

Sluttrapport fra forsøk med ulike mengder umodifisert gjenbruk i masser med PMB

EV 6 Kløfta 2014



Foto: R. Telle

Innhold

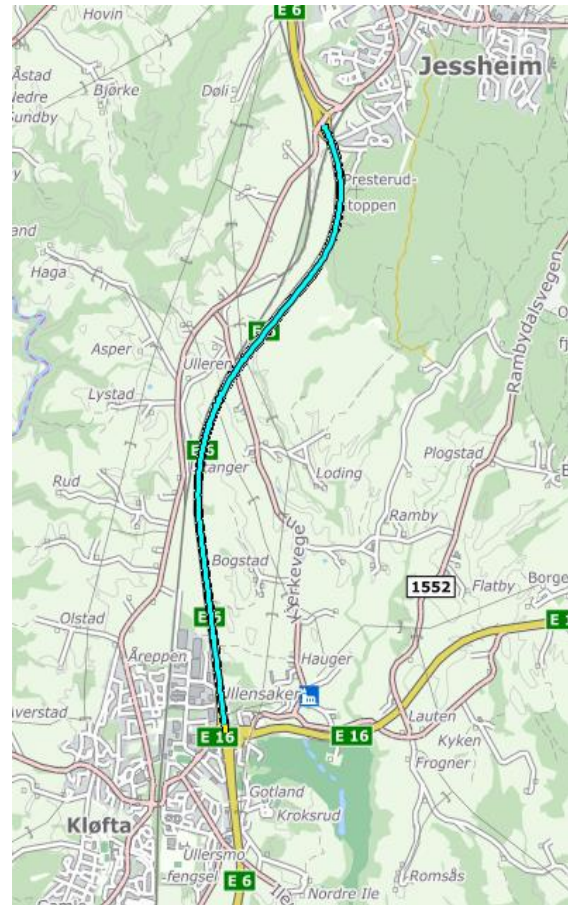
0 Bakgrunn.....	3
1 Oppfølging	4
2 Resultater	5
2.1 Hulrom ferdig utlagt dekke	5
2.2 IR-skanning	5
2.3 Tradisjonelle bindemiddelanalyser	5
2.4 MSCR Test.....	6
2.5 Wheel track	8
2.6 Prall.....	10
2.7 Cantabro	10
2.8 Sporutvikling.....	11
2.8 Fasevinkel og kompleksmodul	12
3 Konklusjoner.....	13
Referanser	13

0 Bakgrunn

Statens vegvesen har tidligere ikke godtatt tilsetning av resirkulert asfalt i masser med PMB av frykt for at det umodifiserte bindemidlet i den resirkulerte asfalten skulle redusere den ønskede effekten av PMB. KFA initierte derfor i 2014 et prosjekt i samarbeide med Statens vegvesen, Region øst, for å se hvor stor effekt en tilsetning på henholdsvis 10 % og 15 % umodifisert asfaltgranulat ville gi i PMB-masser. Underveis i prosjektet har følgende institusjoner/firmaer bidratt gjennom disse personene:

Statens vegvesen: Kristin Torgersen
Olga Mirochnikova
Lemminkäinen: Hilde Heieren
Nynas: Jon Borge Finset
KFA: Roar Telle

I forbindelse med prosjektet ble det etablert en forsøksstrekning i høyre nordgående felt på E6 mellom Kløfta og Jessheim, se Figur 1. Forsøksfeltene ble fordelt på strekningen som angitt i Tabell 1. Forsøksstrekning med 10 % tilsetning finnes i to varianter med henholdsvis 33 og 38 sekunders blandetid.



Figur 1 Plassering av forsøksstrekning

Det ble knyttet en masteroppgave til prosjektet, og Olga Mirochnikova som gjennomførte oppgaven har en dekkende beskrivelse av bakgrunn, dekkelegging og gjennomførte undersøkelser i sin rapport [1]. Denne rapporten er et sammendrag av Olga Mirochnikovas rapport og tar også med resultatene fra supplerende undersøkelser med dynamisk skjærreometer (DSR) og årlige tilstandsmålinger før resultatene vurderes samlet.

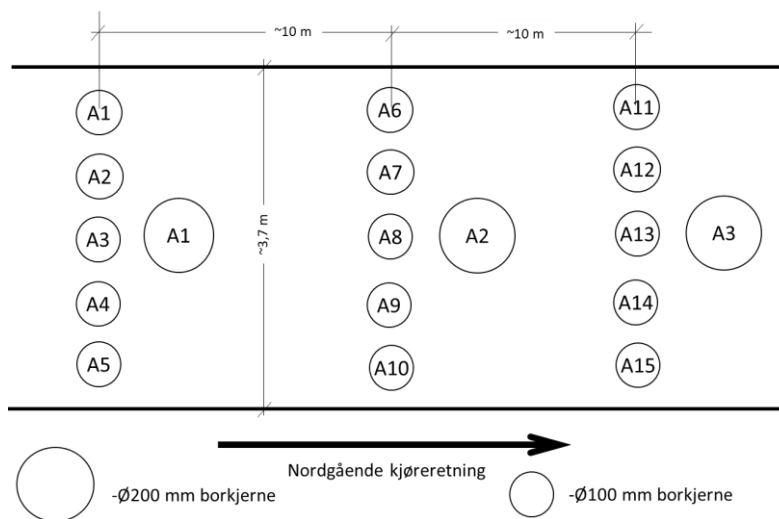
Tabell 1 Forsøksfelt (Kjørefelt 3, høyre felt i retning nordover)

Felt	Massetype	Blandetid	Leggeparsell	Lengde
A	Referanse, Ab 16 PMB	30 sek.	Hp 10, km 5853 – Hp 11, km 373	890 m
B	Ab 16 PMB med 10 % asfaltgranulat	33 sek.	Hp 11, km 368 – 1610	1242 m
C	Ab 16 PMB med 10 % asfaltgranulat	38 sek.	Hp 11, km 1610 – 2450	840 m
D	Ab 16 PMB med 15 % asfaltgranulat	38 sek.	Hp 11, km 2446 – 3545	1099 m
E	Referanse, Ab 16 PMB Ikke prøvetatt	30 sek.	Hp 11, km 3545 – Hp 11, km 5497	1952 m

1 Oppfølging

Foruten ordinær oppfølging av asfalteringen og måling av initalspor og -jevnheter er dekkeleggingen fulgt opp med IR-skanning for å dokumentere homogeniteten.

Det ble for hver leggesparell foretatt en utvidet kontroll av densitet i området mellom to lassbytter, og her ble det i tre tverrprofiler med ca ti meter mellomrom målt densitet med isotopmåler i 5 punkt jevnt fordelt i hvert profil. I hvert punkt ble det tatt ut borkjerner med 10 cm diameter for bestemmelse av densitet, hulrom, bitumenfylt hulrom, hulrom i steinskjelett og bitumeninnhold og motstand mot piggdekkslitasje med Prall og motstand mot partikkeltap med Cantabro-metoden, og i tillegg ble det tatt ut borkjerner med 20 cm diameter for testing av deformasjonsmostand ved hjelp av Wheel track, se Figur 2.



Figur 2 Eksempel fra felt A på mønster for måling av densitet med isotopmåler og uttak av borkjerner

I tillegg til laboratorieanalysene som ble utført på borkjernene ble det utført analyser på gjenvunnet og ferskt bindemiddel. Bindemiddelanalysene omfattet de tradisjonelle som i dag benyttes til å karakterisere både ordinært bindemiddel og PMB, det vil si penetrasjon, mykningspunkt, Fraass bruddpunkt og elastiske egenskaper (duktilometer). I tillegg ble det benyttet Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test, en nyere analysemetode som bedre får frem egenskapene til PMB.

Etter at prosjektet ble dokumentert i Olga Mirochnikovas rapport er det i tillegg gjort følgende undersøkelser:

- Spor og jevnhet er målt i 2015, 2016, 2017, 2018 og 2019
- Nynas 2015: Fasevinkel og kompleksmodul som funksjon av temperatur for Nypol73 med 5, 10, 15 og 20 % innblanding av bindemiddel gjenvunnet fra granulatet benyttet i forsøksstrekningene.

2 Resultater

2.1 Hulrom ferdig utlagt dekke

Hulrom ble både kontrollert med isotopmåler ved utlegging og ved å ta ut borkjerner i etterkant. Kravet til massetypen er at hulrommet skal ligge mellom 2 og 5 %. Resultatene viser at feltene med 10 % tilsetning (B og C) i snitt ligger 1,5-2,0 % over referansen (A) og strekningen med 15 % tilsetning (D), og har noen punkt som ligger opptil 1 % over øvre grense. Felt A og D har noen resultater under nedre grense. Det kan påvirke kvaliteten, men gir ikke grunnlag for å forkaste arbeidet og behøver ikke være negativt for alle funksjoner. Resultater fra isotopmåling og borkjerner sammenfaller bra.

Tabell 2 Resultater fra hulromsbestemmelse

<i>Felt</i>	<i>Massetype</i>	<i>Blande- tid</i>	<i>Hulrom med isotopmåler [%]</i>			<i>Hulrom Borkjerner [%]</i>		
			<i>Snitt</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>	<i>Snitt</i>	<i>Min</i>	<i>Maks</i>
A	Referanse, Ab 16 PMB	30 sek.	2,4	1,1	4,4	1,9	1,1	3,7
B	Ab 16 PMB med 10 % asfaltgranulat	33 sek.	4,1	2,1	6,2	4,6	3,1	5,6
C	Ab 16 PMB med 10 % asfaltgranulat	38 sek.	4,4	2,7	6,0	4,6	3,2	5,7
D	Ab 16 PMB med 15 % asfaltgranulat	38 sek.	2,6	1,3	4,2	2,1	1,8	2,6
E	Referanse, Ab 16 PMB	30 sek.	2,9	0,9	5,0			

2.2 IR-skanning

Dersom man ser bort i fra tre store risikoarealer på 30 til 88 m² på prøvelfelt B så lå risikoandelen for hver prøveparsell i området 2-4 % som hverken ville gitt trekk eller bonus dersom IR-skanning hadde vært en del av oppgjøret.

2.3 Tradisjonelle bindemiddelanalyser

Benyttet PMB var Nypol 82 fra Nynas som tilsvarende 65/105-80 i henhold til beskrivelse i NS-EN 14023. I tillegg til å teste gjenvunnet bindemiddel fra alle forsøksstrekningene ble også ferskt bindemiddel testet for egenskapene det stilles krav til i N200 (2014-utgaven) [2]. Resultatene er gitt i Tabell 3.

Tabell 3 Resultater fra tradisjonelle bindemiddelanalyser. Krav etter RTFOT er relatert til resultat på fersk PMB. Tall i parentes er grenseverdiene det gir.

Massetype	Fersk PMB	A Referanse	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Granulat	Krav i N200 Kap. 622.1	
							Fersk PMB	Etter RTFOT
Penetrasjon, 0,1 mm	70	50	44	40	43	35	65-105	≥60 % (≥42)
Myknings-punkt, °C	93,0	77,8	67,8	72,0	65,6	53,9	≥80	-2 - +10 °C (91 - 103)
Fraass bruddpunkt, °C	-17	-19	-19	-21	-17	-6	≤-12	
Elastisk tilbakegang, %	85	74	68	63	64		≥50	

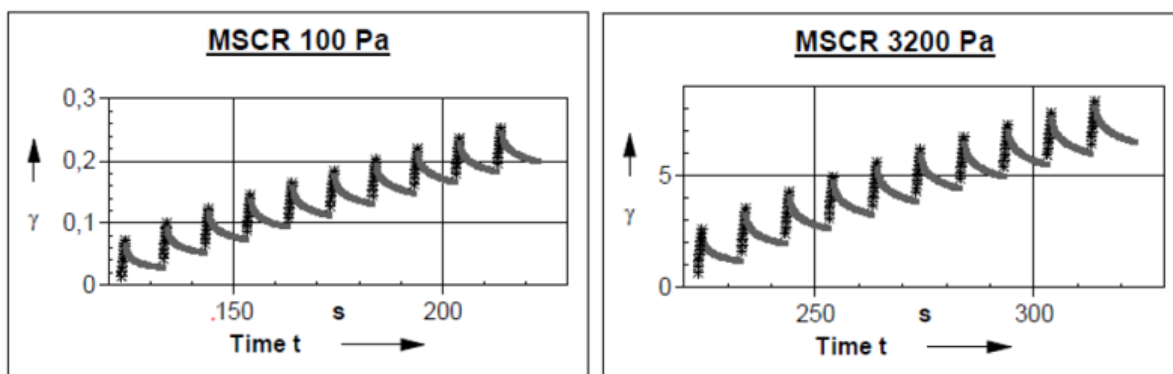
Ferskt bindemiddel oppfyller kravene i N200 for alle egenskaper, og gjenvunnet PMB uten granulat oppfyller kravet til penetrasjon etter RTFOT, men ikke mykningspunkt etter RTFOT dersom det relateres til mykningspunkt funnet for fersk PMB. Dersom man relaterer kravet til nedre grense for ferskt bindemiddel, 80 °C, så ligger gjenvunnet PMB fra referansen akkurat på grensen.

Gjenvunnet PMB med gjenbruk ligger alle rundt nedre grense for penetrasjon etter RTFOT, mens mykningspunktet ligger en del under.

Alle variantene oppfyller kravene til Fraass bruddpunkt og elastisk tilbakegang. Elastisk tilbakegang går som forventet litt ned ved tilsats av granulat, men ligger fortsatt over krav. Fraass bruddpunkt er en usikker metode på mange PMBer, og det er derfor ikke grunnlag for vurdering av den innbyrdes rangeringen.

2.4 MSCR Test

Bindemidlet er også testet i et dynamisk skjær-rheometer (DSR) i henhold til prosedyren for Multiple Stress Creep Recovery Test (MSCRT). I MSCRT plasseres prøven mellom de to platene i DSR, og den ene platen påføres en kraft som gir en skjærspenning i prøven slik at den deformeres/kryper i kraftretningen. Det utføres 10 sykler med 1 s belastning som gir deformasjon (kryp), etterfulgt av 9 s uten belastning, hvor deformasjonen kan gjenvinnes (tilbakegang). Prøvingen utføres ved to spenningsnivåer. Først med 100 Pa skjærspenning, og deretter med 3200 Pa skjærspenning. Se Figur 3 [3].



Figur 3 Ikke-gjenvinnbar krypføyelighet (non-recoverable creep-compliance) ved 100 Pa og 3200 Pa skjærspenning

Non-recoverable creep-compliance, J_{nr} , er gjenværende tøyning etter en kryp- og tilbakegangssyklus, delt på den påførte skjærspenningen (enhet kPa^{-1}).

Skjærdeformasjon (strain), γ , er forholdet mellom den ene platens bevegelse og gapet mellom platene. (Når prøvematerialet fyller et gap på 1,0 mm, og den ene platen har beveget seg 2,0 mm, er skjærdeformasjonen $\gamma = 2,0 \text{ mm}/1,0 \text{ mm} = 2,0$ strain.) Skjærdeformasjonen uttrykkes i strain eller % strain.

I prøvingene bestemmes bl.a.:

- $J_{nr,0,1\text{kPa}}$ og $J_{nr,3,2\text{kPa}}$: Gjennomsnittlig ikke-gjenvinnbar krypføyelighet (Non-recoverable creep-compliance) for 10 syklus
- % $R_{0,1\text{kPa}}$ og % $R_{3,2\text{kPa}}$: Gjennomsnittlig elastisk tilbakegang for 10 syklus
- $J_{nr,diff}$: Spenningssensitivitet (Stress Sensitivity Parameter) som er prosent forskjell mellom $J_{nr,0,1\text{kPa}}$ og $J_{nr,3,2\text{kPa}}$ (evt mellom $J_{nr,0,1\text{kPa}}$ og $J_{nr,6,4\text{kPa}}$).

Metoden er opprinnelig amerikansk, men ved dette forsøket er det testet i henhold til den europeiske versjonen av metoden, NS-EN 16659. Det er testet ved 60 °C og i tillegg til skjærspenninger på 0,1 og 3,2 kPa er det testet ved 6,4 kPa siden det ble vurdert som en opsjon til metoden på tidspunktet for forsøksdekket.

Resultatene er gitt i Tabell 4

Tabell 4 Resultater fra MSCRT testing

Massetype	A Referanse	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Granulat
% Recovery ved 3,2 kPa [%]	82,1	81,5	80,8	70,6	2,7
J_{nr} ved 3,2 kPa [1/kPa]	0,1474	0,1448	0,1191	0,2367	1,4678
$J_{nr, diff}$ [%]	37,5	17,1	2,9	12,2	8,0
% Recovery ved 6,4 kPa [%]	73,8	74,8	83,3	60,3	1,5
J_{nr} ved 6,4 kPa [1/kPa]	0,2195	0,1982	0,1026	0,3306	1,5406
$J_{nr, diff}$ [%]	48,7	37,0	13,8	39,7	5,0

For $J_{nr} > 0,1 \text{ kPa}^{-1}$ bør en PMB basert på en elastomer ha en % Recovery på over 50 % for å regnes som modifisert. Alle forsøksstrekningene ligger innenfor dette kravet.

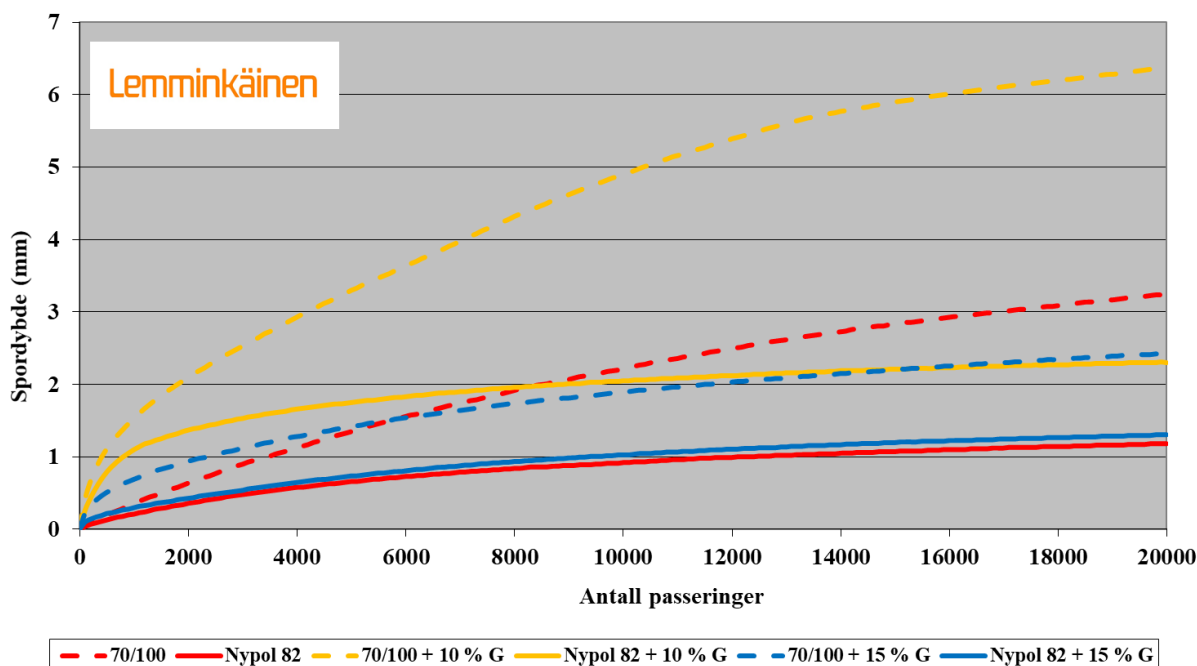
J_{nr} korrelerer godt med sporutvikling, og lav J_{nr} betyr god motstand mot deformasjoner.

Parameteren $J_{nr, diff}$ kalles for Stress Sensivity Parameter og forteller om prøven er «spenningssensitiv», det vil si hvordan prøvens tøyingsrespons er i forhold til økende spenningsnivå. Amerikanske standarder angir $J_{nr, diff}$ på 75 % som en øvre grense for akseptabel spenningssensitivitet og alle resultatene ligger godt under den verdien.

10 % tilsetning av resirkulert asfalt gir ikke signifikant dårligere verdier for parameterne bestemt med MSCRT. Ved 15 % tilsetning kan man se en trend mot svekkelse av PMBen uten at det er dramatisk.

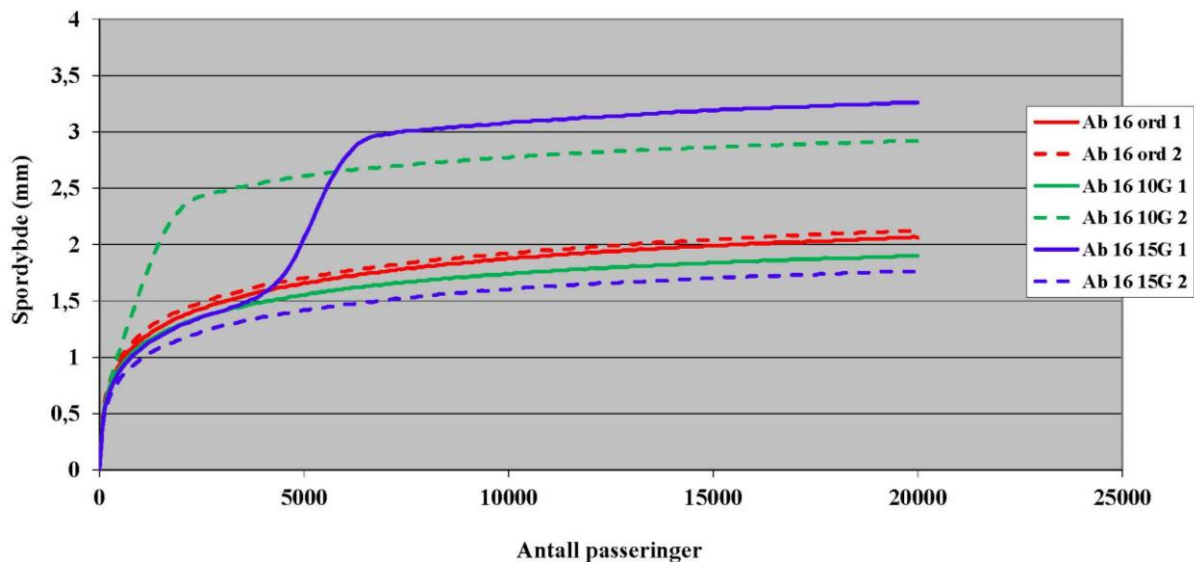
2.5 Wheel track

I forbindelse med proporsjonering av massene ble det kjørt Wheel track på laboratorieblandet masse med 70/100 og PMB for å vise effekten av PMB på massen uten gjenbruk og med 10 % og 15 % gjenbruk. Resultatene er vist i Figur 4. Massen med 10 % tilsetning (B og C) har fått dårligere resultat enn uten gjenbruk (A) og med 15 % (D), men er allikevel bra med PMB.



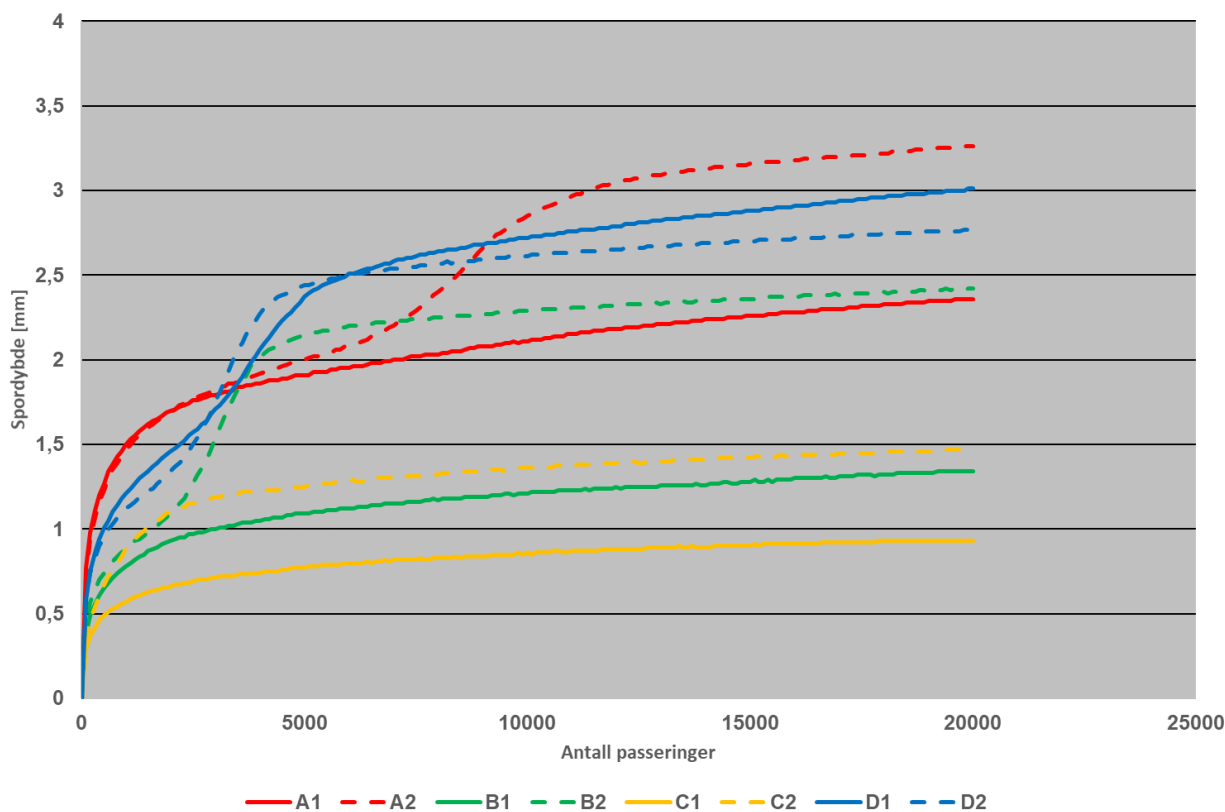
Figur 4 Effekt på Wheel track av PMB ifht 70/100 ved proporsjonering av Ab16 med 0 %, 10 % og 15 % gjenbruk

I forbindelse med dekkeleggingen ble det tatt ut masseprøver som det ble tillaget prøver av til testing i Wheel track, se Figur 5. Dersom man ser bort fra de to øverste parallellene som er atypiske så ligger resultatene svært jevnt.



Figur 5 Wheel track kjørt på prøver laget fra masseprøver tatt i forbindelse med dekkelegging

Det ble kjørt Wheel track på borkjernene med 20 cm diameter fra forsøksstrekningene. Resultatene er gitt i Figur 6 og Tabell 5.



Figur 6 Resultater fra Wheel track kjørt på borkjerner fra forsøksfeltene

A2 og B2 er atypiske og ses bort fra ved vurdering av resultatene. D1 og D2 har begge fått et forløp som er atypisk, men i stedet for å stryke begge velger en å se på gjennomsnittet. Se Tabell 5 for sammenstilling av resultatene for kjerner tatt ut på forsøksfeltene.

Tabell 5 Resultater fra testing i Wheel track

Forsøksfelt	A Referanse*	B 10 % G*	C 10 % G**	D 15 % G**	Maks. krav i N200, kap. 603.221
PRDAIR, %	5,6	3,6	3,1	7,1	5,0
Gj.snittlig Sample Rut Rate ved N>12000, mm/1000 Cycles	0,02500	0,01125	0,00813	0,02125	
Densitet, g/cm³	2,451	2,401	2,390	2,457	

*Verdiene er basert på testresultater for borkjerne A1 og B1

**Gjennomsnittsverdier av testresultater for borkjerner C1 og C2, og D1 og D2

Resultatene for 10 % tilsetning (B og C) gir best resultat og er de eneste som ligger under kravet i N200 om maks 5 % sporutvikling ved aktuell ÅDT.

Når en ser samlet på resultatene fra de tre kjøringene i Wheel track ser man at rangeringen av variantene veksler og i snitt kommer likt ut.

2.6 Prall

Resultatene fra testing av motstand mot piggdekkslitasje på borkjerner med 10 cm diameter i Prall er gitt i Tabell 6.

Tabell 6 Resultater fra testing med Prall

Forsøksfelt	A Referanse	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Maks. krav i N200, kap. 603.223
Slitasje, cm³	21,5	24,2	26,9	25,9	22
Densitet, g/cm³	2,438	2,384	2,366	2,396	

Det er her bare referansedekket A som ligger under kravet om maks 22 cm³ slitasje for dekker med aktuell ÅDT.

2.7 Cantabro

Resultatene fra testing av motstand mot partikkeltap ved slagpåkjenning på borkjerner med 10 cm diameter ved Cantabro-metoden er gitt i Tabell 7.

Tabell 7 Resultater fra testing med Cantabro-metoden

Forsøksfelt	A Referanse	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G
Partikkeltap, %	3,5	4,6	5,5	3,2
Hulrom, %	2,4	4,1	5,4	2,8
Densitet, g/cm³	2,437	2,393	2,361	2,427

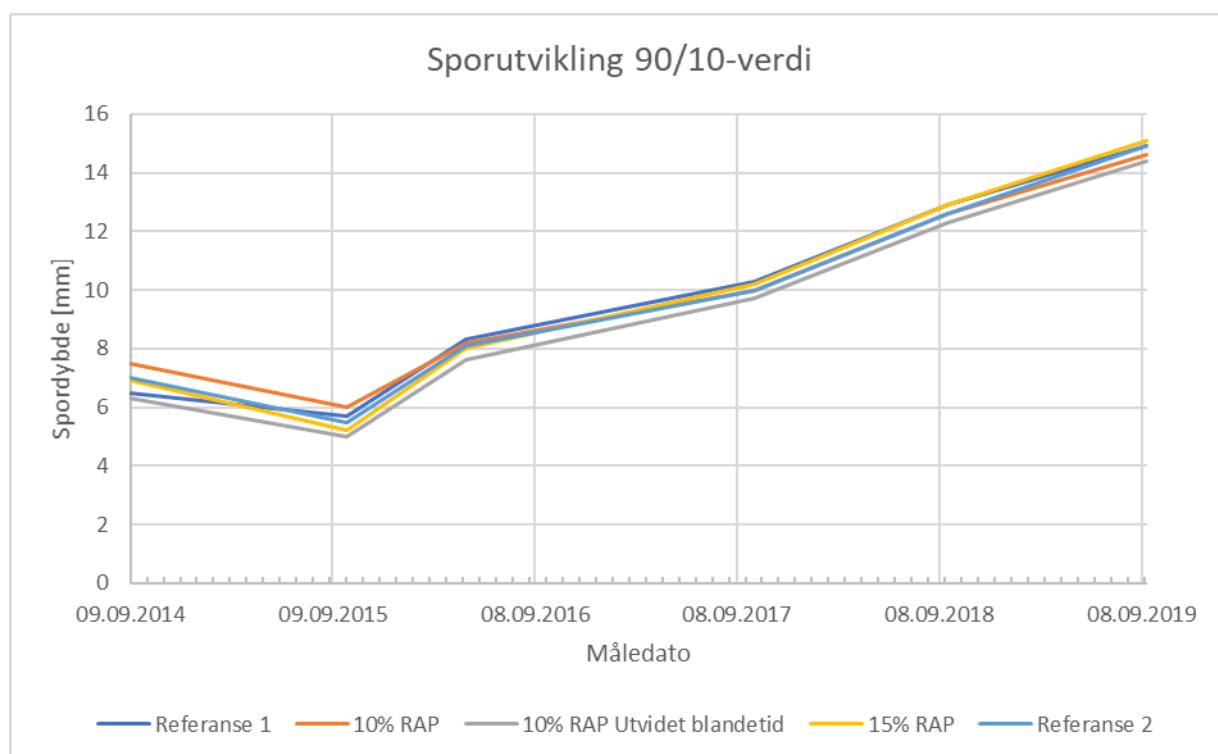
Det er ikke stilt krav til denne metoden og det er ikke store forskjeller, men en ser at de tetteste prøvene greier seg som forventet best.

2.8 Sporutvikling

Prøvestrekningene er tilstandsregistrert årlig fra og med september 2014 se Tabell 8.

Tabell 8 Spordata for perioden 2014 til 2019 (90/10-verdi)

Måledato	A Referanse	10% RAP	10% RAP Utvidet blandetid	15% RAP	E Referanse
09.09.2014	6,5	7,5	6,3	6,9	7,0
05.10.2015	5,7	6,0	5,0	5,2	5,5
06.05.2016	8,3	8,2	7,6	8,0	8,1
08.10.2017	10,3	10,0	9,7	10,2	10,0
23.09.2018	12,9	12,6	12,3	12,9	12,6
18.09.2019	14,9	14,6	14,4	15,1	14,9



Figur 7 Sporutvikling som 90/10-verdi

I løpet av de 5 årene dekket har ligget under trafikk har det ikke vært noen signifikant forskjell i sporutvikling.

Dersom man lager en minste kvadraters tilpassing til slitasjedataene i det lineære området fra og med 06.05.2016 finner man at de når utløsende vedlikeholdsstandard på 20 mm på datoene gitt i Tabell 9.

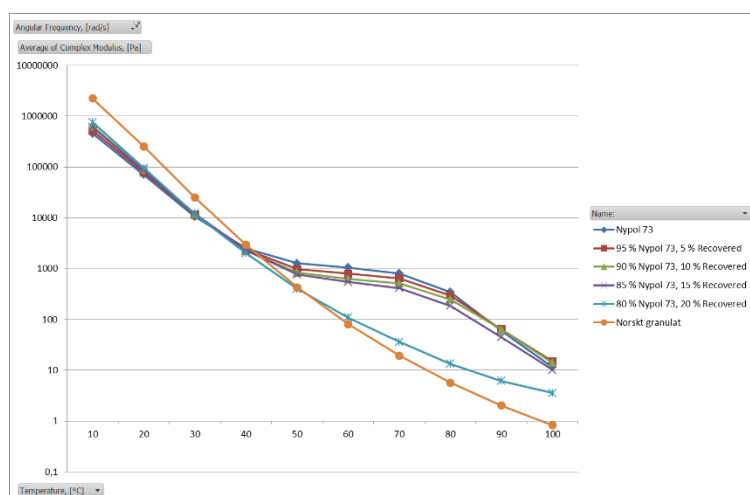
Tabell 9 Dato vedlikeholdsstandarden overskrides mhp spor (90/10-verdi)

Strekning	A Referanse 1	B 10% RAP	C 10% RAP Utvidet blandetid	D 15% RAP	E Referanse 2
Dato 20 mm passeres	03.05.2022	04.08.2022	08.07.2022	29.01.2022	03.05.2022

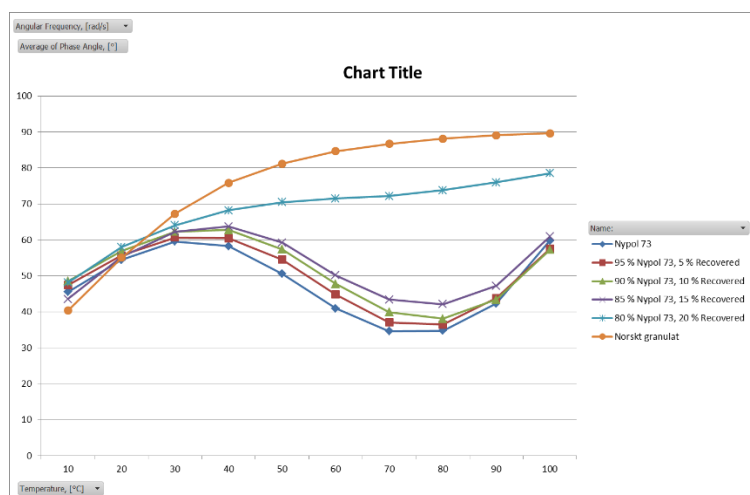
Det er mindre enn 7 måneder som skiller i postulert levetid mellom strekningene, og selv om strekning D med 15 % gjenbruk strengt tatt skal reasfalteres i 2021 siden den passerer 20 mm i løpet av vinteren 2021/2022 dersom prognosen holder seg, så antas alle å få 8 års levetid. Normert levetid i henhold til N200 med det aktuelle trafikkgrunnlaget er 4-5 år så det kan antas at det ikke er noe fundamentalt galt med dekket.

2.8 Fasevinkel og kompleksmodul

Etter ferdigstillingen av masteroppgaven ble det ved Nynas laboratorium i Nynäshamn også bestemt fasevinkel og kompleksmodulus med DSR på prøver av PMB tilsatt ulike mengder med bitumen gjenvunnet fra granulat benyttet ved dette prosjektet. Utgangs-PMB var Nypol 73 (40/100-75) og det ble tilsatt 5 %, 10 %, 15 % og 20 % gjenvunnet bitumen. Resultatene er gitt i Figur 8 og Figur 9 [4].



Figur 8 kompleksmodulus G^* som funksjon av temperatur



Figur 9 Fasevinkel som funksjon av temperatur

Som en ser av figurene skjer det et markant skille ved tilsetning av 20 % gjenvunnet bitumen og en kan anta at polymeren da er så uttynnet at det ikke lengre er et fungerende nettverk.

3 Konklusjoner

Etter 5 år ser det ikke ut til å være noen større forskjell i forventet levetid for de ulike variantene som inngår i forsøksstrekningen.

Det er små forskjeller i resultatene med funksjonsrelaterte metoder som Wheel track og Prall, og resultatene trekker eventuelt i hver sin retning.

Bindemiddeltester som MSCRT og bestemmelse av skjærmodul og fasevinkel med DSR viser at tilsetning av umodifisert asfaltgranulat gir en utvanning av polymerens egenskaper, men små mengder som 10 % synes også å kunne ha en positiv effekt på PMBen vurdert på parametre som J_{nr} bestemt med MSCRT.

Statens vegvesen har i ettertid tillatt opptil 10 % tilsetning av umodifisert gjenbruk i masser med PMB. I dette prosjektet ser 15 % tilsetning ut til å gi en begynnende, men ikke vesentlig svekkelse. Siden PMBens respons på tilsetning av umodifisert bitumen bl.a. avhenger av mengde polymer i fersk PMB og polymerens egenskaper så synes maksimalt 10 % tilsetning å være en fornuftig og ikke for konservativ grense.

Erfaringene fra dette forsøket er basert på resirkulert asfalt fra dekker med umodifisert bitumen. Dersom den resirkulerte massen kommer fra fresing av dekker hvor det er benyttet PMB med kjent god kvalitet kan det være grunnlag for å benytte større grader av tilsetning enn 10 %.

Referanser

1. **Mirochnikova, Olga.** *Effekter av tilsatt gjenbruksasfalt på egenskaper for asfaltbetong med polymermodifisert bindemiddel for bruk på høytrafikkert veg.* Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU. Trondheim : NTNU, 2015. s. 211, Masteroppgave.
2. **Statens vegvesen.** *Håndbok N200 Vegbygging.* Oslo : Vegdirektoratet, 2014. ISBN: 978-82-7207-672-5.
3. —. *R210 Laboratorieundersøkelser.* Oslo : Vegdirektoratet, 2016. ISBN: 978-82-7207-693-0.
4. **Nynas.** *Laboratorierapport R15-01: PMB med olika mängd återvunnet bindemedel.* Nynäshamn : Nynas, 2015. Laboratorierapport. Kontakt: Henrik Arnerdal.