

## Sluttrapport fra forsøk med ulike mengder modifisert resirkulert asfalt i masser med PMB

### E16 Kløfta – Nybakk



Foto: Mai 2023, Borgenkrysset retning Kløfta, Forsøksfelt er ytre felt til venstre

Eirik Ohma Solberg

Høvik, september 2023

## Innhold

0. Bakgrunn .....	3
1. Oppfølging .....	5
1.1 Bindemidler .....	5
1.2 Under produksjon.....	5
1.3 Under utlegging.....	5
1.4 Etter utlegging .....	5
2. Resultater .....	7
2.1 Hulrom ferdig utlagt dekke.....	7
2.2 IR-skanning .....	7
2.3 Tradisjonelle bindemiddelanalyser før herding.....	7
2.4 Bindemiddelanalyser etter herding med RTFOT .....	8
2.4.1 Bending Beam Rheometer .....	8
2.4.2 MSCRT.....	9
2.4.3 Temperatursensitivitet .....	10
2.5 Wheel Track .....	12
2.6 Sporutvikling.....	13
2.7 Vanninnhold i resirkulert asfalt .....	14
2.8 Kornkurver og bindemiddelinnhold .....	14
3. Konklusjon .....	14
Referanser .....	15

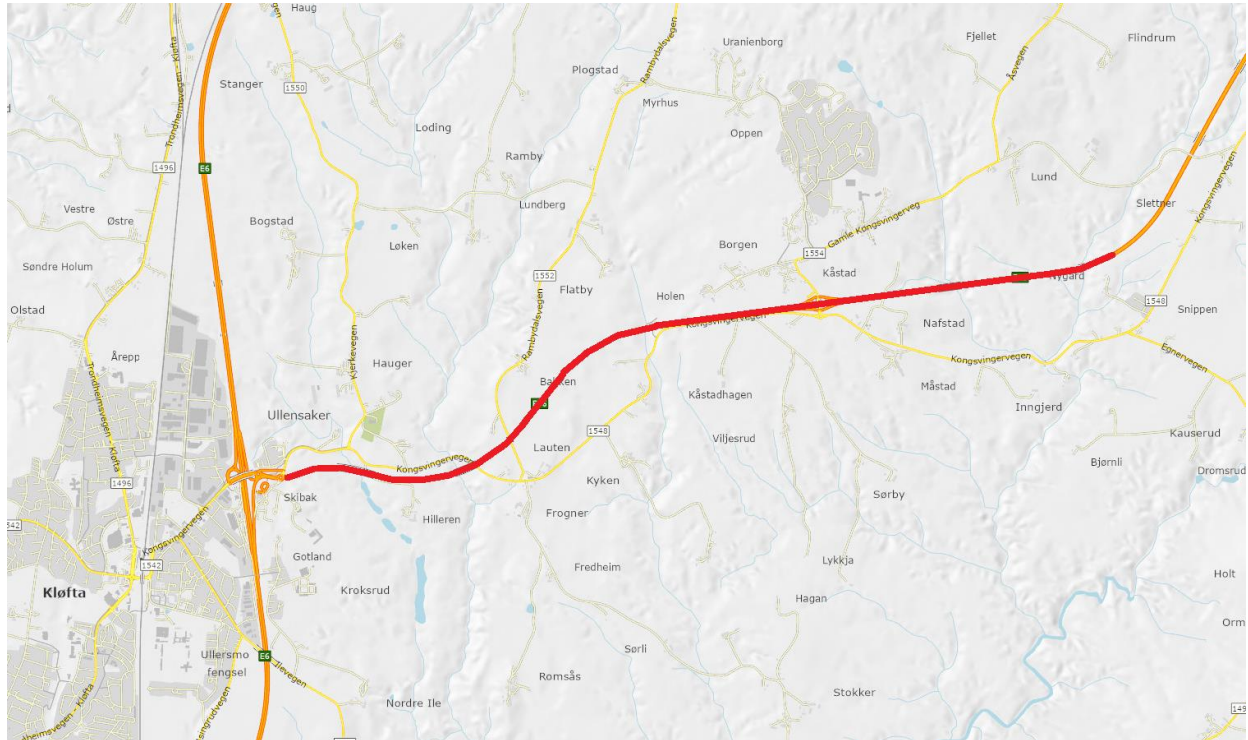
## O. Bakgrunn

Statens vegvesen har frem til 2018 ikke tillatt tilsetning av resirkulert asfalt (RA) i masser med PMB av frykt for at det umodifiserte bindemiddelet i den resirkulerte asfalten skulle redusere den ønskede effekten av PMB. KFA initierte i 2014 derfor et prosjekt i samarbeid med Statens Vegvesen for å se hvor stor effekt en tilsetning på 10 % og 15 % umodifisert asfaltgranulat ville gi i PMB-masser. Resultatene fra prosjektet førte til at 2018-utgaven av N200 tillater opptil 10 % tilsetning av RA i PMB-masser. 2022-utgaven har videreført det samme kravet. Som en oppfølging og videreutvikling av prosjektet initierte KFA et nytt prosjekt i 2016 der man ønsket å se nærmere på tilsetning av RA med opphav fra PMB-masser i masser med PMB. Fordi det vil bli en økning av RA fra PMB-dekker i årene fremover ønsket en å se nærmere på effekten av tilsatt RA ved 10 %, 20 % og 30 % ved varm tilsetning og 10 % kald tilsetning. Det er et ønske om å utnytte PMB-bindemiddelet i RA på en best mulig måte.

Underveis i prosjektet har følgende firma og personer bidratt til prosjektet

Byggherre:	Statens Vegvesen	K. Torgersen
Entreprenør utlegging:	Veidekke Industri AS	B. Bergan, O. Christiansen, J. Bøie, M. Bothner
Produsent asfalt:	Feiring Asfalt AS	P. Glamo, O.B. Lunde, T. Westby, N. Egeberg
For KFA:	Veiteknisk Institutt	R. Telle

I forbindelse med prosjektet ble det etablert en forsøksstrekning på E16 fra Kløfta retning Nybakk (ytre felt østgående), se figur 1.



Figur 1 - Plassering av forsøksstrekning

Oversikt over forsøksfeltene finnes i figur 2. Vegsystemreferanse er endret siden utførelsen. Det ene forsøksfeltet er ikke en del av prosjektet. Under utførelsen av dette feltet ble det brekkasje på en fres. Dette førte til at asfaltmassen ble stående på lastebil i flere timer, som resulterte i høy risikoandel under IR-skanning. Forsøksfeltet ble repetert dagen etterpå og derfor er det felt E (dag 2) som inkluderes i prosjektet.

Felt	Massetype	Parsell, Hp 4	Lengde, m	Risikoandel IR-skanning, %
A	Ab 16 PMB referanse 1	m362-1105	743	0,87
B	Ab 16 PMB 10 % varm tilsetn. RA	m1105-1905	800	1,59
C	Ab 16 PMB 20 % varm tilsetn. RA	m1905-2905	1000	1,2
D	Ab 16 PMB 30 % varm tilsetn. RA	m2905-3705	800	0,74
Forkastet	Ab 16 PMB 10 % kald tilsetn. RA	m3705-m4105	400	5,12
E	Ab 16 PMB 10 % kald tilsetn. RA	m4105-4900	795	1,19
F	Ab 16 PMB referanse 2	m4900-5800	900	0,82

**Figur 2 - Oversikt over forsøksfelt**

Asfaltgranulatet er sortert og har kjent opprinnelse fra E6 ved Alnabru, utlagt i 2011, frest i 2016. Den resirkulerte asfalten har samme type bindemiddel og steinmateriale som den nyproduserte asfalten.

I forbindelse med prosjektet ble det også skrevet en masteroppgave av T. Vannebo. I hennes oppgave omtales energiforbruk ved produksjon, CO<sub>2</sub>-utslipp, levetid og økonomi ut fra et bærekraftperspektiv. Denne rapporten vil sammenfatte prosjektets resultater med en mer asfaltteknisk tilnærming.

# 1. Oppfølging

I tillegg til ordinær oppfølging iht. TR2505 og produksjonskontroll er dekkeleggingen fulgt opp med intensivert prøveuttak beskrevet i en forsøksplan samt måling av spor og jevnhet over en 7-årsperiode.

## *1.1 Bindemidler*

I forkant av prosjektet ble det tatt ut prøver av fresemassen til gjenvinning av bindemiddel. Underveis i prosjektet skulle det også tas ut prøver av det jomfruelige bindemiddelet, slik at alle opphav til bindemiddel i normert sluttmasse kunne bli testet.

## *1.2 Under produksjon*

Asfaltprodusenten foretar testing av fuktinnhold i granulatet. Det tas også ut asfaltmasseprøver i fabrikken for senere testing i laboratorium.

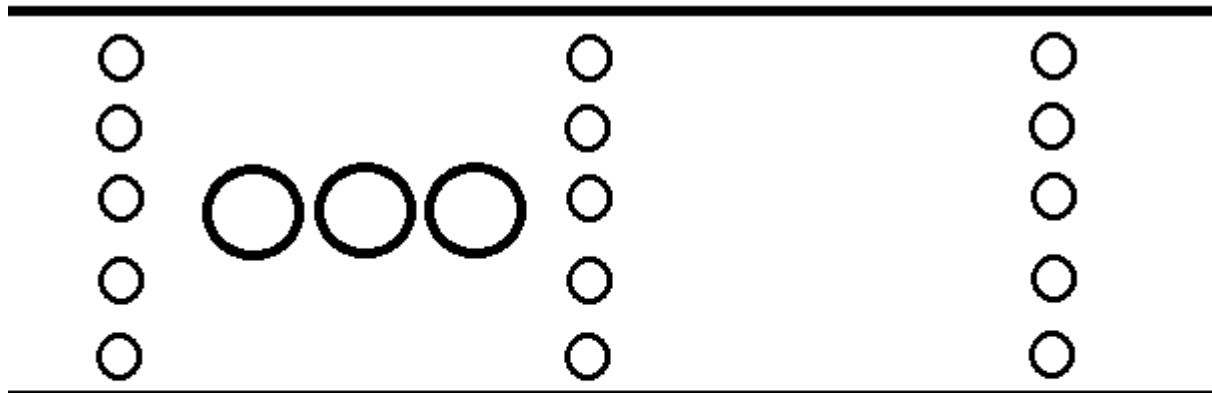
## *1.3 Under utlegging*

For hver leggeparsell ble det foretatt en utvidet kontroll av densitet. I området mellom lassbytter i hvert prøvefelt ble det utført til sammen 15 densitetsmålinger over 3 tverrprofiler. Det ble utført IR-skanning av dekkene.

Densitetsmåler ble kalibrert mot borkjerner ved oppstarten for å sikre god overenstemmelse. Hulrom er utregnet ved å sammenlikne målt densitet med dekkets kompaktdensitet. Hulrom beregnet fra densitetsmålinger er korrekt hvis massens sammensetning er identisk med kontrollgrunnet.

## *1.4 Etter utlegging*

Det ble tatt ut 3 stk. 200 mm borkjerner i hvert prøvefelt for testing av Wheel Track. Kjøreretningen ble avmerket på disse prøvene. Prøvene ble også analysert for densitet/hulrom.

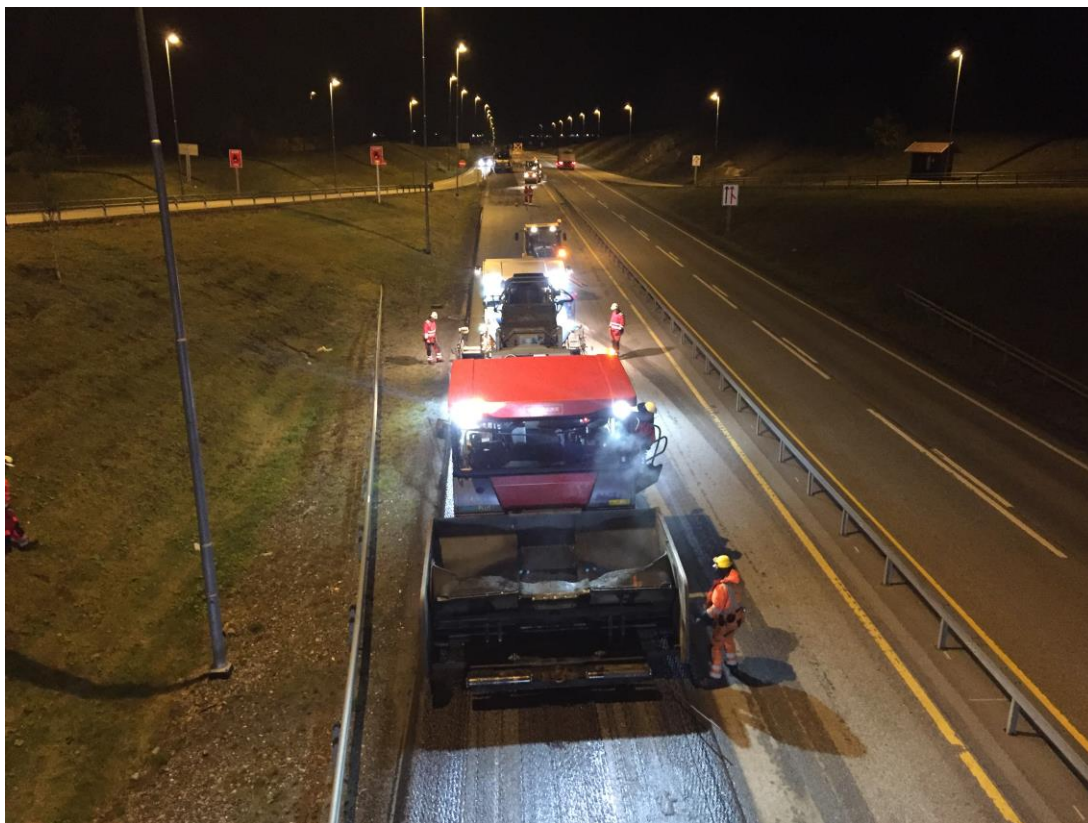


 200 mm.  
borkjerne

 Isotopmåling

Figur 3 - Prøveuttaksplan for ett prøvefelt

Aktuelle resultater fra forsøksplanen presenteres i neste kapittel.



Figur 4 - Forsøksfelt under utlegging, Borgenkrysset sett i retning Kløfta, august 2016

## 2. Resultater

### 2.1 Hulrom ferdig utlagt dekke

Hulrom ble kontrollert med densitetsmåler (Seaman 300) ved utlegging, 15 målinger av hvert prøvefelt. Det ble også utført hulromsanalyse for hver av de tre 200 mm borkjernene som ble tatt ut i hvert prøvefelt for testing i Wheel Track. For borkjerner er hydrostatisk overflatetørr metode benyttet. I beregningene er maksimaldensitet oppgitt for densitetsmålingene fra Veidekke benyttet for å finne hulromsprosent.

Felt	Massetype	Hulrom densitetsmåler, %			Hulrom borkjerner, %		
		Snitt	Min.	Maks.	Snitt	Min.	Maks.
A	Ab 16 PMB referanse 1	3,3	0,3	6,8	3,9	3,3	4,9
B	Ab 16 PMB 10 % varm tilsetn. RA	3,0	0,6	5,1	1,4	1,1	1,8
C	Ab 16 PMB 20 % varm tilsetn. RA	3,0	1,1	4,3	1,7	1,3	1,9
D	Ab 16 PMB 30 % varm tilsetn. RA	2,8	0,2	6,6	1,8	1,5	2,1
E	Ab 16 PMB 10 % kald tilsetn. RA	3,0	1,1	4,5	2,1	1,4	2,6
F	Ab 16 PMB referanse 2	3,6	1,9	5,2	2,6	1,8	3,0

Figur 5 - Hulrom

Kravet til massetyper er at hulrommet skal ligge på 2,0-5,0 %. Densitetsmålingene viser at alle massetyper har et snitt på rundt 3,0 %, borkjernene et noe lavere snitt. Det er enkelte «slengere» i målingene. Resultater fra densitetsmåling og analyse av borkjerner sammenfaller godt.

### 2.2 IR-skanning

IR-skanning måler overflatetemperaturen av asfaltdekket rett bak screeden på utleggeren og temperaturvariasjonene benyttes som et mål for dekkets homogenitet. Er det liten variasjon i temperatur på dekkeoverflaten er dekket homogent, er variasjonen stor er det et tegn på inhomogen asfalt. Normalt er lassbyttepartiene kritiske med hensyn til homogenitet på grunn av separasjon i asfaltmassen.

Risikoareal er de deler av dekkeoverflaten som har målt temperatur som ligger lavere enn 90 % av flytende middelvei for det aktuelle leggerfelt.

Risikoandel under 2 % regnes som et godt resultat, risikoandel mellom 2 % og 5 % som akseptabelt.

Som man ser i figur 2 ligger risikoandelen fra 0,8 % til 1,6 %. IR-skanningen viser at dekkene er homogene, noe som gir et godt grunnlag for å sammenligne forsøksfeltene.

### 2.3 Tradisjonelle bindemiddelanalyser før herding

RA-granulat som ble tatt ut i forbindelse med produksjon ble gjenvunnet i rotavapor. I laboratoriet gjenskapte man så de ulike blandingene slik som på vei. Det jomfruelige bitumenet var Nypol 82. Dette tilfredsstillende klassen 65/105-80, som ikke lenger eksisterer i N200. Av den grunn er gjeldende krav til kohesjon benyttet for 40/100-75 i figuren nedenfor (\*). Benyttet bitumen for granulatet i 2011 er opplyst til også å være 65/105-80.

	Nypol 82	Blanding 10% RA	Blanding 20 % RA	Blanding 30 % RA	100 % RA	Krav N200 fersk PMB
Penetrasjon [0,1mm]	70	65	55	49	26	65-105
Mykningspunkt [°C]	95	94,5	78,0	72,8	66,6	≥80
Kohesjon [J/cm <sup>2</sup> ]	2,1	2,5	3,0	3,4	4,9	≥2*

**Figur 6 - Bindemiddelanalyser før herding**

Det kan bemerkes at mykningspunktet synker mye for gjenvunnet RA (dersom det er korrekt at det ble benyttet 65/105-80 i 2011). Dette var også tilfelle da bitumen ble gjenvunnet fra veiprøver under forsøket i 2014. Årsaken er at polymernetverket antakeligvis blir nedbrutt over tid når det ligger ute på veien. Penetrasjonsverdien synker som forventet for gjenvunnet RA.

Fersk PMB og 10 % blanding RA tilfredsstillt krav i N200. Det lave mykningspunktet og den lave penetrasjonsverdien for gjenvunnet RA gjør at blandinger i dette forsøket på ≥20 % RA ikke tilfredsstillt kravene til penetrasjon og mykningspunkt i N200.

## 2.4 Bindemiddelanalyser etter herding med RTFOT

De ulike sammensetninger av bindemidler ble korttidsaldret med Rolling Thin Film Oven Test og ble deretter analysert i tre forskjellige analyser.

### 2.4.1 Bending Beam Rheometer

BBR forteller om lavtemperateregenskapene til bindemiddelet.

	Nypol 82	Blanding 10 % RA	Blanding 20 % RA	Blanding 30 % RA	100 % RA
Kritisk temperatur [°C]	-20,5	-20,0	-19,0	-19,5	-19,5

**Figur 7 - BBR, kritisk temperatur [°C]**

Som forventet er det jomfruelig bitumen som er minst herdet som tåler lave temperaturer best. BBR sier ingenting om hvor mye tøyning bindemiddelet tåler før brudd.

Krypstivheten viser bindemiddelets evne til å motstå belastninger

	Nypol 82	Blanding 10 % RA	Blanding 20 % RA	Blanding 30 % RA	100 % RA
Ved -18 grader	172	187	179	188	193
Ved -24 grader	324	369	378	391	398

**Figur 8 - Krypstivhet, S [MPa], ved ulike temperaturer**

Det er økende verdier med økt innblanding av RA. Høyere verdier betyr at materialet er sprøere og i større grad er utsatt for oppsprekking. Det er liten variasjon i krypstivhet mellom de ulike blandingsene.

Kryphastigheten viser hastigheten på spredning av belastninger.



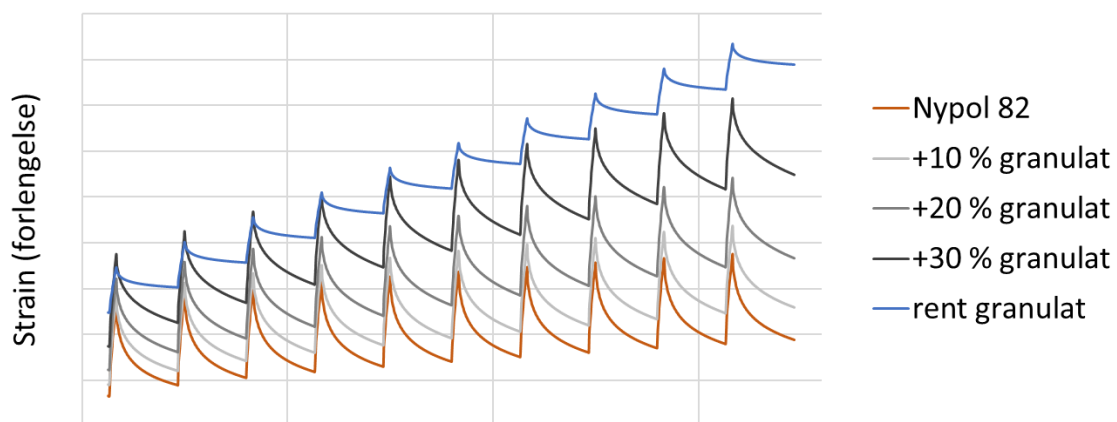
	Nypol 82	Blanding 10 % RA	Blanding 20 % RA	Blanding 30 % RA	100 % RA
Ved -18 grader	0,325	0,321	0,313	0,314	0,315
Ved -24 grader	0,263	0,253	0,255	0,256	0,254

**Figur 9 - Kryphastighet, m [], ved ulike temperaturer**

Jomfruelig bitumen har høyest verdier. Lavere verdier øker faren for oppsprekking av dekket. Det er liten variasjon i kryphastighet mellom de ulike blandingene.

#### 2.4.2 MSCRT

Multiple Stress Creep Recovery Test utføres i et dynamisk skjær-reometer (DSR) der prøvene blir utsatt for skjærkrefter i 10 sykluser ved to forskjellige spenningsnivåer. I testen måles tilbakegangen av materialer mellom syklusene og resultatene forteller noe om hvor modifisert bindemiddelet er.



**Figur 10 - Utvikling av forlengelsen gjennom ti sykluser for alle blandinger**

Jomfruelig Nypol 82 er det som gir minst syklisk og permanent forlengelse og er dermed mest modifisert.

	Nypol 82	Blanding 10 % RA	Blanding 20 % RA	Blanding 30 % RA	100 % RA
Jnr ved 0,1 kPa [1/kPa]	0,033	0,048	0,065	0,096	0,136
% Recovery ved 0,1 kPa [%]	94	92	89	84	54
Jnr ved 3,2 kPa [1/kPa]	0,039	0,055	0,073	0,110	0,151
% Recovery ved 3,2 kPa [%]	94	91	88	82	50
Jnr, diff [%]	18	15	12	15	11

**Figur 11 - Resultater fra MSCRT**

$J_{nr}$ , er gjenværende tøyning etter en kryp- og tilbakegangssyklus, delt på den påførte skjærspenningen (enhet  $kPa^{-1}$ ). Lav verdi tilsvarer god motstand mot deformasjoner. Verdiene øker med økt tilsetning av RA.

% Recovery er gjennomsnittlig elastisk tilbakegang for 10 sykluser. Alle blandinger unntatt 100 % RA ligger innenfor grensekurven for å regnes som modifisert.

$J_{nr, diff}$  er spenningssensitiviteten beregnet ut fra forskjellen mellom  $J_{nr}$  for de to ulike spenninger. Ingen av prøvene er spenningssensitive (<75 %).

#### 2.4.3 Temperatursensitivitet

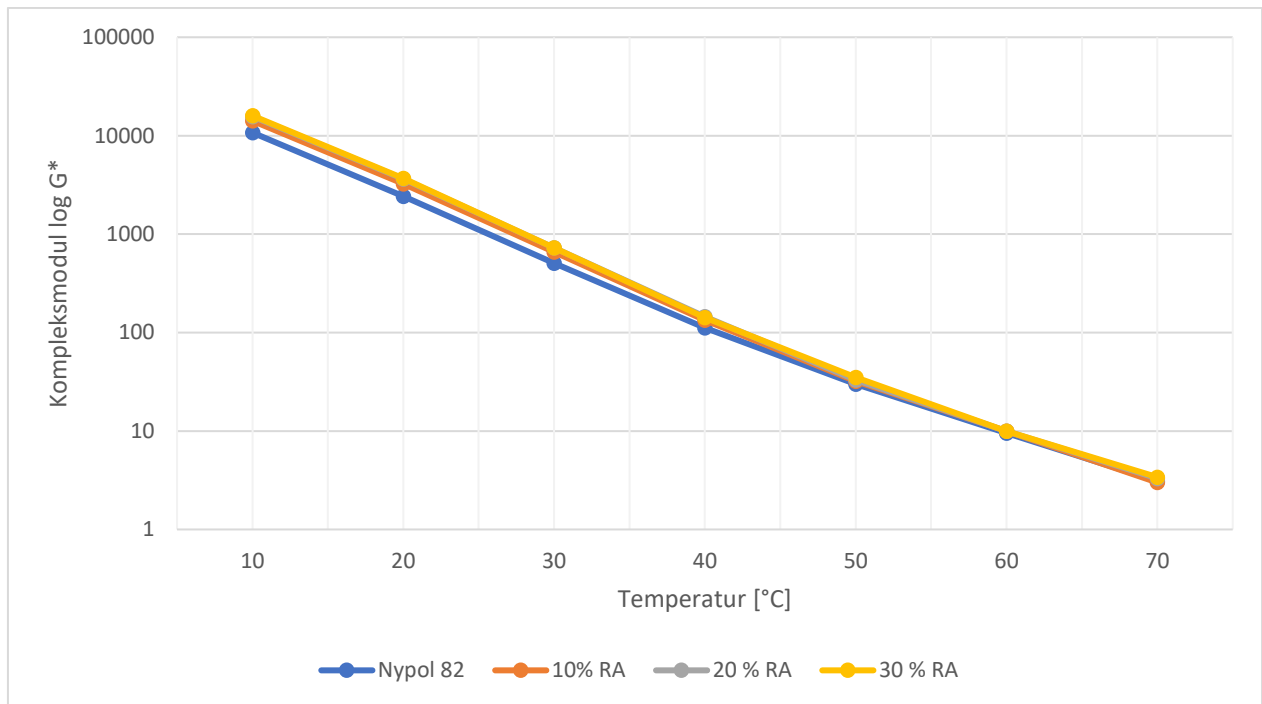
$G^*/\sin\delta$  er et mål for deformasjonsmotstand.

	20 °C	60 °C	80 °C
Nypol 82	3280	11,2	1,36
Blanding 10 % RA	4420	11,5	1,39
Blanding 10 % RA	4930	11,4	1,36
Blanding 30 % RA	5044	11,4	1,33

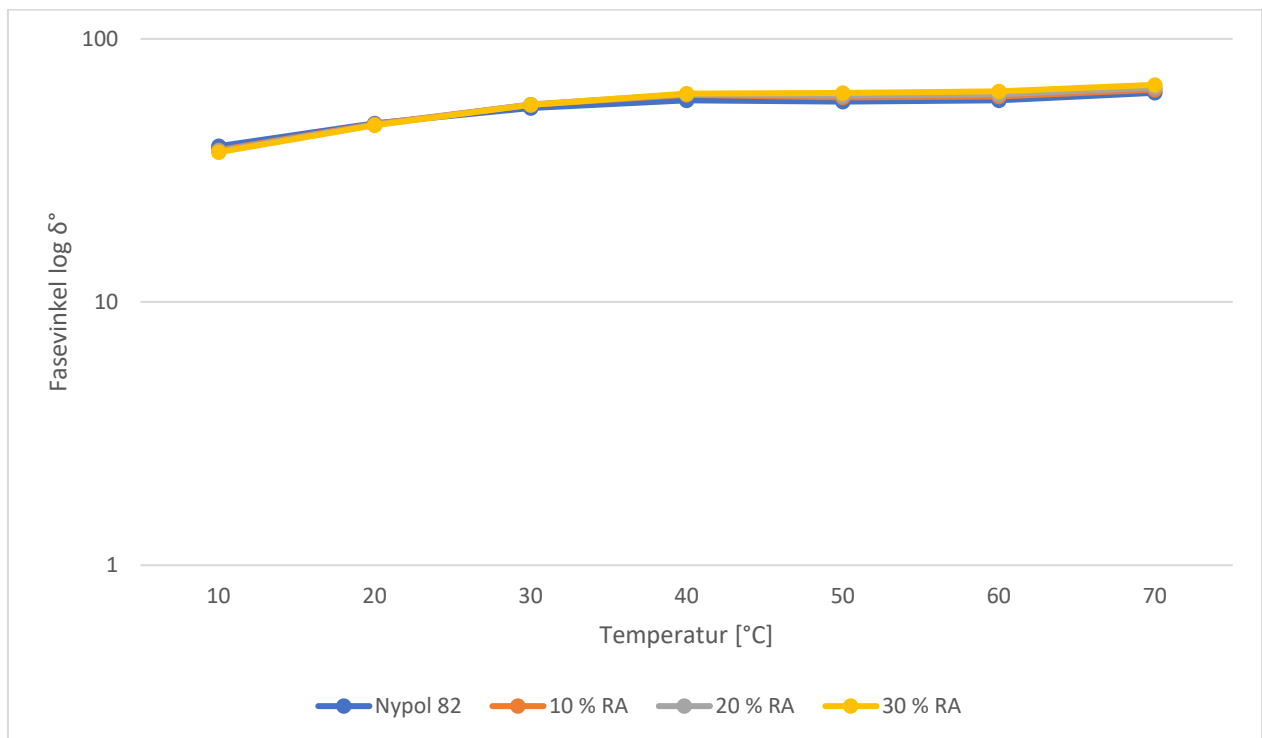
**Figur 12 - Deformasjonsmotstand ved ulike temperaturer [kPa]**

Det er kun ved lav temperatur (20 grader) at vi kan se en betydelig forskjell i stivhet.

Kompleksmodul er forholdet mellom maksimal spenning og maksimal deformasjon. Fasevinkel er faseforskjellen mellom maksimal spenning og maksimal deformasjon og er et mål på graden av elastisitet. Fasevinkel  $0^\circ$  er helt flytende og fasevinkel  $90^\circ$  er helt elastisk. Bitumen er et viskoelastisk materiale og polymermodifisert bitumen er som regel mer elastisk enn penetrasjonsbitumen



**Figur 13 – Kompleksmodul log G\* ved ulike temperaturer**



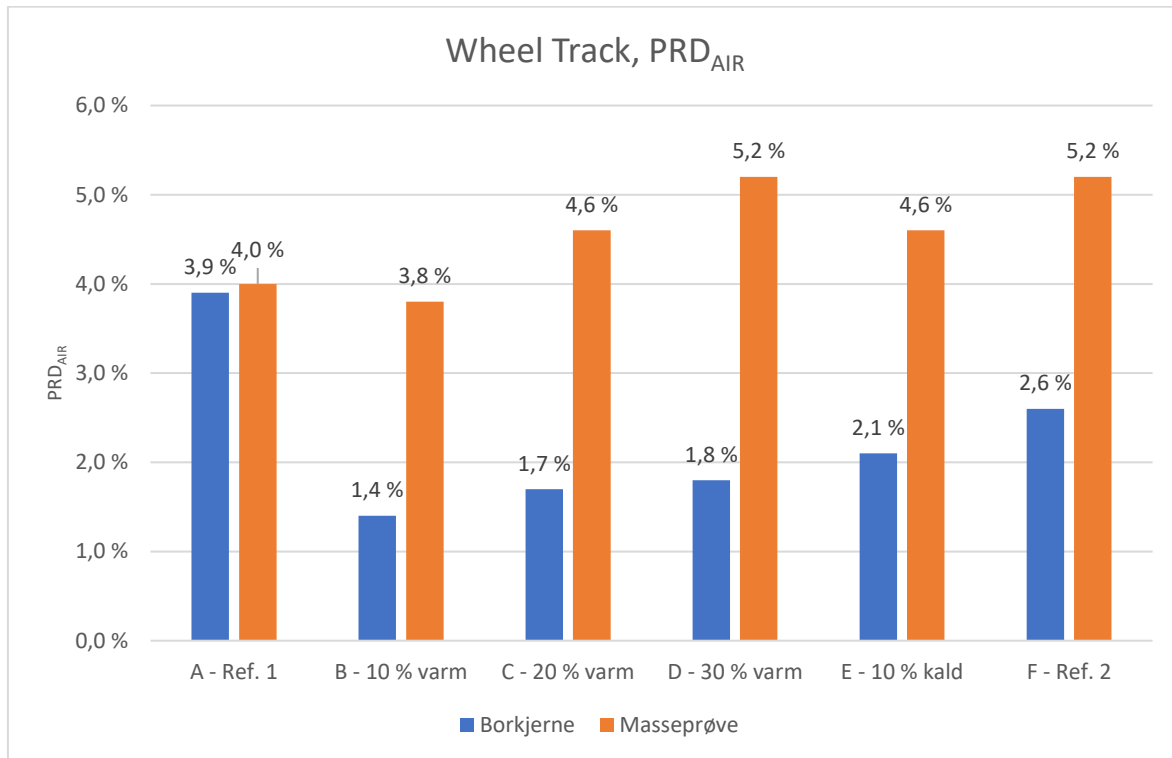
**Figur 14 – Fasevinkel log  $\delta^\circ$  ved ulike temperaturer**

Når det gjelder temperatursensitivitet er forskjellen, som vi ser av figurene over, minimal mellom de ulike blandinger. Alle blandinger har ifølge analysen et velfungerende polymernetverk.

## 2.5 Wheel Track

Wheel Track Test er en simulering av motstand mot permanente deformasjoner for en asfaltmasse. Analysen angir prosentvis deformasjon av prøvetykkelsen etter at asfalmiksen har blitt utsatt for 20.000 dynamiske hjulpasseringer.

Under produksjon ble det tatt ut masseprøver for testing i Wheel Track. For hvert prøvefeld er det utført to paralleller for masseprøver og tre paralleller for borkjerner. I figur 14 er sammenstilte resultater for både borkjerner og masseprøver.



**Figur 15 - Wheel Track-resultater**

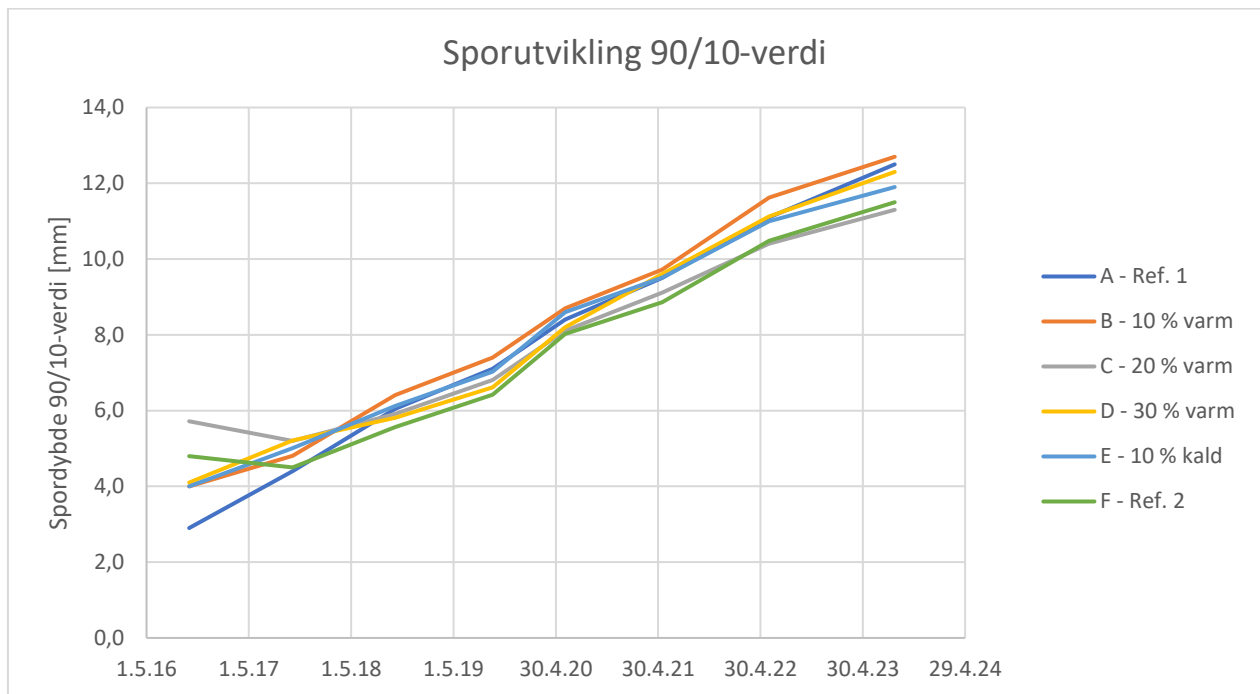
For alle massene med tilsatt RA er det spesielt stort sprik i resultatene for borkjerner og for masseprøver. Kravet i N200 er maksimal spordybde på 5,0 % for laboratorielagde prøver ved ÅDT>10000 (dagens ÅDT på strekningen er 14000). Prøvene for felt D og F overholder ikke kravene til motstand mot permanente deformasjoner.

## 2.6 Sporutvikling

Prøvestrekningen er tilstandsregistrert årlig fra og med september 2016 tom. august 2023., se figurer under.

Måledato	A - Ref. 1	B - 10 % varm	C - 20 % varm	D - 30 % varm	E - 10 % kald	F - Ref. 2
30.09.2016	2,9	4,0	5,7	4,1	4,0	4,8
04.10.2017	4,4	4,8	5,2	5,2	5,0	4,5
05.10.2018	6,1	6,4	5,9	5,8	6,1	5,6
18.09.2019	7,1	7,4	6,8	6,6	7,0	6,4
03.06.2020	8,4	8,7	8,1	8,2	8,6	8,0
14.05.2021	9,5	9,7	9,1	9,6	9,5	8,9
31.05.2022	11,1	11,6	10,4	11,1	11	10,5
22.08.2023	12,5	12,7	11,3	12,3	11,9	11,5

Figur 16 - Spordata 90/10-verdi [mm]



Figur 17 - Sporutvikling i perioden 2016-2023 [mm]

Som man ser av figurene over har sporutviklingen i 7-årsperioden vært nokså lik for alle prøvefelt.

Dersom man lager en minste kvadraters tilpasning i det lineære området fra og med 04.10.2017 kan vi se på datoen for utløsende dekkevedlikehold (når spor når 20 mm dybde).

	A - Ref. 1	B - 10 % varm	C - 20 % varm	D - 30 % varm	E - 10 % kald	F - Ref. 2
Dato spor 20mm	April 2028	Februar 2030	August 2032	August 2028	September 2028	August 2030

Figur 18 - Dato for overskridelse av vedlikeholdsstandard mhp. spor

Det er nesten 4,5 års forskjell (A og C) i tidspunkt for 20 mm spor. Forskjellen mellom de to like referansene (A og F) er nesten 2,5 år. Dersom vi tar utgangspunkt i 75 % trafikkbelastning i ytre felt er normert dekkelevetid i N200 5 år, men bruk av PMB anslås å øke levetiden med 40 % (rapportert fra Statens vegvesen region Øst). Alle dekkene ser ut til å ha betydelig lengre levetid enn 7 år.

## 2.7 Vanninnhold i resirkulert asfalt

Underveis i prosjektet ble vanninnholdet i RA kontrollert fire ganger, se oversikt under.

Dato	25.08.2016	26.08.2016	30.08.2016	30.08.2016
Vanninnhold [%]	4,3	4,2	4,7	3,8

Figur 19 - Vanninnhold i RA

Vanninnholdet ligger på omkring 4 %. Dette er et forholdsvis høyt innhold og kan skape utfordringer spesielt ved kald tilsetning.

## 2.8 Kornkurver og bindemiddelinhold

Totalt åtte stikkprøver ble analysert som ordinær byggherrekontroll. Analyse av kornkurver og bindemiddelinhold viser at alle kornkurver er innenfor toleransegrensene.

Bindemiddelinhold resept [%]	Snitt bindemiddelinhold [%]	Laveste bindemiddelinhold [%]	Høyeste bindemiddelinhold [%]
5,6	5,2	4,4	5,6

Figur 20 - Bindemiddelinhold i åtte stikkprøver

Dersom Ab mangler 1,2 prosentpoeng bindemiddel (se laveste verdi i figur) ville det ha vært tydelig merkbart visuelt både under og etter utlegging. Det er ikke rapportert om tørre områder på forsøksstrekningen. Om vi forkaster denne prøven fordi det antas at det er noe feil, ligger snitt bindemiddelinhold på 5,4 % der laveste verdi er 5,2 %. I så fall er alle prøvene innenfor toleransegrensene.

## 3. Konklusjon

De tradisjonelle bindemiddelanalysene viser ikke tilfredsstillende resultater ved >10 % tilsetning av RA med PMB. De reologiske undersøkelsene viser i motsetning til de tradisjonelle undersøkelsene at bindemiddelet har omkring lik kvalitet som ferskt bitumen i de blandingene som er testet. Dersom tilsetningsmengden skal økes utover gjeldende krav, kan bindemidlene dokumenteres med dynamisk skjærreometer som er bedre egnet for å få frem funksjonsegenskapene til PMB.

Sporutviklingen for forsøksfeltene viser at det ikke er noen forskjell i levetid mellom forsøksfeltene dersom spor er utløsende faktor for dekkefornyelse. Dekkelevetiden er vesentlig lenger enn normert levetid for samtlige forsøksfelt i prosjektet.

Forsøkene viser tilfredsstillende kvalitet for alle forsøksfeltene. Det viser at både 20 % og 30 % tilsetning av resirkulert asfalt med PMB kan benyttes i produksjon av asfalt med PMB. Dette vil kreve en god sortering av resirkulert asfalt og kvalitetskontroll av bindemiddelet i den resirkulerte asfalten.

I henhold til Vegnormalene, N200, er maksimal tillatt mengde resirkulert asfalt i PMB-masser 10 %. Dette fordi en høy tilsetning av resirkulert asfalt med penetrasjonsbitumen sannsynligvis vil ødelegge egenskapene til det polymermodifiserte bitumenet. Skal mengden resirkulert asfalt økes ved tilsetning av resirkulert asfalt med PMB i PMB-masser, foreslås dette gjennomført ved et avtalt fravik i hvert enkelt tilfelle der hvor forholdene ligger til rette for en økt tilsetning.

## Referanser

KFA-forsøk 2016, NABin 31.10.2017, Wenche Hovin, Statens Vegvesen

Polymermodifisert bitumen – Egenskaper og krav, Rapport nr. 489. Statens Vegvesen

Analyserapporter, oppdragsnummer 1160137, Statens Vegvesen

Testrapport, Tr.161387, Veidekke Industri AS

N200 Vegbygging, Statens Vegvesen

Sluttrapport fra forsøk med ulike mengder umodifisert gjenbruk i masser med PMB EV 6 Kløfta 2014, R. Bragstad, 2020