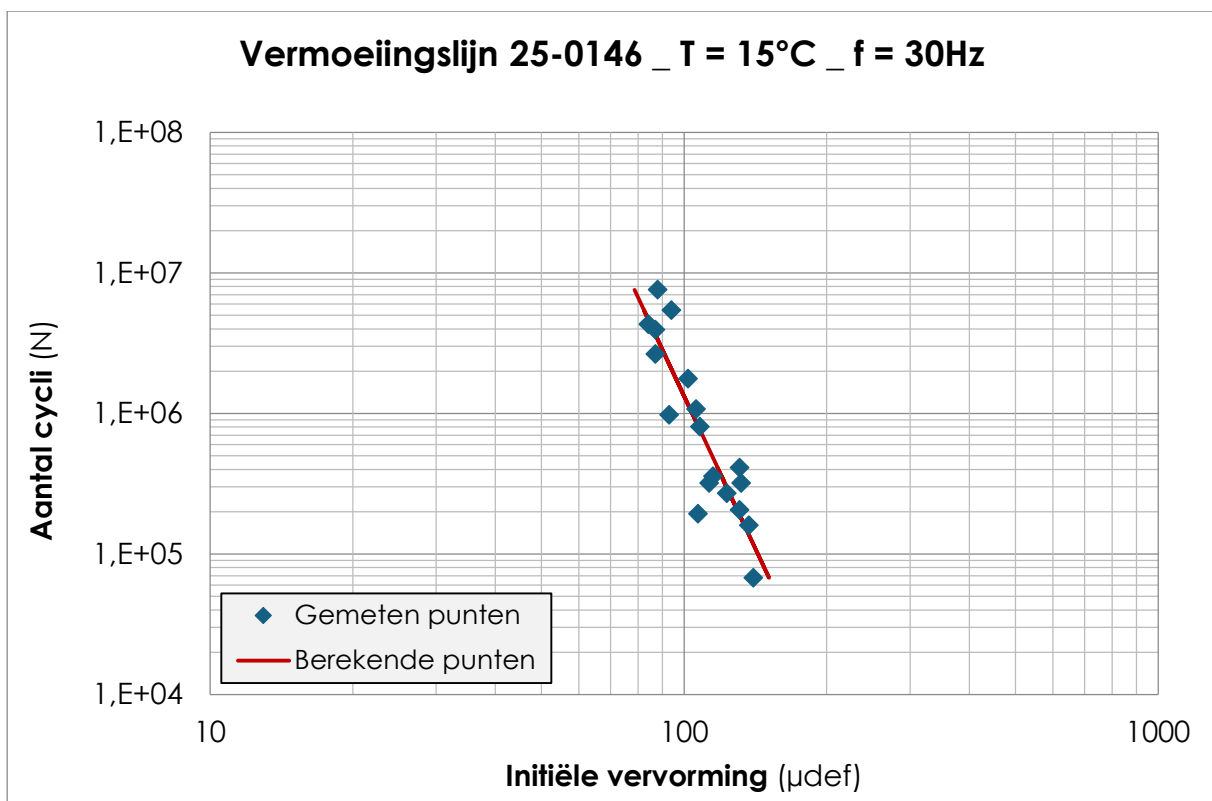
In onderstaande Tabel 17 en figuren 16+17 zijn de resultaten weergegeven van de vermoeiingsproef voor de verschillende varianten van de ZOA-B onderlagen. In Tabel 17 staan de gemiddelde resultaten voor de vermoeiingsweerstand samen met de kwaliteitsindex weergegeven. In de figuren 16 en 17 staan de vermoeiingscurves weergegeven van de varianten 5 en 6. Op de vermoeiingscurve is de verhouding zichtbaar tussen de initiële vervorming en het aantal cycli die uitgevoerd zijn alvorens breuk optreedt in het proefstuk.

Tabel 17: Resultaten vermoeiingsproef onderlaag varianten 5 en 6

Mengsel variant	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde vermoeiingsweerstand ϵ_6 ($\mu\text{def.}$)	115	104
kwaliteitsindex vermoeiingsweerstand ϵ_6 ($\mu\text{def.}$)	5	4



Figuur 16: Vermoeiingscurve onderlaag variant 5 met PMB 45-80/50



Figuur 17: Vermoeiingscurve onderlaag variant 6 met B50/70

Uit bovenstaande figuren en tabel kan geconcludeerd worden dat de verschillen tussen de gebruikte bindmiddelen beperkt is. Het verschil tussen de vermoeiingsweerstand van beide varianten bedraagt 11, dit is niet voldoende voor een significant verschil tussen de bindmiddelen aan te geven. Voor de vermoeiingsweerstand van de mengsels is de

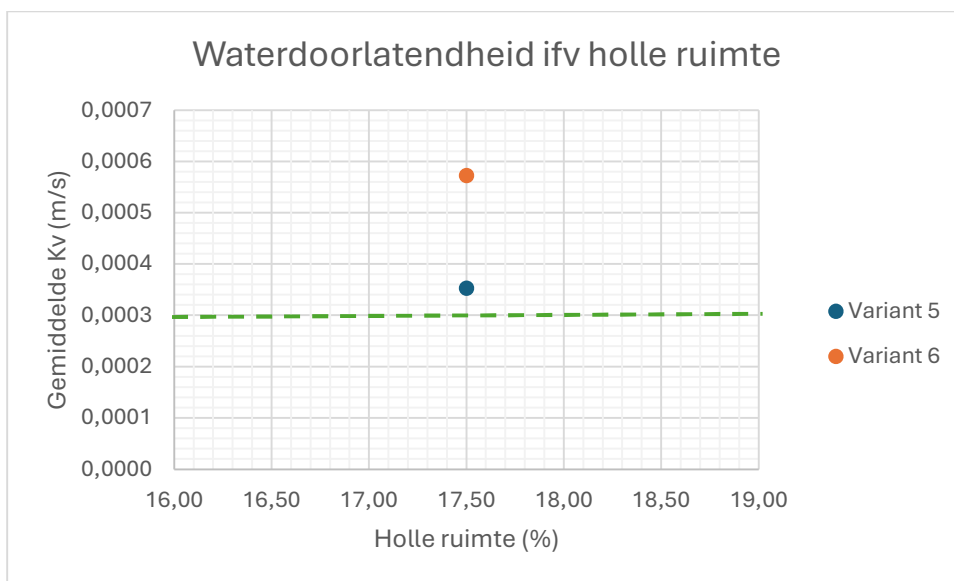
invloed van het gebruikte bindmiddel dus beperkt. Voor het ontwerp van asfaltmengsels zijn er dus andere factoren die aangepast moeten worden indien het mengsel niet voldoet aan de eis voor vermoeiingsweerstand. Beide varianten gebruikt in deze proevenreeks voldoen aan de gestelde eis voor vermoeiingsweerstand van 70 in het SB250 v5.

5.4. Waterdoorlatendheid/permeabiliteit

De proefopstelling voor waterdoorlatendheid is identiek als deze beschreven in hoofdstuk 4.4 op pagina 42. Net zoals voor de toplagen zijn er twee proefstukken getest voor de varianten 5 en 6. De proefstukken gebruikt voor deze test zijn de controleproefstukken zoals beschreven in hoofdstuk 5 op pagina 45. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven van deze proeven.

Tabel 18: Resultaten permeabiliteit onderlagen

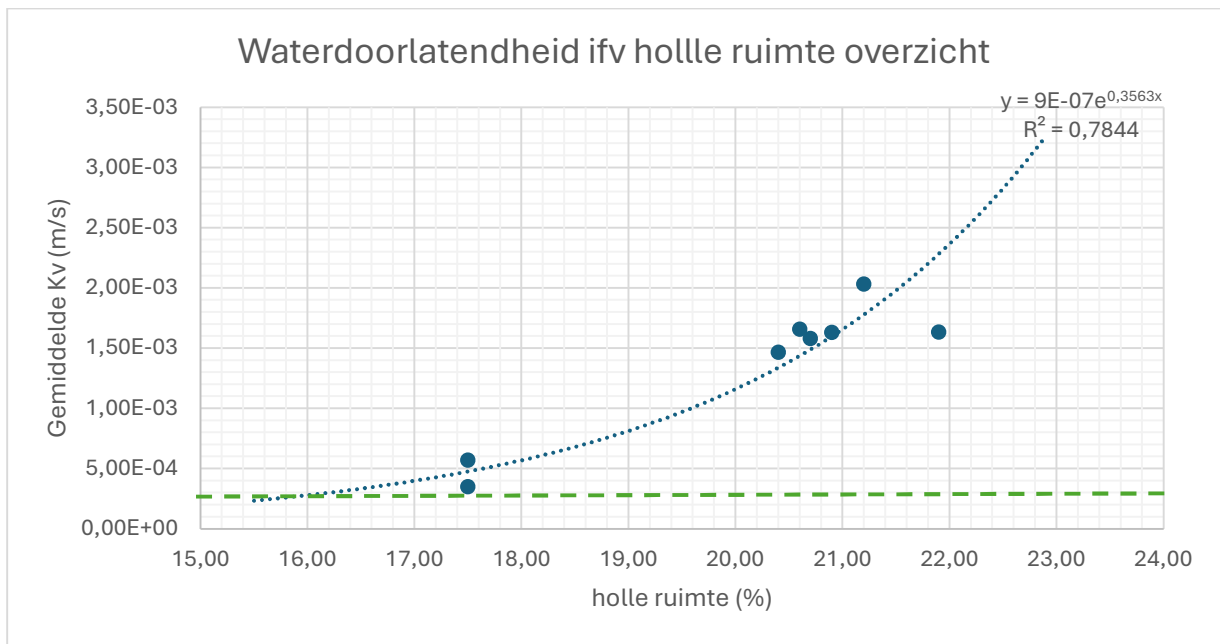
Mengsel variant	Variant 5	Variant 6
Gemiddelde Kv (m/s)	$3,53 \times 10^{-4}$	$5,73 \times 10^{-4}$
Standaardafwijking Kv (m/s)	$3,42 \times 10^{-5}$	$1,78 \times 10^{-4}$
Gemiddelde geometrische HR% (%)	17,5	17,5
Standaardafwijking HR% (%)	0,7	1,0



Figuur 18: Waterdoorlatendheid onderlagen ifv holle ruimte

De resultaten voor de waterdoorlatendheid van de onderlagen zijn lager dan deze voor de toplagen. Dit omdat de holle ruimtes in de toplagen rond 20% tot 22% lagen en deze voor de onderlagen rond 17.5%. De waarden voor de onderlagen halen nog net de eis van $0.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. De marge is echter beperkt tot $0.05 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ voor variant 5. De afwijking tussen de individuele proefstukken is hoger dan deze waarde. Er kan dus gesteld worden dat indien de kernen een holle ruimte hebben lager dan 17.5% er problemen optreden om de gestelde eis van 0.3×10^{-3} te halen.

De resultaten van de waterdoorlatendheidsproeven van de onderlagen en toplagen zijn samengevoegd in onderstaande Figuur 19. Hierbij is duidelijk de trend zichtbaar waaraan de holle ruimte zich verhoudt ten opzichte van de waterdoorlatendheid.



Figuur 19: Overzicht permeabiliteit

De exponentiële groei van de waterdoorlatendheid is echter niet volledig bevestigd enkel door deze proefresultaten. Om definitieve bevestiging te verkrijgen zijn er meer proeven nodig in het spectrum zodanig dat de trendlijn nauwkeuriger is dan de huidige versie. Bij deze versie is de R^2 van de trendlijn te laag om met zekerheid de vorm van de trendlijn te bevestigen.

5.5. Beperkingen bij proeven uitgevoerd op onderlagen

Bij de proeven op bitumineuze onderlagen zijn er een aantal beperkingen die de beschikbaarheid van resultaten beïnvloeden. Deze beperkingen kunnen opties bieden voor bijkomend onderzoek.

Als eerste beperking is er vanwege tijdsgebrek en technische problemen met een van de toestellen waarop deze proef origineel op voorzien was in het labo van AWW, geopteerd om het aantal mengsels dat beproefd werd, terug te brengen van vier varianten naar twee varianten. De problemen met de te lage holle ruimtes van de eerste vier varianten hadden als ongewenste implicatie een bijkomende tijdsbesteding om deze mengsels aan te passen. Hierbij is voornamelijk de stijfheid en vermoeiingsproef een limiterende factor. Voor het uitvoeren van een proevenreeks is er een periode van ongeveer zes weken vereist tussen aanmaak van de proefstukken tot de resultaten bekomen zijn. Voor deze scriptie zijn de twee varianten simultaan uitgevoerd op twee toestellen, dit is de volledige capaciteit om deze proef uit te voeren waarover het labo van het OCW beschikt.

Een volgende beperking voor deze proevenreeks is de beschikbaarheid van de juiste kalksteengranulaten in de labo's waar de proeven uitgevoerd zijn. Het labo van het OCW heeft een voorraad van verschillende granulaten ter beschikking maar niet de vereiste granulaten voor deze proevenreeks. De kalksteengranulaten voor deze proevenreeks zijn ter beschikking gesteld door een aannemer. Hierbij is voornamelijk de tijdsduur voor het bekomen van deze materialen een probleem gebleken.

6. Conclusie

6.1. Conclusie voor toplagen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek naar de prestaties voor ZOA-C toplagen kan geconcludeerd worden dat voor het ontwerpen van toplagen die voldoen aan de eisen gesteld in het nieuwe SB250 v5, er een aantal parameters nodig zijn.

De holle ruimte van het mengsel is een belangrijke factor waarbij tussen de 18% en 20% de beste resultaten behaald worden. De permeabiliteit van het mengsel is voornamelijk afhankelijk van de waarde van de holle ruimte en moet gecontroleerd worden in deze zone. Indien de holle ruimte 20% benadert, zijn er geen verwachte problemen voor voldoende permeabiliteit.

Om de rafeling en het massaverlies bij impact te beperken is het PMB type 75/130-75 aangeraden voor gebruik. De strengste eis hierbij is het massaverlies bij impact gemeten met de Cantabro proef waardoor deze waarschijnlijk maatgevend zal zijn bij het mengselontwerp.

De eis voor massaverlies in de rafelingsproef in het SB250 v5 van 2000 g/m^2 is beperkend voor de asfaltmengsels. Uit dit onderzoek blijkt dat de origineel voorgestelde eis in "DRAINASPAVE" van 3000 g/m^2 gemakkelijker haalbaar is. Het voorstel van deze studie is het volgen van de origineel voorgestelde waarde van 3000 g/m^2 .

De verschillen tussen de PMB 45/80-50 en 45/80-65 zijn moeilijk aantoonbaar met de bekomen resultaten. De relatief lage kwaliteit van de PMB 45/80-65 gebruikt in dit onderzoek maakt de vergelijking tussen beide bindmiddelen moeilijk. Uit de strengere prestatie-eisen gesteld aan PMB 45/80-65 kan verwacht worden dat de prestaties van dit bindmiddel beter zouden zijn dan de PMB 45/80-50 voor rafeling en massaverlies bij impact.

De permeabiliteit van de mengsels met een HR% hoger dan 20%, is volgens de proefresultaten geen probleem om aan de eis te voldoen van $0.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. Bij de onderlagen was de ondergrens waar de mengsels aan voldeden lager met maar 18 HR%. Alhoewel het waarschijnlijk ook geen probleem zal vormen bij de toplagen, mag deze grens niet zomaar aangehouden worden voor de toplagen. Er zal bijkomend onderzoek nodig zijn voor aan te tonen dat deze ondergrens van 18% ook voor toplagen toepasbaar is.

Naast de holle ruimte en het type PMB zijn er nog veel parameters die van belang zijn voor het mengselontwerp. Het percentage bindmiddel, de gebruikte granulaten, de additieven toegevoegd aan het mengsel,... zijn allemaal parameters die mee bijdragen aan de

prestaties van de mengsels. Deze variabelen zijn relevant maar niet onderzocht in dit onderzoek.

6.2. Conclusie voor onderlagen

Voor de onderlagen in ZOA-B kan gebaseerd op de proefresultaten gesteld worden dat de verschillen tussen de twee gebruikte bindmiddelen beperkt of zelfs geen invloed heeft op de testresultaten. Zowel bij Cantabro als bij stijfheid en vermoeiingsproeven zijn de verschillen niet significant. Bij het mengselontwerp door een aannemer zal het type bindmiddel dus geen invloed hebben op deze eisen. Voor andere proeven, die niet in deze studie getest zijn, zijn er wel meetbare verschillen tussen de twee bindmiddelen vastgesteld [2], [13]. Indien er bij het mengselontwerp blijkt dat er niet voldaan is aan de gestelde eisen voor stijfheid en vermoeiing, zullen er dus andere optimalisaties vereist zijn die niet in deze studie zijn opgenomen.

De ondergrens voor de eis van waterdoorlatendheid, die bepaald is door de exponentiële trendlijn gebaseerd op de resultaten, geeft een waarde van ongeveer 16% aan waarbij er problemen optreden om te voldoen aan de waterdoorlatendheid van ZOA-B mengsels. Deze grens van 16% is gelijkaardig aan de waardes eerder gevonden door het OCW voor deze grens. Vanwege de foutmarge op de proef is er geen 100% garantie dat mengsels die boven de 16% HR% hebben deze voldoen aan de gestelde eis. Aangezien er echter een ondergrens van 18 HR% is voor ZOA-mengsels in het algemeen, zal de waterdoorlatendheid waarschijnlijk geen probleem geven bij het mengselontwerp.

Het geplande onderzoek naar de invloed van HR% is niet voldaan vanwege technische en tijdsgebonden beperkingen. In het rapport van “DRAINASPAVE” zijn er al een aantal verschillende granulaatsamenstellingen gebruikt waarbij de invloed van HR% kan geëvalueerd worden. Deze resultaten zijn niet in deze studie gevalideerd.

6.3. Toekomstige onderzoeksmogelijkheden

Zeer open asfaltmengsels zijn al sinds 1971 in gebruik in België, echter is dit maar een beperkt percentage van de gebruikte asfalttypes. Naar de toekomst gaat waterdoorlatendheid van wegstructuren steeds belangrijker worden en zal het percentage van zeer open asfaltmengsels toenemen. Vooraleer dit algemeen gebruik kan toenemen, zijn er nog een aantal prestatiekenmerken van deze mengsels die bepaald moeten worden. Zeker als de holle ruimte hoger dan 25% bedraagt, zijn er nog maar weinig proeven gebeurd om deze vast te leggen.

Bijkomend onderzoek naar de integratie van ZOA-asfaltmengsels in volledige wegenisstructuren is een piste waar actief onderzoek naar bezig is. Hierbij kan de integratie van de kennis van dit onderzoek meegenomen worden voor het ontwerp van deze structuren.

Het bindmiddel type PMB 45/80-65 vereist bijkomend onderzoek vanwege de lage kwaliteit, zowel het bindmiddel gebruikt bij dit onderzoek als bindmiddelen gebruikt door verschillende aannemers vertonen gelijkaardige problemen. Dit is gemeld binnen een actieve werkgroep naar nieuwe SMA-D samenstellingen, waar zowel AWW, aannemers als OCW actief zijn.

De origineel geplande studie naar de invloed van HR% bij onderlagen in ZOA-B is een nog openstaand onderwerp dat verder kan bestudeerd worden. De correlatie tussen verschillende eisen naar levensduur van het asfalt en HR% kan verder bestudeerd worden.

7. Referenties

- [1] FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, „Waargenomen veranderingen in België,” 2023. [Online]. Available: <https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/waarmeningen>. [Geopend Januari 2025].
- [2] Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, „DRAINASPAVE,” 2023.
- [3] Agentschap Wegen en Verkeer, „Voorbereiding SB250 Versie 5 Hoofdstuk 6" Unpublished,” 2024.
- [4] OCW, „PradoWeb,” 2021. [Online]. Available: <https://www.pradoweb.be/>.
- [5] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Test methods - Part 31: Specimen preparation by gyratory compactor,” Brussel, 2018.
- [6] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Test methods - Part 17: Particle loss of porous asphalt specimens,” 2017.
- [7] Agentschap Wegen en Verkeer, „Standaardbestek 250 Versie 4.1a + errata,” Vlaamse overheid, Agentschap Wegen en verkeer, Evere, 2021.
- [8] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Test methods - Part 19: Permeability of specimen,” Brussel, 2020.
- [9] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Test methods - Part 50: Resistance to scuffing,” Brussel, 2017.
- [10] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Test methods - Part 24: Resistance to fatigue,” Brussel, 2018.
- [11] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Test methods - Part 26: Stiffness,” Brussel, 2022.
- [12] OCW, „Types doorlatende asfaltverhardingen en hun kenmerken,” in *opleiding Waterdoorlatende wegoplossingen voor bitumineuze verhardingen*, Sterrebeek, 2025.
- [13] Z. Zhang, A. Sha, X. Liu, B. Luan, J. Gao, W. Jiang en F. Ma, „State-of-the-art of porous asphalt pavement: Experience and considerations of mixture design,” *Construction and Building Materials*, p. 119998, 30 November 2020.
- [14] J. Faleyeux, S. Jacob en F. Thiou, „REVÊTEMENTS MODULAIRES EN BÉTON POUR L'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES : RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE,

PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES ET PERSPECTIVES EN MATIÈRE DE MAQUETTE NUMÉRIQUE,” *Annales du Bâtiment et des Travaux Publics*, nr. 69, p. 14, 2017.

- [15] T. Knappenberger, A. D. Jayakaran, J. D. Stark en C. H. Hinman, „Monitoring Porous Asphalt Stormwater,” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, nr. 143, Augustus 2017.
- [16] Bureau for standardisation, „Bituminous mixtures - Material specifications - Part 7: Porous Asphalt,” Brussel, 2016.
- [17] „Wegbeheerder van Vlaamse gewest- en snelwegen - Agentschap Wegen en Verkeer,” 12 Dec. 2024. [Online]. Available: <https://wegenenverkeer.be/>. [Geopend 16 December 2024].

8. Appendices

8.1. Appendix A: Voorafgaande voorstellen gesteld binnen “DRAINASPAVE”

	Op basis van SB250 v4.1a		ZOA-opbouw	Permeabele asfaltverharding			
	Parameter	Bouwklasse	Toplaag	Toplaag		Onderlaag	
Algemeen	Type asfaltmengsel		ZOA-B	ZOA-C (-B)	PeA	ZOA-B	PeA
	Korrelmaat D (mm)		14	10 of 14	20	14	20 ^[12]
	Nominale laagdikte (mm)		40	30 of 40	n.a.	40	60
Materialen	Aggregaten		zie SB250	idem ZOA	n.a.	idem ZOA	?
	Vulstof		zie SB250	idem ZOA	n.a.	idem ZOA	?
	Bindmiddel	B1-B3	E75/130-75	E75/130-75 ^[1]	n.a.	B50/70 (B70/100 of PmB) ^[1]	n.a.
		B4-B5	B70/100 (E75/130-75)	B70/100 (E75/130-75)	n.a.	B50/70 (B70/100 of PmB)	n.a.
		B6-B10, BF	/	B70/100 (E75/130-75)	n.a.	B70/100 (B50/70)	B70/100 (B50/70 of PmB)
	Bindmiddelgehalte		≥4%	≥4,5% ^[2]	n.a.	≥4% ^[2]	?
	Aandeel bitumen van asfaltgranulaat		0%	0%	n.a.	0%	0%
Prestaties	HR%		18% - 25%	≥20% ^[3]	n.a.	≥20% ^[3]	≥25% ^[3]
	Permeabiliteit (Kvmin), 1E-3 m/s		/	NR	n.a.	NR	NR
	Cantabro (max massaverlies, %)	B1-B3	15%	≥20% ^[4]	n.a.	NR ^[5]	n.a.
		B4-B5	20%	≥25% ^[6]	n.a.	NR ^[5]	n.a.
		B6-B10, BF	/	≥25%	n.a.	NR ^[5]	NR ^[5]
	Rafelingsweerstand, max (gr/m², @ 2000N, 25°C, 50 cycli)	B1-B3	/	≥1500 ^[7]	n.a.	NR ^[8]	n.a.
		B4-B5	/	≥2000 ^[9]	n.a.	NR ^[8]	n.a.
		B6-B10, BF	/	≥2000	n.a.	NR ^[8]	NR ^[8]
	Afdruippercentage		0%	0%	n.a.	0%	0%
	Spoorvormingsweerstand		NR	NR	n.a.	NR	NR
Dimensionering	Watergevoeligheid		NR	NR ^[10]	n.a.	NR ^[10]	NR ^[10]
	Vermoeiingsweerstand (ε6, min)		/	NR ^[11]	n.a.	≥70? ^[12]	≥70? ^[12]
	Stijfheid (Mpa, 15°C, 10Hz)		/	NR ^[11]	n.a.	≥4500? ^[12]	≥4500? ^[12]
Uitvoering	Kleeflaag (gr/m²)		300	200? ^[13]	n.a.	200? ^[13]	200? ^[13]
	behandeling naden		geen	depending on the system choice	n.a.	depending on the system choice	will depend on the system choice

