

# Forord

I januar 2014 ble et forsøksprosjekt initiert av Kontrollordningen for asfaltgjenvinning (KFA) i samarbeid med Statens vegvesen. Prosjektet tok sikte på å dokumentere at gjenbruksasfalt fra kjent masstype av tilfredsstillende kvalitet kan tilsettes i ny asfalt med PMB uten at dette forringer kvaliteten. En forsøksstrekning på E6 i Romerike ble reasfaltert med Ab 16 PMB med tilsatt fresemasse. Arbeidet ble finansiert som en del av driftskontrakten 1-02-2014-03 av Dekkeprosjektet ved Statens vegvesen Region øst. Denne studien er gjennomført som en del av dette samarbeidsprosjektet.

Underveis i studien har jeg fått mange nyttige innspill og kommentarer, og vil spesielt takke: Helge Mork ved NTNU og Kristin Torgersen ved Statens vegvesen, for god og konstruktiv veiledning gjennom hele arbeidet. For øvrig rettes det en takk til:

Wenche Hovin, Einar Aasprong, Milos Duric og Kjersti Solstad ved Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim;

Viktor Hedfors og Jan Fredrik Hertenberg ved Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Oslo;

Geir Berntsen ved Dekkeprosjektet, Statens vegvesen Region øst;

Joralf Aurstad ved Vegdirektoratet;

Roar Telle ved KFA;

Anders K. Aamodt, for forståelse, støtte og tilrettelegging gjennom arbeidet med denne oppgaven.

Oslo, mai 2015

Olga Mirochnikova

O asfalt, hva var du, hva er du, hva blir du,  
hvordan har du dog båret deg ad?  
Jeg har deg beundret, meg ofte forundret  
hvilken framtid vil du ha på din vei?

*Utdrag fra Asfaltens lovsang*

*Tekst: Arne Frank Johansen*

## Sammendrag

Hensikten med studien er å dokumentere hvordan tilsatt asfaltgranulat påvirker egenskaper til asfaltbetong (Ab) med PMB (65/105-80) på høytrafikkert veg. Granulatet som er brukt i forsøket stammer fra en kjent kilde og er av god kvalitet, men inneholder vanlig vegbitumen (opprinnelig 70/100).

En ca. 4 km lang strekning av E6 på Romerike ble i 2014 reasfaltert med asfaltmasser iblandet forskjellig mengde asfaltgranulat. Strekningen ble delt inn i fire forsøksfelt med følgende massetyper i slitelaget:

- A) Ab 16 med PMB uten tilsetning av granulat (referanse)
- B) Ab 16 med PMB tilsatt 10 % granulat med vanlig blandetid på 33 sekunder
- C) Ab 16 med PMB tilsatt 10 % granulat med utvidet blandetid på 38 sekunder
- D) Ab 16 med PMB tilsatt 15 % granulat med utvidet blandetid på 38 sekunder

Penetrasjon, mykningspunkt, Fraass bruddpunkt og elastiske egenskaper ble målt på gjenvunnet bitumen fra de forskjellige massetyperne. De elastiske egenskapene ble testet ved hjelp av MSCR-forsøket, i tillegg til måling av elastisk tilbakegang. Borkjerner fra hvert felt ble testet for motstand mot permanente deformasjoner, piggdekkslitasje og partikkeltap.

Litteraturstudien viser at de tradisjonelle bindemiddeltestene som penetrasjon, mykningspunkt og Fraass bruddpunkt er uegnet til indikasjon av funksjonsegenskaper til polymermodifiserte bindemidler, enten med eller uten tilsetninger. MSCR testen ansees derimot for å være en meget god indikator for de elastiske egenskapene til bitumen. Tester og målinger utført i denne studien bekrefter dette inntrykket.

På bakgrunn av de gjennomførte forsøkene kan en påstå at Ab 16 PMB med 10 % tilsatt asfaltgranulat med umodifisert bindemiddel og utvidet blandetid (38 sekunder), kommer best ut (også sammenlignet med referansemassen Ab 16 PMB uten tilsetning av granulat) når det gjelder motstand mot permanente deformasjoner og elastisiteten av bindemiddelet. MSCR-testen viser dessuten at bindemiddelet fortsatt kan betraktes som tilstrekkelig polymermodifisert både ved 10 og 15 % tilsetning av asfaltgranulat med umodifisert bitumen. Selv om funksjonsegenskapene til massene varierer noe både med tilsetningsgraden av asfaltgranulat, og med blandetiden, kan det ikke konkluderes med at den forventede dekkelevetiden blir påvirket i betydelig grad.

## Summary

The purpose of this study is to document how the added reclaimed asphalt pavement (RAP) affects properties of asphalt concrete (AC16) with PMB (65 / 105-80) used as surface layer on highway. The RAP that is used in the trial is coming from a known source and is of good quality, but contains plain vegbitumen (originally 70/100).

An approximately 4 km long road section of the E6 in the eastern part of Norway was in 2014 resurfaced with asphalt concrete mixed with different amount of RAP. The site trial was divided into four experimental areas with these asphalt mixtures in the surface layer:

- A) Ab 16 with PMB without the addition of RAP (reference)
- B) Ab 16 with PMB added 10% RAP with the usual mixing time of 33 seconds
- C) Ab 16 with PMB added 10% RAP with extended mixing time of 38 seconds
- D) Ab 16 with PMB added 15% RAP with extended mixing time of 38 seconds

Penetration, softening point, Fraass breaking point and elastic properties were measured on recovered bitumen from the different mixtures. The elastic properties were tested using MSCR test, in addition to the measurement of elastic recovery. Cores from each trial section were tested for resistance to permanent deformation, abrasion by studded tires and particle loss.

Literature study shows that the traditional binder tests such as penetration, softening point and Fraass breakpoint is unfit for indication of function properties of polymer modified binders, either with or without additives. On the other hand, the MSCR test is considered to be a good indicator of the elastic properties of bitumen. Tests and measurements in this study confirm this contention.

Based on the conducted experiments, it can be claimed that Ab 16 PMB with 10% added RAP with unmodified binders and extended mixing time (38 seconds) has a top performance (also compared to the reference mass Ab 16 PMB without adding granules) in terms of resistance permanent deformation and elasticity of the binder. MSCR test shows that the binder can still be considered sufficient polymer modified at both 10 and 15% addition of RAP with unmodified bitumen. Although functional properties of the mixtures varies both with the addition amount of asphalt granulate, and mixing time, it cannot be concluded that the expected sustainability is affected significantly.

# Innhold

1. Innledning.....	5
2. Teoretisk grunnlag.....	7
2.1. Begreper og definisjoner.....	7
2.2. SHRP: PG-bindemiddelklassifisering og funksjonsbaserte testmetoder.....	8
2.3. Polymermodifiserte bindemidler (PMB).....	13
2.4. MSCR Test – den nye testen for PMB.....	18
2.5. Asfaltdekker med polymermodifiserte bindemidler i Norge.....	22
2.6. Gjenbruk av asfalt.....	24
2.7. Bruk av returafalt i varmblandede verksproduserte massetyper – norske retningslinjer.....	30
2.8. Forskning og erfaringer i andre europeiske land.....	34
3. Felt- og laboratoriearbeid.....	39
3.1. Arbeid i forkant av utlegging.....	41
3.2. Feltarbeid.....	42
3.2.1. Asfaltutlegging på forsøksstrekningen.....	42
3.2.2. Uttak av borkjerner.....	47
3.3. Laboratorieanalyser.....	50
3.3.1. Ekstraksjon av masseprøver.....	50
3.3.2. Bindemiddelanalyser.....	53
3.3.3. Testing av borkjerner.....	61
4. Resultater.....	65

4.1. Arbeid i forkant av utlegging og feltarbeid.....	65
4.2. Bindemiddelanalyser.....	67
4.3. Testing av borkjerner.....	74
5. Diskusjon.....	81
5.1. Arbeid i forkant av utlegging og feltarbeid.....	81
5.2. Bindemiddelanalyser.....	82
5.3. Testing av borkjerner.....	85
6. Konklusjoner og anbefalinger.....	87
7. Videre arbeid.....	89
7.1. Forslag til fordypning i studien.....	89
7.2. Generelle anbefalinger for videre arbeid innen varm gjenbruk av asfalt.....	90
8. Referanser.....	93

## Vedlegg

Vedlegg 1 Oppgaveteksten

Vedlegg 2 LCA- og LCCA-skjemaer for gjenbruksprosjektet

Vedlegg 3 Arbeidsreseptene for asfaltmassene

Vedlegg 4 Historiske dekke data fra E6 Hp 8 (PMS-rapport)

Vedlegg 5 IR-scanning fra asfaltering av forsøksstrekningen

Vedlegg 6 Analyserapportene fra MSCR-testing

Vedlegg 7 Produktspesifikasjoner for Nypol 82

Vedlegg 8 Wheel Track- kurvene for laboratorieprøver ved proporsjonering

Vedlegg 9 Analyserapport for hulrom og densitet målt ved asfaltutlegging

Vedlegg 10 Analyserapport for bindemiddelanalyser etter N200-metodene

Vedlegg 11 Analyserapport for bestemmelse av Fraass bruddpunktet

Vedlegg 12 Wheel Track-resultater for borkjerner (kurvene)

Vedlegg 13 Analyserapporten for Wheel Track test av borkjerner

Vedlegg 14 Laborierapporter for Prall test av borkjerner

Vedlegg 15 Laborierapport for testing av partikkeltap (Cantabro) på borkjerner





## 1. Innledning

Norge har gjennom EØS-avtalen sluttet seg til EUs rammedirektiv for avfall i 2008. Direktivet legger opp til at innen 2020 skal minimum 70 % av bygg- og riveavfall gjenbrukes eller materialgjenvinnes. Per 2013 lå gjenvinningsprosenten for returasfalt på 90 – 105 % (en gjenvinningsprosent på over 100 er mulig fordi man bruker av gamle lagre). Selv om gjenbruksprosenten ligget på et meget høyt nivå i Norge ser en ingen grunn til å senke ambisjonene, da byggebransjen som helhet antagelig trenger det «overgjenbruket» som asfalt representerer for å kunne oppfylle kravet om 70 % innen 2020. Det er dessuten kun 16 % av returasfalt som gjenbrukes i varm produksjon i Norge, ifølge Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA).

Asfalt er et høyverdig materiale som egner seg godt for gjenbruk. Det pågår stadig forskning på flere bruksområder for returasfalt, og ikke minst på hvordan utnyttelsen av potensialet til de verdifulle komponentene i returasfalt kan optimaliseres.

Det er ingen grunn til å tro at Norges retningslinjer i forhold til gjenbruk av asfalt er endelige og de mest optimale. De er derimot relativt konservative og forsiktige i forhold til resultatene av forskningen som foregår i Europa på dette området. Det åpnes der blant annet opp for forsøk med varmproduserte asfaltdekker bestående av 100 % returasfalt som skal kunne holde like god standard som nyproduserte høykvalitetsdekker.

Polymermodifisert bitumen (PMB) ansees for å være en meget høyverdig råvare, som man nødvendig vil forspille kvaliteten på ved å blande den ut med billigere tilsetninger. I de senere år har bruken av polymermodifisert bindemiddel økt. Returasfalt fra asfaltdekker med PMB vil derfor øke i årene som kommer. Dette granulatet vil trolig være best egnet som tilsetning til nye varmproduserte asfaltdekker, men foreløpig er det stort sett granulat med vanlig vegbitumen som er et aktuelt materiale i norsk vegbygging.

Norske vegnormaler tillater ikke tilsetning av asfaltgranulat i asfaltbetong (Ab) der det brukes polymermodifiserte bindemidler. Dekker av Ab med PMB brukes som regel på høytrafikkerte veger der det er fare for piggdekkslitasje, områder med store statiske lastpåkjenninger og mye stillestående trafikk (for eksempel foran signalregulerte lyskryss eller busslommer) og steder utsatt for vridninger og andre betydelige horisontale påkjenninger (for eksempel rundkjøringer).

KFA har som visjon å få utarbeidet et klassifiseringssystem som skiller på høyverdig og sams gjenbruksmateriale. Dette for å kunne ha bedre kontroll over kvaliteten på ferdige dekker med tilsatt asfaltgranulat. Tanken er at det på sikt vil bli åpnet opp for å erstatte noe av materiale med gjenbruksasfalt, også i dekker med PMB på høytrafikkerte veger.

Hensikten med studien er å dokumentere effekter av tilsatt gjenbruksasfalt på egenskaper for asfaltbetong (Ab) med PMB (65/105-80) på høytrafikkert veg. Asfaltgranulatet som er brukt i forsøket stammer fra en kjent kilde og er av god kvalitet, men inneholder vanlig vegbitumen (opprinnelig 70/100). Det er spesielt interessant å se på hvordan egenskapene til det polymermodifiserte bindemiddelet blir påvirket av tilsetning av granulat med vanlig vegbitumen, som i tillegg er relativt stivt på grunn av aldring.

Rapporten inneholder en teoretisk del (Kapittel 2), der det redegjøres for prinsippene bak bruken av polymermodifisert bitumen i norsk vegbygging, samt gjenbruk av asfalt i Norge og norske retningslinjer i forhold til bruk av asfaltgranulat i varmproduserte asfaltdekker. Det blir også gitt en kort oppsummering av nyeste forskning på varm gjenbruk av asfalt i Europa.

I Kapittel 3 presenteres forberedende arbeider, feltarbeidene som ble utført, samt laboratorieanalyser som ble brukt til å bedømme kvaliteten på de forskjellige massene og for å danne et sammenligningsgrunnlag mellom disse. Begrunnelse for valg av analysemetodene er også gitt i dette kapitlet.

Resultater blir presentert i Kapittel 4 og diskutert i Kapittel 5. Kapittel 6 omhandler konklusjon og anbefalinger. Noen tanker angående videre arbeid blir presentert til slutt i Kapittel 7.

## 2. Teoretisk grunnlag

Dette kapittelet omhandler definisjoner av de mest brukte begreper i forbindelse med gjenbruk av asfalt, en kort orientering om SHRP funksjonsbaserte bindemiddelspesifikasjoner og -tester, samt den nye MSCR testen som er spesielt utviklet for testing av polymermodifiserte bindemidler. Kapittelet inneholder også informasjon om bruk av asfaltdekker med polymermodifisert bindemiddel og gjeldende norsk regelverk i forhold til disse. De generelle prinsippene for gjenbruk av asfalt, norske retningslinjer i forhold til bruk av retur-asfalt i varmproduserte vegdekker og forskning og erfaringer innen fagområdet fra Europa blir også kort presentert i dette kapittelet.

### 2.1. Begreper og definisjoner

Følgende begreper og uttrykk er vanlige å anvende i forbindelse med gjenvinning av asfalt, samt produksjon og legging av asfaltdekker generelt, og som i forskjellig grad er benyttet i denne rapporten.

<i>Asfaltgranulat</i>	Tilslag fremstilt ved bearbeiding (knusing eller fresing) av retur-asfalt eller restasfalt. (KFA, 2013)
<i>Fresemasse</i>	Asfaltgranulat som resultat av fresing av asfalt fra eksisterende veg, plass eller flyplass. Fraksjonen bestemmes av bl.a. tannavstand på fresetrommel, fremdrift av fresen, fresedybde og til dels asfaltlagets sammensetning. Inneholder normalt helt rene masser. (KFA, 2013)
<i>Gjenbruksasfalt (Gja)</i>	«Betegnelse på bærelag eller vegdekke som i hovedsak består av resirkulert asfalt tilsatt et bituminøst bindemiddel, og hvor det ikke er relevant å nytte spesifikasjonene for de normerte massetypene.» (Statens vegvesen, 2014)
<i>Gjenvinning</i>	Nyttiggjøring av avfall og andre restprodukter. Gjenvinning kan inndeles i ombruk, materialgjenvinning og/eller energiutnyttelse. Et synonym til «gjenvinning» er «gjenbruk». (KFA, 2013)
<i>Knust asfalt (Ak)</i>	Resirkulert asfalt produsert ved granulering og evt. sikting (fresemasser eller knuste asfaltflak) for anvendelse uten noen form for tilsetning av

	nytt bindemiddel, for eksempel som forsterknings- og bærelag, eller som forkiling av forsterkningslag av kult. (Statens vegvesen, 2014)
<i>Lastfordelingskoeffisient</i>	Tallmessig uttrykk for et overbygningmateriales evne til å fordele trafikkbelastningene satt relativt til et referansemateriale. I Norge er referansemateriale forsterkningslagsgrus som er gitt lastfordelingskoeffisient = 1,0. (KFA, 2013)
<i>Normerte massetyper</i>	Asfaltmasser produsert i henhold til beskrivelser som angitt i Statens vegvesens håndbok N200 Vegbygging.
<i>Polymermodifisert bitumen (PMB)</i>	Bitumen som er tilsatt polymer(er), for å forbedre asfaltdekkets egenskaper (tåle større påkjenninger fra trafikk og klima). Type og mengde polymermodifisering bestemmes bl.a. ut fra hvilke egenskaper man ønsker å forbedre. (Statens vegvesen, 2014)
<i>Resirkulering</i>	Tilbakeføring av materiale i en industriell prosess, evt. etter at materialet er bearbeidet. (KFA, 2013)
<i>Returasfalt</i>	Brukes som et samlebegrep om all asfalt som graves, freses eller fjernes på annen måte fra sin opprinnelige funksjon fra veier, gater, flyplasser, parkeringsplasser osv. Returasfalt forekommer alt vesentlig i to former, som flakmasse eller fresemasse. Vrakmasse, spillmasse og eventuell overskuddsmasse fra produksjon og legging av asfalt er også returasfalt. (KFA, 2013)

## **2.2. SHRP: PG-bindemiddelklassifisering og funksjonsbaserte testmetoder**

En beskrivelse av bindemiddelegenskapene, uttrykt ved temperaturområde der bindemiddelet kan brukes, kalles for PG-klassifisering, der PG står for Performance Grades, altså bruksklasser. Dette klassifiseringssystemet har blitt utarbeidet gjennom det store amerikanske forskningsprogrammet SHRP – Strategic Highway Research Program i 1987-1994. Bindemiddelspesifikasjoner definert i SHRP er funksjonsbaserte og tar sikte på å begrense det en anser for å være de tre viktigste nedbrytingsmekanismer for asfaltdekker:

- Plastiske deformasjoner
- Lavtemperaturoppsprekking
- Last-relatert utmatting

Spesifikasjonsfilosofien er at minimums/maksimumsverdiene på de parameterne som skal sikre mot de aktuelle nedbrytingsmekanismene, skal være oppfylt ved de kritiske temperaturene for det aktuelle klimaet. (Andersen, 1995)

Superpave, proporsjoneringsystemet for asfaltmasser utviklet i SHRP, fastsetter bindemiddelets bruksklasse eller Performance Grade (PG) ved å beregne verdiene for maksimal dekketemperatur i 20 mm dybde og laveste dekketemperatur. Bruksklassene, eller PG, angir altså hvilket temperaturområde et bindemiddel er egnet innenfor. Bruksklasse angis ved PG x-y, der x er øvre og y er nedre dimensjonerende dekketemperatur. For eksempel oppfyller et bindemiddel gradert som PG 64-28 spesifikasjonskravene for øvre dekketemperatur mindre enn 64°C og nedre dekketemperatur over -28°C. (Andersen, 1995)

Tabell 2.1 viser et utdrag fra SHRP bindemiddelspesifikasjonene.

Tabell 2.1 Utdrag fra SHRP bindemiddelspesifikasjoner basert på PG-klassifisering av bindemidler (Cominsky m. fl., 1994)

PERFORMANCE GRADE	PG 46-			PG 52-						PG 58-				PG 64-							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C <sup>a</sup>	<46			<52						<58				<64							
Minimum Pavement Design Temperature, °C <sup>a</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
<b>ORIGINAL BINDER</b>																					
Flash Point Temp, T48: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D4402: <sup>b</sup> Maximum, 3 Pa*s, Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5: <sup>c</sup> G'/sinδ, Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
<b>ROLLING THIN FILM OVEN</b>																					
Mass Loss, Maximum, percent	1.00																				
Dynamic Shear, TP5: <sup>c</sup> G'/sinδ, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
<b>PRESSURE AGING VESSEL RESIDUE (PP1)</b>																					
PAV Aging Temperature, °C <sup>d</sup>	90			90						100				100							
Dynamic Shear, TP5: <sup>c</sup> G'/sinδ, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Physical Hardening <sup>e</sup>	Report																				
Creep Stiffness, TP1: <sup>f</sup> S, Maximum, 300 MPa, m - value, Minimum, 0.300 Test Temp @ 60s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP3: <sup>f</sup> Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

<sup>a</sup> Pavement temperatures are estimated from air temperatures using an algorithm contained in the Superpave software program, may be provided by the specifying agency, or by following the procedures as outlined in PPX.

<sup>b</sup> This requirement may be waived at the discretion of the specifying agency if the supplier warrants that the asphalt binder can be adequately pumped and mixed at temperatures that meet all applicable safety standards.

<sup>c</sup> For quality control of unmodified asphalt cement production, measurement of the viscosity of the original asphalt cement may be substituted for dynamic shear measurements of G'/sinδ at test temperatures where the asphalt is a Newtonian fluid. Any suitable standard means of viscosity measurement may be used, including capillary or rotational viscometry (AASHTO T201 or T202).

<sup>d</sup> The PAV aging temperature is based on simulated climatic conditions and is one of three temperatures 90°C, 100°C or 110°C. The PAV aging temperature is 100°C for PG 58- and above, except in desert climates, where it is 110°C.

<sup>e</sup> Physical Hardening — TP1 is performed on a set of asphalt beams according to Section 13.1, except the conditioning time is extended to 24 hrs ± 10 minutes at 10°C above the minimum performance temperature. The 24-hour stiffness and m-value are reported for information purposes only.

<sup>f</sup> If the creep stiffness is below 300 MPa, the direct tension test is not required. If the creep stiffness is between 300 and 600 MPa the direct tension failure strain requirement can be used in lieu of the creep stiffness requirement. The m-value requirement must be satisfied in both cases.

Som en ser, er spesifikasjonen delt inn tre hoveddeler. Krav til utgangsbindemidler (original binder), krav til bindemidler etter korttidsaldring (Rolling Thin Film Oven) og krav til bindemidler etter langtidsaldring (Pressure Aging Vessel Residue). Spesifikasjonen er ment å gjelde både for umodifiserte og polymermodifiserte bindemidler. (Andersen, 1995)

Funksjonsrelaterte tester og spesifikasjoner som har blitt utviklet gjennom SHRP gir mulighet til å se på fundamentale fysiske egenskaper til bindemidler, som kan relateres direkte til nedbrytingsmekanismene for asfaltdekker, i mye større grad enn de tradisjonelle empiriske

metodene som penetrasjon, mykningspunkt, Fraass bruddpunkt og viskositet. Svakheter ved de empiriske testmetodene skyldes at de reologiske egenskapene til bitumen forandrer seg både med temperatur og belastningstid. Bitumen er et meget komplisert materiale som oppfører seg som Newtonske væsker ved høye temperaturer (over 50-70°C for umodifisert bitumen), som viskoelastisk materiale (ikke-Newtonsk væske) ved temperaturer under 50-70°C, og som gradvis går mot elastisk materialoppførsel ved synkende temperaturer eller økende belastningsfrekvenser. Ved svært lave temperaturer blir bitumen glassliknende og sprø. For eksempel foregår testingen av penetrasjon og mykningspunkt i det ikke-Newtonske temperaturområdet og skaper udefinerte spenninger og tøyninger i prøvene. Disse spenningene og tøyningene (som er relativt store) kan svært vanskelig beregnes/modelleres. (Andersen, 1995)

Mekanismen for lavtemperaturoppsprekking i asfaltdekker kan beskrives ut fra en såkalt Maxwell modell. Denne modellen gjenspeiler sammenhengen mellom tid, spenning og deformasjon i et viskoelastisk materiale.

Ved avkjøling krymper bindemiddelet, og det oppstår spenninger som er avhengig av bindemiddelstivheten, bindemiddelets spenningsrelakserende evne og nedkjølingshastigheten. Over tid vil bindemiddelets relakserende egenskaper redusere spenningene. Hurtige nedkjølinger er langt mer kritiske enn langsomme, da de relakserende egenskapene trenger en viss tid for å virke. Lavtemperatursprekker vil oppstå dersom de oppbygde spenningene overskrider asfaltdekkets, det vil si bindemiddelets, strekkstyrke.

En av de mest sentrale testmetodene utviklet gjennom SHRP er testing med dynamisk skjærreometer (DSR) (se tabell 2.1). DSR benyttes for å måle de viskoelastiske egenskapene til bindemidler, altså til å vurdere bindemiddelets egenskaper i forhold til potensiale til permanente deformasjoner. Målingene utføres ved å påføre prøven en dynamisk sinusformet torsjonsbelastning ved ulike temperaturer, spenningsnivå, tøyingsnivå og frekvenser. Prinsippet er at materialet responderer på den påførte sinusformede spenningen eller tøyningen. Responseren i form av tøyning eller spenning i materialet registreres. En av de viktigste materialparametere man får fra slik dynamisk testing er den såkalte kompleksmodulen,  $G^*$ . Kompleksmodulen er en dynamisk skjær-modul som uttrykker forholdet mellom den maksimale skjærspenningen som blir påført materialet og den maksimale skjærtøyningen som materialet responderer med. Kompleksmodulen beregnes etter følgende formel:

$$G^* = \frac{\tau_{\max}}{\gamma_{\max}}$$

der:  $G^*$  = kompleksmodul

$\tau$  = skjærspenning

$\gamma$  = skjærtøyning

På grunn av bindemiddelets viskoelastiske egenskaper (tidsavhengig elasticitet) oppstår det en viss faseforskyvning mellom den påførte spenningen og den resulterende tøyningen. Denne forskyvningen, uttrykt ved fasevinkelen ( $\delta$ ) er en meget viktig viskoelastisk parameter. For rent elastiske materialer vil fasevinkelen være lik  $0^\circ$ , mens den for rent viskøse materialer vil være lik  $90^\circ$ . (Andersen, 1995)

Det er funnet gode sammenhenger mellom parametere som kombinerer kompleksitetsmodul og fasevinkel og vanlige nedbrytingsmekanismer.  $G^*/\sin\delta$  er en parameter som uttrykker bindemiddelets evne til å motstå plastiske deformasjoner i asfaltdekker, og er en standard parameter i Superpave-systemet.

Det har imidlertid vist seg i senere tid at  $G^*/\sin\delta$  alene ikke er god nok indikator for deformasjonspotensialet i en asfaltmasse. Hulrom i asfaltmassen og egenskaper ved tilslaget ser ut til å ha større betydning. (Andersen, 1995)

To tester som er relevante i forhold til bindemiddelets lavtemperaturegenskaper ble utviklet gjennom SHRP-programmet. Den ene kalles for bøyereometer (Bending Beam Rheometer) og går ut på at en bindemiddelbjelke belastes med en vekt i en gitt tid. Nedbøyningen overvåkes som funksjon av tid. Etter forsøket beregnes bøyestivheten  $S$  for bjelken.

Siden polymermodifiserte bindemidler ikke har den samme korrelasjonen mellom stivhet og lavtemperaturegenskaper som umodifiserte, ble det utviklet en annen lavtemperatur strekktest, Direct Tension Test. Testen tar hensyn til prøvens bruddtøyning i tillegg til stivhet og spenningsrelakserende evne. Erfaringer viser at testens resultater avviker en del fra faktiske observasjoner i felt når det gjelder dekker med PMB. (Andersen, 1995)

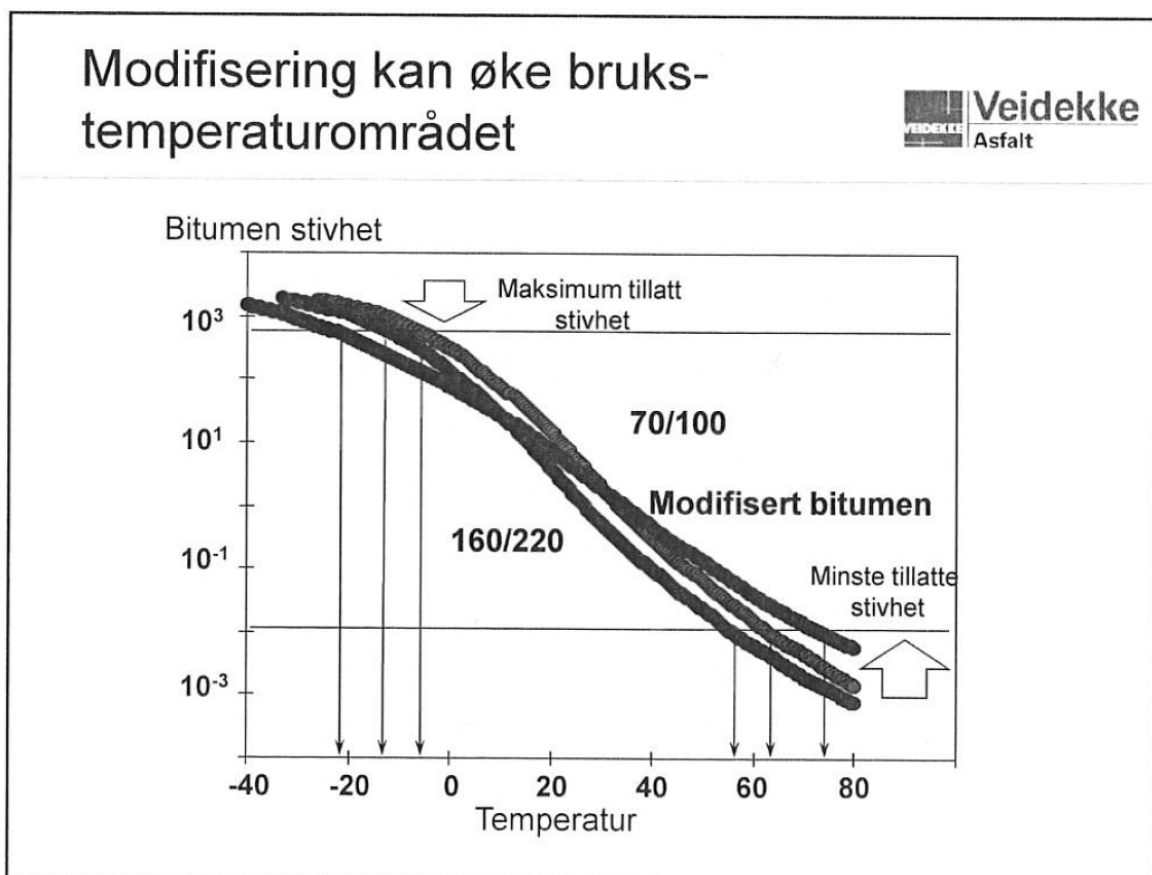


### 2.3. Polymermodifiserte bindemidler (PMB)

På de fleste veger yter asfaltdekker med vanlig bindemiddel godt nok. Allikevel øker vedlikeholdsetterslepet år etter år, samtidig som antall transportkjøretøyer med supersingle dekk og med økt aksellast blir stadig større på norske og europeiske veger. For å møte denne utfordringen er det i de siste tiårene utviklet en rekke polymermodifiserte bituminøse bindemidler som har vist seg å være et godt svar på problematikken. (Read m. fl., 2003).

Siden bitumen er den komponenten i asfalten som fungerer som lim for tilslag, og dermed står for dekkets viskoelastiske egenskaper, spiller kvaliteten på den en stor rolle i vegdekkets motstandsevne mot permanente deformasjoner og lavtemperaturoppsprekking.

Ved modifisering ønsker man å utvide bruksområde for bitumen når det gjelder både klimatiske og trafikkrelaterte påkjenninger. Grafene i figur 2.1 illustrerer hvordan toleranse for temperaturpåkjenninger utvides ved polymermodifisering av bindemiddelet.



Figur 2.1 Utvidelse av brukstemperaturområde ved polymermodifisering av bitumen (Andersen, 2013)

Ved tilsetning av polymerer til bitumen kan man oppnå ulike effekter i hele brukstemperaturområde. Det er observert at polymertilsetning kan ha stor innvirkning på bindemiddelets bruddtøyning uten at de reologiske egenskapene endres nevneverdig. Bruddtøyningen øker ofte betraktelig ved polymermodifisering selv om stivheten ikke forandres. Dette betyr at et polymermodifisert bindemiddel har gode lavtemperaturegenskaper sammenlignet med et umodifisert. (Andersen, 1995)

Polymerer, som brukes til modifisering av bitumen, er lange kjedemolekyler som består av mange repeterende enheter. De enkelte enhetene kalles for monomerer. Det fins både naturlige og kunstige polymerer. Eksempler på naturlige polymerer er naturgummi, cellulose, rav og silke, mens polyetylen, silikon, teflon og nylon er kjente kunstige polymerer.

Det fins mange forskjellige polymerer som kan benyttes til bindemiddelmodifisering, men alle de faller innenfor disse to hovedkategorier:

- **Elastomerer**

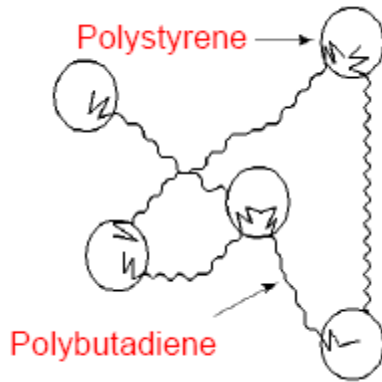
Termoplastiske gummityper, slik som natur- og syntetisk gummi. Molekylkjedene i elastomerer inneholder ofte endeklosser som gir materiale høy styrke (såkalte «Block copolymers»).

- **Plastomerer**

Termoplastiske polymerer som også kan ha tredimensjonal struktur, men uten endeklosser (såkalte «Random copolymers»).

Elastomerer gir bitumen økt viskositet samtidig som den øker stivheten. Flexibiliteten og elastisiteten blir forbedret, og materialet får høy elastisk respons. Det vil si at det kommer raskt tilbake i sin opprinnelige form etter avlastningen.

Elastomeren som brukes mest til modifisering av bitumen er styren-butadien-styren eller SBS. Denne polymeren øker bitumens styrke ved hjelp av harde endeklosser av polystyren, og bitumens elastisitet med myke, fleksible polybutadien-lenker i mellom. En annen elastomer mye brukt i modifisering av bindemiddel er SBR, der R står for «rubber», altså gummi. Tilsetning av disse polymerer viser seg å ha god effekt mot plastiske deformasjoner i vegdekke. Figur 2.2 viser strukturen til SBS-polymer.



Figur 2.2 Struktur av SBS (Saba, 2014)

Plastomerer, i likhet med elastomerer, gir bitumen høy styrke ved tilsetning, men kun under initiallast. Tøyninger som akkumulerer over tid kan føre til brudd i strukturen. Denne egenskapen gjør plastomerer mest effektive mot lavtemperaturoppsprekking.

Plastomeren som benyttes mest til modifisering av bitumen i Norge er ethylen-vinyl-acetat, eller EVA. Strukturen til denne termoplastiske polymeren er et hardt og rigid tredimensjonalt nettverk av molekyllkjeder.

Modifiseringsgraden og produksjonsprosessen er avhengig av flere parametere, som polymertype og -konsentrasjon og egenskapene til bitumen som skal polymermodifiseres (bindemiddelgraden og viskositet).

Syntetiske vokser, som kan ha en lignende effekt på bindemiddel som polymerer, er per i dag ikke tillatt å bruke i Norge. Erfaringene fra norske analyser av bindemidler modifisert med vokser i tillegg til polymerer kan tyde på at vokstilsetningen gjør bitumenet stresssensitivt, det vil si følsom for rask økning av belastningsnivå. (Saba, 2014; Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim, 2015)

Polymermodifisering av bitumen endrer dets molekyllære struktur og dermed materialoppførselen i de forskjellige temperaturområdene. Dette gjør de tradisjonelle testmetodene som penetrasjon, mykningspunkt og Fraass bruddpunkt enda mer uegnet for de polymermodifiserte bindemidler enn for de umodifiserte. Testmetodene utviklet gjennom SHRP er heller ikke optimale for testing av materialegenskaper til PMB, da de i likhet med de

empiriske metodene tar utgangspunktet i materialegenskapene og temperaturfølsomhet til umodifiserte bindemidler. (Gierhart, 2011)

Det har også vist seg at den nå klassiske DSR-testen ikke er optimal for testing av polymermodifiserte bindemidler. I PG-systemet blir parameter  $G^*/\sin\delta$  målt ved å påføre prøven dynamiske belastninger der tøyingsnivået er veldig lavt. Polymernetverket i bindemiddelet blir imidlertid ikke aktivert ved så lave nivåer av spenninger og tøyninger. Responsen til PMB på belastningene er ikke lineær, slik den er for umodifisert bitumen i det såkalte lineære viskoelastiske temperaturområdet. Polymerkjedene i PMB blir derimot aktivisert og kan bli omstrukturert ved økte belastninger. På denne måten avdekker ikke  $G^*/\sin\delta$  potensial til polymerer i det modifiserte bitumen, men kun betrakter polymerer som tilsetningsstoffer som gjør bitumen stivere. (FHWA, 2011)

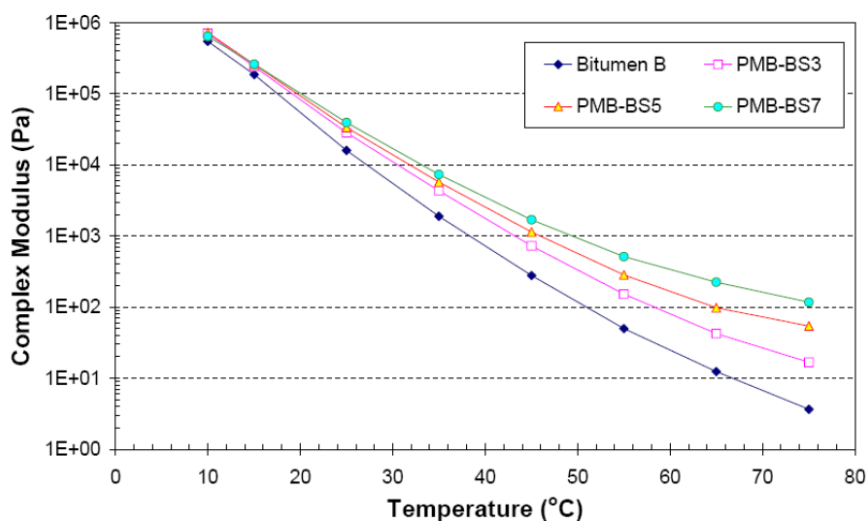
Figurene 2.3 og 2.4 illustrerer effekten av polymermodifisering av bitumen. En ser tydelig, og tilnærmet lineær, økning av kompleksmodulen med økning av modifieringsgraden i figur 2.3.



Statens vegvesen

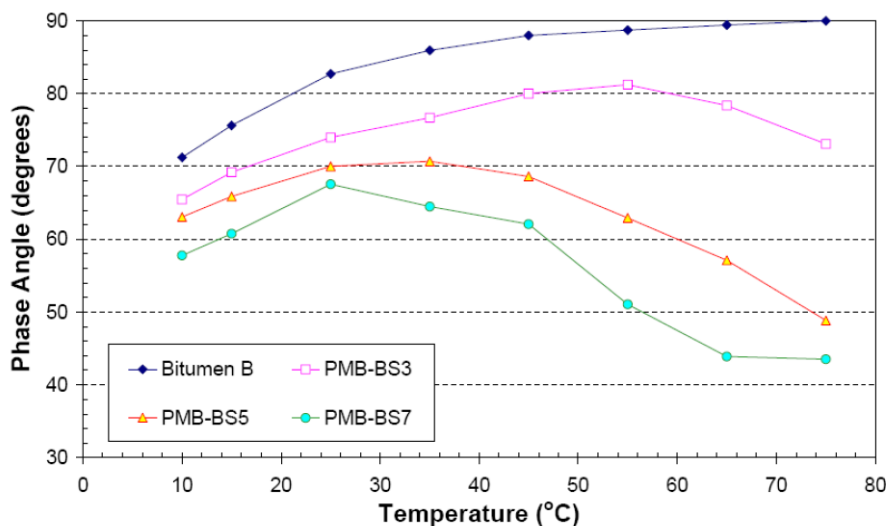


## $G^*$ isochronal plot @ 0.02 Hz -SBS PMB



Figur 2.3 Innvirkning av polymermodifisering på kompleksmodulen,  $G^*$  (Saba, 2014)

## $\delta$ isochronal plot @ 0.02 Hz -SBS PMB



Figur 2.4 Innvirkning av polymermodifisering på fasevinkelen,  $\delta$  (Saba, 2014)

Grafene i figur 2.4 viser hvordan de viskoelastiske egenskapene forandres ved modifiseringsgraden. Det ser ut til at elastisiteten i det polymermodifiserte bindemiddelet øker både med temperaturen og med tilsetningsgraden, mens umodifisert bitumen blir mer og mer viskøs med økende temperatur.

Dessuten avslører en studie gjennomført av Federal Highway Administration (FHWA) at eksisterende høytemperaturparameter  $G^*/\sin\delta$  ikke har så gode korrelasjoner med den sporutviklingen som faktisk skjer på veggen. (FHWA, 2011)

Det foregår en stadig utvikling av tester som kan være mer skreddersydde for polymermodifiserte bindemidler og dekker med PMB. USA leder i dag denne utviklingen, blant annet med sitt Asphalt Pavement Technology Program. Målet til forskningsprogrammet er å forbedre ytelse og øke levetid av asfaltdekker, samtidig som det skal være kostnadseffektivt. Programmet er finansiert av Federal Highway Administration i samarbeid med vegadministrasjonene i de forskjellige statene, industrien og forskningsinstituttene.

## 2.4. MSCR Test – den nye testen for PMB

En av de nyeste testene som har blitt utviklet gjennom programmet Asphalt Pavement Technology Program er Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test, som er designet spesielt for å indikere polymermodifikasjonen i bitumenet. Resultater av en enkel MSCR test kan si noe om både ytelse på veggen når det gjelder deformasjonsmotstand og modifieringsgraden av bindemiddelet. (Gierhart, 2011; FHWA, 2011)

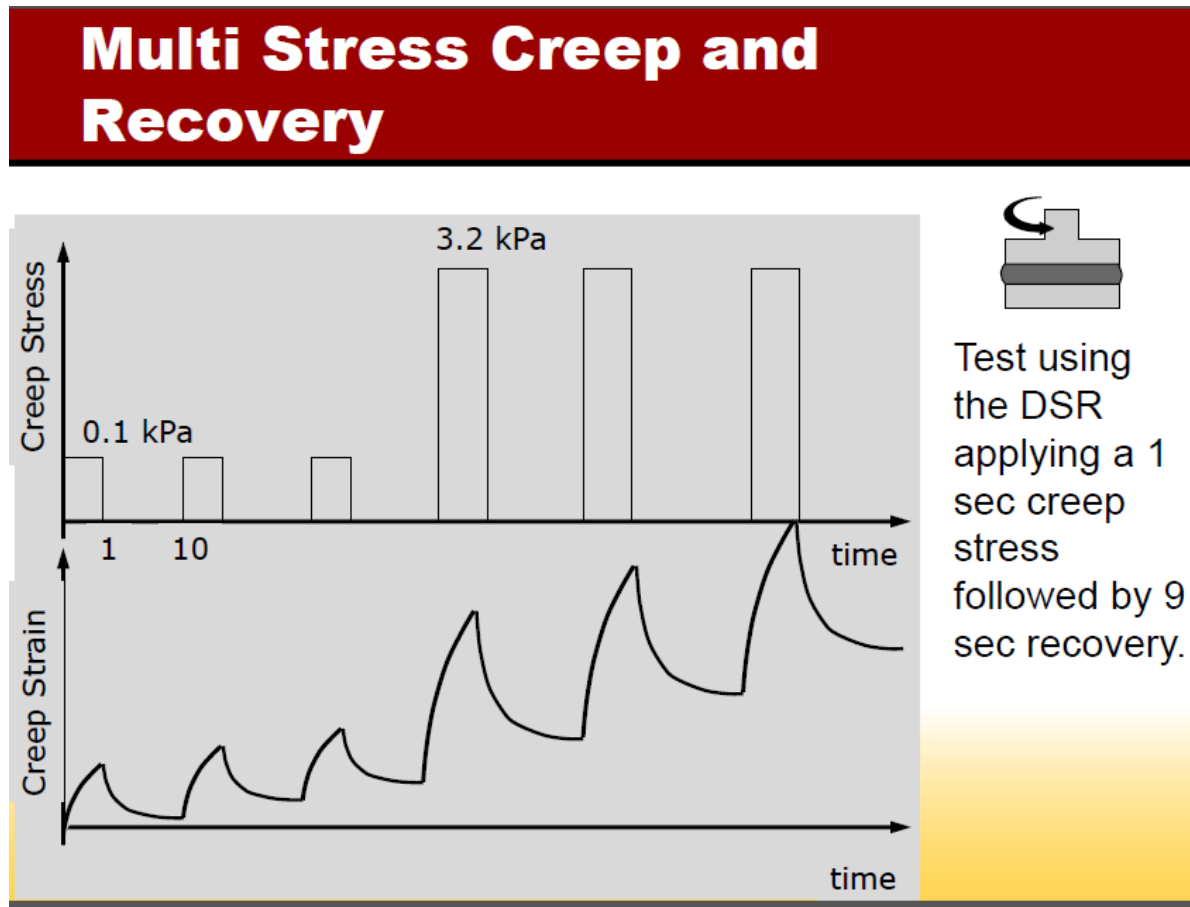
Testmetoden går ut på å påføre en korttidsaldret (RTFOT) bidemiddelprøve konstant torsjonspenning i en avgrenset tidsperiode (ett sekund), for så å avlaste prøven slik at den får muligheten til å relaxere i et avgrenset tidsrom (ni sekunder). Prosessen kalles for *Creep and Recovery*, derav testnavnet. Testen utføres i en dynamisk skjærreometer, og starter med påføring av lav spenning på 0,1 kPa i 10 creep/recovery-sykluser. Deretter påføres belastninger i 10 sykluser til ved 3,2 kPa spenning. Testtemperaturen avgjøres av prøvens bruksklasse (PG), og ligger på 64-70°C. (Gierhart, 2011; FHWA, 2011)

I følge Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim er den felleseuropeiske standardiseringsorganisasjon CEN i gang med å utarbeide en europeisk standardbeskrivelse for MSCR testen. I den siste ringanalysen gjennomført i CEN var testen satt opp med tre runder av creep/recovery-sykluser, ved 0,1 kPa, 3,2 kPa og 6,4 kPa. Årsaken var at det ble vurdert å justere opp spenningsnivået i den europeiske standardmetoden. Den valgte testtemperaturen i den foreløpige europeiske standarden er 60°C, uavhengig av bindemiddelgraden. Hvordan den endelige standardbeskrivelsen vil se ut er foreløpig usikkert.

Testens utgangsparemetere er prosent gjenoppretting (Percent Recovery), altså prøvens elastisitet, og et mål på bindemiddelets «tapt elastisitet» kalt Non-Recoverable Creep Compliance ( $J_{nr}$ ).

- **Percent Recovery, eller prosent gjenoppretting**, er et mål på hvor mye prøven returnerer til sin opprinnelige form etter å ha blitt strekt ut og relaxert gjentatte ganger. Verdien kan brukes til å vurdere modifieringsgraden av bindemiddelet.
- **Non-Recoverable Creep Compliance ( $J_{nr}$ )** er et mål for resterende tøyning som er igjen i prøven etter gjentatte utstreknings- og relaxeringsperioder, med andre ord ikke gjenopprettet tøyning eller prøvens «tapt elastisitet» eller «mykhet» i forhold til plastisk deformasjon. Verdien er relativ i forhold til spenningsnivået som prøven har blitt utsatt for. (Gierhart, 2011)

Figur 2.5 illustrerer sykluser av påførte spenninger og relakseringer ved «creep and recovery»-prosessen.



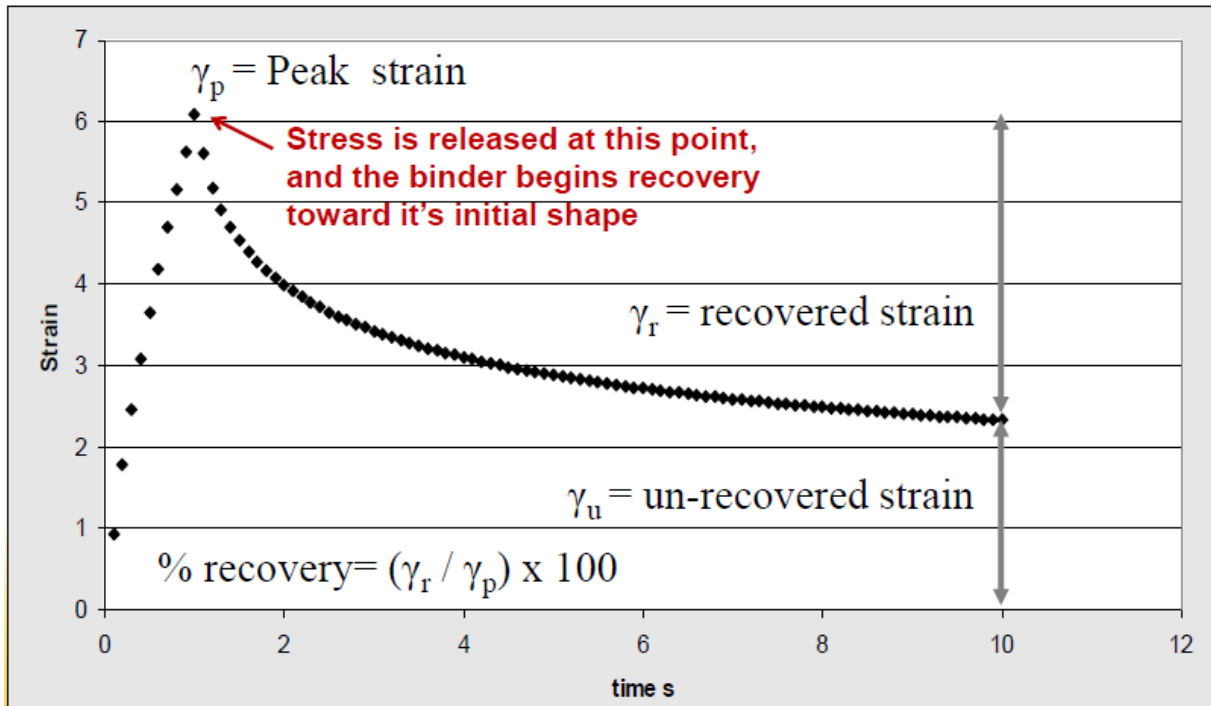
Figur 2.5 Prinsippet ved MSCR testing av bindemiddelets elastiske egenskaper (Gierhart, 2011)

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. Som tidligere nevnt, er ikke denne responsen lineær for PMB. Parameteren beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$J_{nr, diff} = \frac{(J_{nr, 3.2kPa} - J_{nr, 0.1kPa})}{J_{nr, 0.1kPa}} \times 100$$

Forandres de elastiske egenskapene til bindemiddelet drastisk ved endring av spenningsnivå kan materiale karakteriseres som spenningssensitivt. Amerikanske standarder angir  $J_{nr, diff}$  på 75 % som en øvre grense for akseptabel spenningssensitivitet.

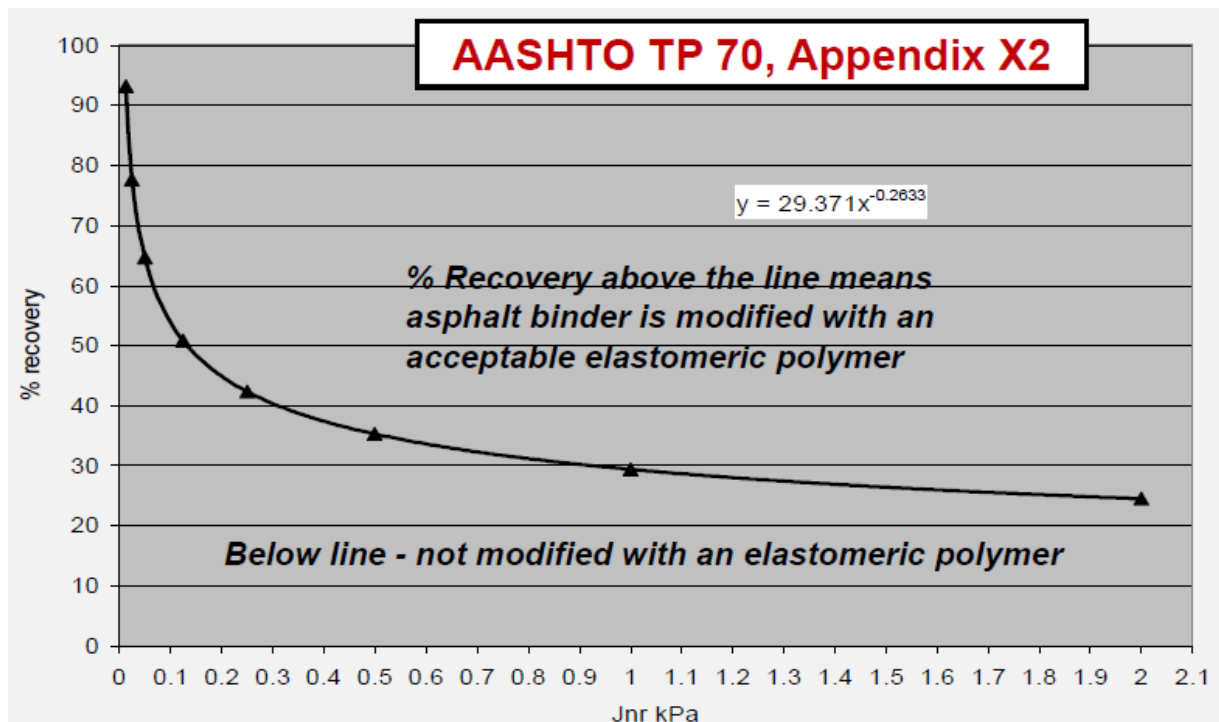
Figur 2.6 illustrerer grafisk den påførte spenningen og deretter relakseringen som prøven blir utsatt for ved en MSCR test. Her vises også hva menes med prosent gjenoppretting eller % Recovery.



Figur 2.6 Grafisk fremstilling av én creep/recovery-syklus ved MSCR testing (Gierhart, 2011)

Grafen i figur 2.7 viser anbefalte minimumsverdier av gjenoppretingsprosenten (% Recovery) for diverse målte  $J_{nr}$  verdier ved 3,2 kPa spenning. Kurven stopper ved  $J_{nr} = 2 \text{ kPa}^{-1}$  fordi det er lite hensiktsmessig å operere med minimumsverdi for gjenoppretting for bindemidler med målt  $J_{nr}$ -verdi på over  $2 \text{ kPa}^{-1}$ . (Asphalt Institute, 2010)





Figur 2.7 *Plotting av % Recovery-verdien som funksjon av Jnr i denne grafen gir en mulighet til å vurdere om bitumenet er tilstrekkelig modifisert. (Gierhart, 2011)*

Både omfattende laboratorieforsøk og feltforsøk gjennomført i programmet viser at MSCR-parameter  $J_{nr}$  gjenspeiler den faktiske sporutviklingen som skjer på vegen mye bedre enn PG-parameteren  $G^*/\sin\delta$ . God korrelasjon mellom parameteren  $J_{nr}$  og potensiale for spordeformasjoner er observert både ved testing av umodifisert og modifisert bindemiddel. Grovt sett vil en halvering i  $J_{nr}$ - verdien gi en halvert potensiale for sporutvikling. (FHWA, 2011; Gierhart, 2011)

Testmetoden MSCR er pr dags dato kun innført som standard i noen stater i USA, og er ment å erstatte alle de andre testene som PG-klassifiseringssystemet foreslår for undersøkelse av viskoelastiske egenskaper til bitumen, både umodifisert og polymermodifisert. (Asphalt Institute, 2010)

## 2.5. Asfaltdekker med polymermodifiserte bindemidler i Norge

En kan oppsummere effekten av polymermodifiseringen med å si at den endrer bindemiddelets egenskaper slik at mykningspunktet blir høyere og penetrasjonsverdien reduseres, samtidig som det skjer en økning i viskositeten og Fraass bruddpunkt-verdien synker.

I praksis betyr disse endringene forbedret funksjon av asfaltdekker med PMB på følgende områder:

- **Sporutvikling**

Sporutviklingen i asfaltdekker forårsakes av piggdekkslitasje, etterkompaktering, også kalt initialspor, og plastiske deformasjoner.

Statens vegvesens rapport nr. 103 «Feltforsøk med polymermodifisert bindemiddel» beskriver forsøk på E18 i Vestfold, som har gitt en mulighet for å vurdere effekten av bruk av PMB i slitelag. Dette feltforsøket har vist at slitelagsmaterialet Ab 16 med PMB har ca. 40 % mindre spor (90 – prosentil spordybde) enn Ab 16 uten modifisert bindemiddel. Denne forbedringen er vesentlig og viser at det nytter å bruke modifiserte bindemidler i slitelagsmaterialer. Resultatet fra feltforsøket tyder også på at piggdekkslitasje dominerer sporutviklingen på høytrafikkerte veier (ÅDT >10000) og at bruken av PMB forbedrer motstanden mot slitasje.

Plastiske deformasjoner forårsakes ofte av høye dekketemperaturer, gjerne i kombinasjon med statiske påkjenninger (som på strekninger med mye kjøproblematikk, terminaler, busslommer o.l.) og/eller vridninger (for eksempel i rundkjøringer og i kryss). Bruk av polymermodifisert bindemiddel forbedrer dekkets deformasjonsmotstand, som viser seg å øke med modifiseringsgraden. (Saba, 2014)

- **Lavtemperaturoppsprekking**

Dekker med PMB tåler både lavere temperaturer og raske temperaturfall bedre enn de med vanlig vegbitumen grunnet forbedret strekkstyrke i bindemiddelet. Denne egenskapen gjelder spesielt for dekker der bitumenet modifisert med plastomerer (for eksempel EVA, EBA) benyttes. (Saba, 2014)

- **Bedre vedheft, motstand mot kjemikalier og mot utmatting**

Det er observert forbedret vedheft mellom tilslag og bindemiddel ved bruk av PMB, uavhengig av amintilsetning. Dette er foreløpig kun erfaringsbasert. (Saba, 2014; Kristin Torgersen, 2015(samtale))

Testene viser også dekkets økte motstand mot kjemikalier der polymermodifiserte bindemidler blir benyttet, samt økt motstand mot utmatting. Elastomermodifiserte bindemidler ser ut til å øke motstanden mot utmattingen mest (omtrent dobbelt i forhold til plastomermodifiserte), men plastomermodifiseringen har også en positiv effekt på dekkets utmattingsegenskaper. (Saba, 2014)

Håndbok N200 stiller krav til polymermodifisert bitumen (PMB) som vist i tabellen nedenfor. Polymermodifisert bitumen skal ha varige funksjonsegenskaper og være homogen og fri for vann.

Tabell 2.2 Krav til polymermodifisert bitumen (Statens vegvesen, 2014)

	Enhet	Prøvmingsmetode	Polymermodifisert bitumen, hovedtyper					Øvrige PMB
			40/100-65	65/105-80	65/105-60	75/130-65	75/130-80	
Penetrasjon ved 25 °C	0,1 mm	NS-EN 1426	40-100	65-105	65-105	75-130	75-130	Oppgis
Mykningspunkt, min.	°C	NS-EN 1427	65	80	60	65	80	Oppgis
Kohesjon, kraftduktilitet, 10 °C	J/cm <sup>2</sup>	NS-EN 13589 og NS-EN 13703	Oppgis	Oppgis	Oppgis	Oppgis	Oppgis	Oppgis
Fraass bruddpunkt, maks.	°C	NS-EN 12593	-12	-12	-15	-15	-20	Oppgis
Elastisk tilbakegang, 10 °C, min.	%	NS-EN 13398	30	50	50	50	75	Oppgis
Flammepunkt, Coc, min.	°C	NS-EN ISO 2592	220	220	220	220	220	Oppgis
Lagingsstabilitet, 72 timer 180 °C <sup>1)</sup>		NS-EN 13399						
Differanse mykningspunkt (øvre-nedre), maks.	°C	NS-EN 1427	5	5	5	5	5	Oppgis
Løselighet	%	NS-EN 12592	Oppgis	Oppgis	Oppgis	Oppgis	Oppgis	Oppgis
Motstand mot oppherding ved 163 °C		NS-EN 12607-1						
Masseendring, maks. +/-	%		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Oppgis
Gjenværende penetrasjon, min.	%	NS-EN 1426	60	60	60	60	60	Oppgis
Endring i mykningspunkt	°C	NS-EN 1427	-2 til +10	-2 til +10	-2 til +10	-2 til +10	-2 til +10	Oppgis

1) Hvis en annen lagringstemperatur benyttes, oppgis denne. (NS-EN 14023 og NS-EN 13399 godtar andre prøvingstemperaturer, men 180 °C er utgangspunktet.)

Polymermodifisert bitumen (PMB) benyttes og dokumenteres etter

Polymermodifisert bitumen (PMB) benevnes og dokumenteres etter Norsk Standard NS-EN 14023. Polymermodifisert bitumen benevnes PMB etterfulgt av minimum/maksimum penetrasjon og minimum mykningspunkt (f.eks. PMB 75/130-80). (Statens vegvesen, 2014)

For PMB skal maksimum og minimum lagrings- og blandetemperatur oppgis. Eventuelt behov for omrøring ved lagring skal også oppgis.

I kapittel 523.2 og kapitlene 63-65 i håndbok N200 er de enkelte bærelag- og dekketyper spesifisert. Der angis også hvilke bindemiddeltypene som er egnet. For valg av bindemiddeltypen og -grad henvises det også til kapittel V10.7 i vedlegg 10. Systemet for bindemiddelvalg i Håndbok N200 i vedlegg 10 tar utgangspunkt i to forhold:

- Bindemiddelets høyeste tillatte penetrasjonsverdi ut fra trafikkmengde og høyeste dekketemperatur. Denne gir et første utkast til aktuell bindemiddelgrad.
- Laveste dekketemperatur omregnes til en temperaturverdi kalt for Fraass bruddpunkt. Beregnet Fraass-verdi skal tilfredsstillende kravet for den aktuelle bitumengraden.

Dersom ikke begge disse kravene kan tilfredsstilles med vegbitumen, skal bruk av modifisert bindemiddel vurderes.

N200 oppgir følgende typiske anvendelser for ulike PMB:

- Vegdekke hovedveg: 75/130-65 og 65/105-60
- Vegdekke i vegkryss (signalregulert), rundkjøringer, oppstillings-plasser: 65/105-80 og 40/100-65
- Tynndekker: 75/130-65
- Brubelegninger og spesielt fleksible vegdekker: 75/130-80

## 2.6. Gjenbruk av asfalt

Asfalt består av ca. 95 vekt% steinmaterialer med jevnt over god kvalitet og ca. 5 vekt% bindemiddel. Dette er råmaterialer som er godt egnet for gjenbruk. Det skilles mellom tre bruksområder ved gjenbruk av asfaltgranulat:

- Gjenbruk i normerte massetyper
- Gjenbruksasfalt (Gja)
- Ubunden bruk

Bruksområde for resirkulert retur-asfalt definerer i hvilken grad gjenbrukspotensialet utnyttes. Siden bitumen er det som skiller asfalt fra mekanisk stabilisert steinmateriale, vil man ikke kunne si at hele potentialet til gjenbruksasfalt er utnyttet dersom ikke noe av potentialet til bitumen er dratt nytte av ved det nye bruksområdet. I tillegg er kravet til mekanisk styrke større for tilslag til asfalt enn til de fleste andre bruksområder for ubundne steinmaterialer. Tilslaget i asfalt har med andre ord for god kvalitet for bruk så langt nede i en vegkonstruksjon som for eksempel i forsterkningslag. Varm gjenvinning i asfaltfabrikk er derfor en mer høyverdig form for gjenbruk.

Dimensjoneringsnivå 1, eller Indeksmetoden, som benyttes i Norge til dimensjonering av vegoverbygning, fastsetter lastfordelingskoeffisienter (a) for alle typer vegbyggingsmaterialer. Lastfordelingskoeffisienter er et mål for materialets relative evne til å fordele laster på underliggende lag. Lastfordelingskoeffisientene til alle materialene er presentert i en tabell i figur 510.9 i Statens vegvesens Håndbok N200 i forhold til forsterkningslagsgrus gitt lastfordelingskoeffisient  $a = 1,0$ . De fleste bitumenstabiliserte materialer har lastfordelingskoeffisient  $a = 3,0$ . Det vil si at de fordeler lastene tre ganger bedre enn forsterkningslagsgrusen. Verdiene i tabellen med de ulike lastfordelingskoeffisientene er empiriske, og bygger opprinnelig på resultater fra AASHO-forsøkene gjennomført i USA på slutten av 1950-tallet, men er senere justert etter måling av materialegenskaper på materialer som fins og brukes i Norge. Materialets E-modul og indirekte strekkstyrke er sentrale i bestemmelse av dets lastfordelende evne. Avhengig av metoden som benyttes, kan følgende to uttrykk benyttes ved beregning av lastfordelingskoeffisient:

$$a = 0.38 \sqrt[3]{P}$$

$$a = 0.21 \sqrt[3]{E}$$

der:  $a$  = lastfordelingskoeffisient

$P$  = indirekte strekkstyrke i kPa ved 25°C

$E$  = E-modul i MPa ved 25°C og 10Hz (Bakløkk, 1999)

Fordi verdiene for lastfordelingskoeffisientene til diverse materialer er angitt med en sikkerhetsmargin for å unngå for svak oppbygging, kan man med sikkerhet si at den reelle lastfordelende evne til knust asfalt (Ak) og gjenbruksasfalt (Gja) er noe høyere enn tabellen angir (KFA, 2013). Tabell 2.3 viser utdrag fra figur 510.9 i Håndbok N200.

Tabell 2.3 Lastfordelingskoeffisienter for utvalgte vegbyggingsmaterialer  
(Statens vegvesen, 2014)

<b>a</b>	Material- beteg- elser	Bindemiddel Kvalitet vegbitumen Kvalitet myk bitumen	Lastfordelings- koeffisient, normalverdi	Vannømfintlig materiale
				7-15 % < 63 µm
<b>Vegdekker</b>				
Varmblandet asfalt unntatt drensasfalt	Sta, Top, Ab, Agb, Ska	Vegbitumen 35/50 50/70-160/220 ≥ 250/300	3,5 <u>3,0</u> 2,5	
Gjenbruksasfalt, kaldprodusert	Gja	Vegbitumen Myk bitumen	<u>1,75</u> 1,5	
<b>Bærelag</b>				
Gjenbruksasfalt, kaldprodusert	Gja	Vegbitumen Myk bitumen	<u>1,75</u> 1,5	
Knust asfalt	Ak		1,35	
<b>Forsterkningslag</b>				
Grus, Cu <sub>≥15</sub>			1,0	
Pukk, kult			1,1	
Knust asfalt	Ak		1,1	

Som en kan se fra tabellen er materiale knust asfalt (Ak) gitt to forskjellige verdier avhengig av bruksområde. Knust asfalt brukt i forsterkningslag har  $a = 1,1$ , mens den som blir brukt i et bærelag har  $a = 1,35$ . Det er imidlertid ingen forskjell på verken produksjonsmåten eller opprinnelse for disse materialene. Den lastfordelende evnen til knust asfalt er trolig betydelig undervurdert, spesielt når det gjelder bruk langt nede i en vegkonstruksjon. Det kan ha en forbindelse med at kravene til vegbyggingsmaterialer avtar nedover i vegkonstruksjonen, slik at Ak brukt i forsterkningslag ikke behøver å være av like god kvalitet som Ak brukt i bærelag. Det er også viktig å påpeke at knust asfalt brukt som forkiling av forsterkningslag skal tilfredsstille krav til bærelagsmateriale (Statens vegvesen, 2014).

Asfaltgranulat har primært to kilder:

- Knusing av asfaltflak fra oppgraving
- Freste asfaltdekker

Granulat fra knusing av asfaltflak vil ofte få en jevnere gradering enn fresemasse, som gjerne blir mer ensgradert. (KFA, 2013)

Knuste asfaltflak består ofte av ulike typer materialer som har ligget ute i kortere eller lengre tid. Derfor kan bindemiddelinholdet være lavere enn i fresemasse og en del steinmateriale

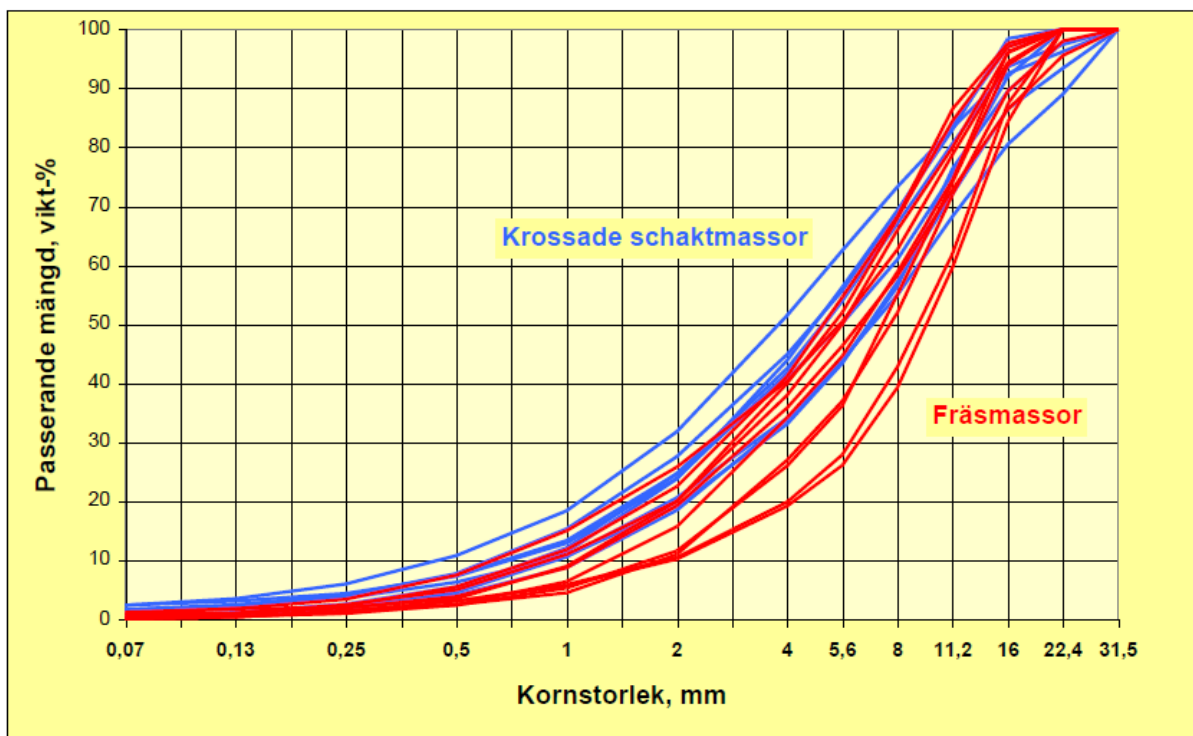
kan være uten bindemiddeldekning. Bindemiddelet kan være hardt på grunn av aldring. Knuste flak egner seg godt til bruk i ubunden form, f. eks. i forsterkningslag og bærelag i en vegoverbygning, og er dessuten godt egnet som forkilingsmateriale.

Fresemasse (frest asfaltdekke) er ikke like velegnet som forsterkningslag som knust asfalt (knuste asfaltflak). Dette gjelder spesielt når det er brukt liten tannavstand på fresetrommel. Fresemassen er da mer ensgradert og, som følge av dette, mer ustabil enn knust asfalt. Dersom fremdriften under fresingen er høy kan granulatet dessuten bli flisig. (KFA, 2013)

Siden fresemasser som regel inneholder en større andel slitelagsmasser, har de gjerne et høyere bindemiddel- og finstoffinnhold enn knuste flakmasser. Fresemasser av slitelag er også ofte yngre dekker enn flakmasser og det gjør at bindemiddelet er mindre oppherdet. Det er slike masser som egner seg best til tilsetning i varmt gjenbruk.

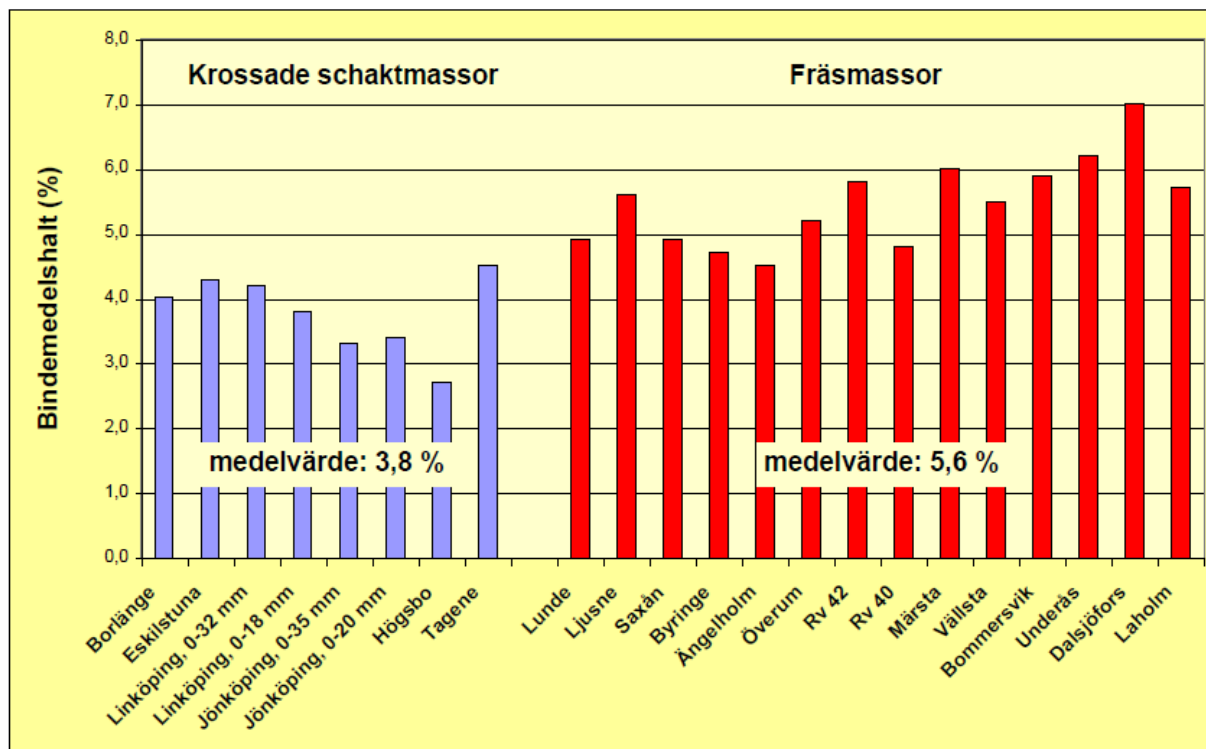
Figurene 2.8, 2.9 og 2.10 viser noen av resultatene av en kartlegging av asfaltgjenvinning i Sverige, utført i regi av Trafikverket. De røde kornkurvene til fresemasser i figur 2.8 er tydelig brattere enn de blåe kurvene som tilsvarer knuste flakmasser.

## Tvåttsiktat



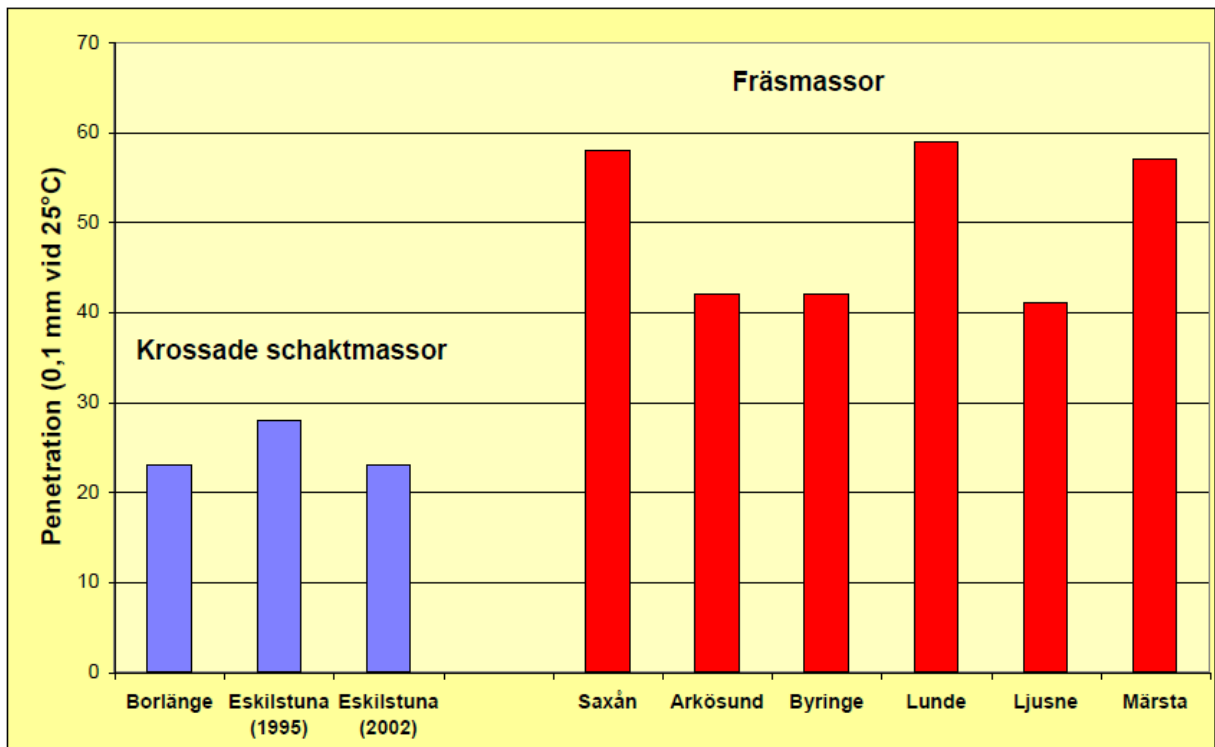
Figur 2.8 Typisk kornfordeling av knuste flakmasser og fresemasser (Jacobson, 2015)

Diagrammene i figurene 2.9 og 2.10 illustrerer at bindemiddelinnholdet er typisk høyere og at bindemiddelet er mykere i fresemasser i forhold til knuste asfaltflak.



Figur 2.9 Bindemiddelinnhold i returafalt fra de to forskjellige kildene (Jacobson, 2015)





Figur 2.10 Penetrasjonsverdier for bindemidlene i de forskjellige typer asfaltgranulat (Jacobson, 2015)

Asfaltgranulatet som tilsettes i produksjon av ny asfalt bør lagres på en slik måte at fuktinnholdet i massen er lav, f. eks. under tak. Høy fuktighet i granulatet gir økt fyringsutgift, samt fare for restfukt i asfaltmassen.

Teoretisk skal bindemiddelet fra granulat og nytt bitumen blandes og danne «ett bindemiddel». Dette skjer sannsynligvis ikke i fullstendig grad. I hvor stor grad bindemidlene blandes avhenger av temperatur og blandetid. Lang blandetid gir mer homogen blanding. Homogeniteten av blandingen vil påvirke de mekaniske egenskapene til asfaltmassen, som stivhet, deformasjonsmotstand og utmattingsegenskaper. Laboratorieforsøk ved University of Nottingham i 2009, viser at lengre blandetid og mer homogen masse gir bedre mekaniske egenskaper. (KFA, 2013)

## **2.7. Bruk av returASFALT i varmblandede verksproduserte massetyper – norske retningslinjer**

Statens vegvesens Håndbok N200 beskriver krav til råmaterialer, sammensetning og ferdig dekke for de normerte massetyperne, som f. eks. asfaltbetong (Ab), asfaltgrusbetong (Agb), asfaltert grus (Ag), skjelettasfalt (Ska) og drengasfalt (Da). Asfaltgranulat kan anvendes i alle normerte massetyper unntatt skjelettasfalt (Ska), og i asfaltbetong (Ab) der det brukes polymermodifisert bindemiddel (PMB). Uansett tilsetningsmengde av asfaltgranulat som benyttes, skal de krav som er satt til de normerte massetyper være oppfylt.

På grunn av at bitumen i asfaltgranulat er hardere enn da asfalten ble produsert må aldringen tas hensyn til når større mengder asfaltgranulat benyttes i produksjon av ny asfalt. Derfor må bindemiddelstivheten i granulatet bestemmes, og hvis bitumenet er hardt må et mykere nytt bitumen anvendes i produksjonen for å kompensere for stivheten på bindemiddelet i granulatet. Tilsetning av bindemiddel skal ved asfaltgjenvinning følge kravene i standardene i NS-EN 13108-serien.

- Ved tilsetning av asfaltgranulat i en mengde som er mindre enn 10 % i slitelag, resp. mindre enn 20 % i bindlag, oppretting og bærelag, kan bindemiddelgraden fastsettes uten forutgående bestemmelser av bindemiddelhardheten i asfaltgranulatet.
- Ved tilsetning av asfaltgranulat i en mengde som er større enn 10 % for slitelag, resp. større enn 20 % for bindlag, oppretting og bærelag, skal bindemiddelgraden bestemmes i henhold til reglene gitt i standarden for den enkelte massetype.

Metoden for å bestemme hvilken bindemiddelgrad som skal benyttes er angitt i Tillegg A i NS-EN 13108-1 og i Vedlegg 10 i Statens vegvesens Håndbok N200. Beregningsmetoden ble etterprøvd, og har vist seg å være uegnet for polymermodifisert bitumen. Dette kan ha en sammenheng med at måling av penetrasjonsverdien er en metode som er lite egnet for klassifisering av PMB. Figur 2.11 viser utdrag fra Vedlegg 10 i Håndbok N200.

## V10.6 Beregning av penetrasjonsgrad og mykningspunkt ved bruk av asfaltgranulat i varme asfaltmasser

Beregningene kan bare anvendes for materialer som utelukkende inneholder eller anvender bitumen.

### Penetrasjonsgrad

Følgende forkortelser benyttes:

Pen<sub>mix</sub>: Penetrasjon i den ferdige blanding inneholdende granulat

Pen<sub>1</sub>: Penetrasjon av gjenvunnet bindemiddel fra asfaltgranulat

Pen<sub>2</sub>: Penetrasjon av tilsatt bitumen ved produksjonen

a og b: Andel av den totale bindemiddelmengden i ny asfaltmasse som kommer fra asfaltgranulatet (a) og fra tilsatt bindemiddel (b), slik at  $a + b = 1$

Følgende formel benyttes:

$$b \cdot \log Pen_2 = \log Pen_{mix} - a \cdot \log Pen_1$$

#### Eksempel

Penetrasjonen i den ferdige blandingen skal tilsvare graden 70/100.

Velg midtpunktet i graden dvs. 85 (eller man foretar to beregninger med yttergrensene 70 og 100). Penetrasjonen i asfaltgranulatet er bestemt til  $Pen_1 = 30$  og andelen av gammelt og nytt bindemiddel er  $a = 0,4$  og  $b = 0,6$ .

Dette gir:

$$0,6 \cdot \log Pen_2 = \log 85 - 0,4 \cdot \log 30 = 1,3386$$

$$\log Pen_2 = 2,231$$

$$Pen_2 = 170 \text{ dvs. Man velger bitumen 160/220.}$$

### Mykningspunkt

Følgende forkortelser benyttes:

T<sub>K&R mix</sub>: Mykningspunkt for den ferdige blanding inneholdende granulat

T<sub>K&R 1</sub>: Mykningspunkt for gjenvunnet bindemiddel fra asfaltgranulat

T<sub>K&R 2</sub>: Mykningspunkt for tilsatt bitumen ved produksjonen

a og b: Andel av bindemiddelmengden fra asfaltgranulatet (a) og fra tilsatt bindemiddel (b) i den totale asfaltblanding, slik at  $a + b = 1$

Følgende formel benyttes:

$$T_{K\&R 2} = \frac{T_{K\&R \text{ mix}} - a \times T_{K\&R 1}}{b}$$

#### Eksempel

Mykningspunktet for den ferdige blandingen skal være 50 °C.

Mykningspunktet for asfaltgranulatet er bestemt til  $T_{K\&R 1} = 62$  °C og andelen av gammelt og nytt bindemiddel er  $a = 0,4$  og  $b = 0,6$ .

Dette gir:

$$T_{K\&R 2} = \frac{50 - 0,4 \times 62}{0,6} = 42$$

Dvs at nytt bindemiddel må ha et mykningspunkt på ca 42 °C som tilsvarende bitumen 100/150 eller 160/220.

Mykningspunktene til det tilsatte bindemiddelet og det gjenvunne bindemiddelet skal bestemmes etter NS-EN 1427.

*Figur 2.11 Metode for bestemmelse av bindemiddelgraden som skal anvendes ved tilsetning av asfaltgranulat i varme masser (Statens vegvesen, 2014)*

Håndbok N200 setter i utgangspunktet, for normerte masstyper, ikke begrensninger i mengde tilsatt eller bruksområder for asfalt med gjenbruk. Mengden av granulater som kan tilsettes vil avhenge av hvor stor forskjell det er i egenskapene til materialene i granulatet og det som forventes i den normerte masstypen. De vanligst benyttede masstypene i Norge, som Ab, Agb og Ag, har en jevnt gradert kornkurve, og det gjør at som oftest vil en kornkurve fra ekstrahert granulater ha en jevn fordeling av partikkelstørrelser. Litt mer spesielle masstyper som Ska og Da krever mer ensgradert materiale, det vil si forholdsvis mer av de grove partiklene, og det vil da kunne være u hensiktsmessig å produsere slike masser med gjenbruk.

Foreløpig stilles det lite krav til steinkvaliteten i asfaltgranulat som skal benyttes i de normerte dekketyper, men med økende mengde tilsetning også i masser til høytrafikkerte veger kan dette bli skjerpet (KFA, 2013).

Asfaltgranulat som skal gjenbrukes i varmasfalt skal kontrolleres med hensyn på forurensning i henhold til NS-EN 13108-8. Figur 622.9 i Statens vegvesens Håndbok N200 angir krav til dokumentasjon av asfaltgranulat brukt som tilsetning i ny, varmprodusert asfalt. Figuren er gjengitt i tabellen nedenfor.

Tabell 2.4 Dokumentasjon av asfaltgranulat til varm gjenvinning  
(Statens vegvesen, 2014)

Dokumentasjon av	Prøvningshyppighet for dokumentasjon En prøve pr mengdeenhet asfaltgranulat	
	Andel resirkulert asfalt i massen	
Slitelag	< 10 %	> 10 %
Bindlag og bærelag	< 20 %	> 20 %
Forurensninger (fremmedmaterialer) <sup>1)</sup>	2000 tonn	500 tonn
Bindemiddelinnhold	-	500 tonn
Korngradering (ekstrahert)	-	500 tonn
Største partikkelstørrelse av granulater	-	500 tonn
Bindemiddelhardhet (penetrasjon, mykningspunkt eller viskositet)	-	500 tonn

1) Forurensninger er fremmedstoffer som betong, tegl, tre, plast mv.

Ved mer enn 10 % tilsatt asfaltgranulat i slitelag eller 20 % i bindlag og bærelag til varm gjenvinning skal forurensningene i form av fremmedmaterialer ikke overskride kravene til kategori F5 i NS-EN 13108-8, det vil si maksimalt 5 % gruppe 1-materialer (betong, murstein,

materialer fra underliggende, ikke bituminøse lag, sementmørtel og metall) og maks 0,1 % gruppe 2-materialer (syntetiske materialer, treverk og plast). (KFA 2013)

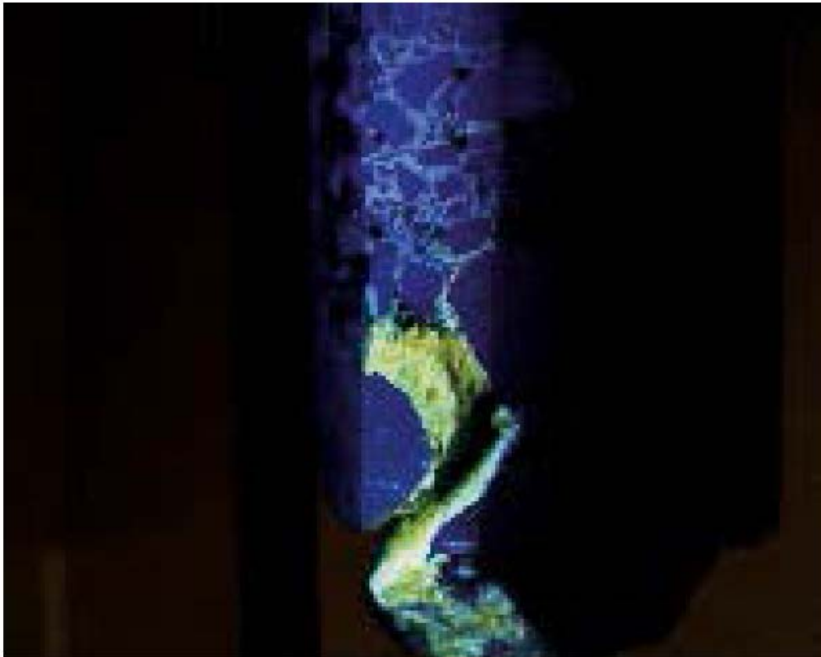
Før 1970 ble det i en del tilfeller produsert asfalt basert på steinkulltjære som bindemiddel. Slik tjære kan inneholde relativt store mengder (opptil 150000 ppm) PAH. PAH, eller polysykliske aromatiske hydrokarboner, er en stoffgruppe som består av mange forskjellige forbindelser. Noen er giftige, skadelige for arvestoffet og kreftfremkallende. PAH dannes ved all ufullstendig forbrenning av organisk materiale. Vanlig bitumen inneholder PAH i relativt små mengder (30-40 ppm) og med et bitumeninnhold på rundt 5 vekt% vil asfalten få et innhold på PAH på omtrent 2 ppm.

Sverige og Norge anbefaler at returasfalt ikke gjenvinnes varmt ved PAH-konsentrasjon henholdsvis  $> 100$  ppm og  $> 70$  ppm. Over disse konsentrasjonene bør gjenbruk foretas kaldt for å unngå skadelig avdamping ved produksjon og utlegging. Dersom en avdekker PAH-konsentrasjoner  $> 1000$  ppm i returasfalt må materialet som en generell regel leveres på deponi. (KFA, 2013)

I den forbindelse er det først og fremst naturlig å vurdere returasfalt med hensyn på om den inneholder steinkulltjære. Det er fire enkle metoder som kan styrke eller avkrefte mistanker om tjæreinnehold:

1. Alder: Tjæreholdige bindemidler har vært lite anvendt i Norge og anvendelsen opphørte på slutten av 1960-tallet. Dersom man vet at det første asfaltlaget i konstruksjonen er lagt etter 1970 er sjansene for tjæreinnehold minimale.
2. Lukt: Tjære har en helt spesiell lukt, og ofte vil det være nok å lukte på gamle asfaltflak for å kunne detektere tjæreinnehold.
3. Løselighet: En del løsemidler løser tjære lettere enn bitumen. Sprayer man en asfaltprøve med en løsningsbasert hvit maling vil den hvite fargen etter en kort tid (mindre enn 30 sekunder) gå over til å bli gul hvis prøven inneholder tjære. Prøver uten tjære forblir hvite eller bruker lengre tid på å gulne.
4. UV-lys: Tjære er fluoriserende i UV-lys med bølgelengde 366 nm. En tørr prøve sprayeres med en hvit løsningsbasert spraytype. Prøven bør mørklegges så mye som mulig i forkant av undersøkelse. Ca. 30 sekunder etter spraying fremtrer den gulgrønne fargen under UV-bestråling dersom prøven inneholder tjære. Prøver som bare inneholder bituminøst

bindemiddel får en blå farge ved UV-belysning. Figur 2.12 viser en asfaltprøve som blir undersøkt med denne metoden.



Figur 2.12 Tjæreholdig prøve (KFA, 2013)

Denne metoden er et supplement til metode 3, Løselighet, for enda sikrere påvisning.

I utgangspunktet er det leverandøren (iltakshaver, byggherre, eier) som må dokumentere at returafalten er fri for tjære eller andre farlige forurensninger.

Krav til fravær av humus gjelder også for resirkulert asfalt som i annet tilslag.

Erfaringsmessig er humus mest aktuelt å finne i knuste flak og sams masser, ikke i fresemasser.

## 2.8. Forskning og erfaringer i andre europeiske land

For tiden pågår det tre europeiske forskningsprosjekter innen gjenbruk av asfalt som Statens vegvesen, som et medlem av CEDR, Conference of European Directors of Roads, er med på å finansiere: *EARN* (varm gjenvinning), *AllBack2Pave* (varm gjenvinning) og *COREPASOL* (kaldteknikk).

Prosjektene ble startet i 2013 og skal ferdigstilles i 2015.

Formålet er å komme fram til løsninger som muliggjør høyere gjenbruksandeler og mer optimal utnyttelse, samt verktøy for levetidsberegning og synliggjøring av langtidsnytte med hensyn på økonomi og miljø med mer.

Her følger en kort presentasjon av prosjektene som omhandler varm gjenvinning.

- **EARN** står for **Effects on Availability of Road Network**, og er et prosjekt som gjennomføres i samarbeid mellom vegmyndighetene i Irland (National Roads Authority), Transport Research Laboratory (TRL), universiteter i Kassel (Tyskland), Dublin (Irland) og Delft (Nederland), samt industrien representert av Lagan Construction Group og Shell Bitumen. Prosjektet er en del av CEDR Transnational Road Research Program "*Recycling: Road construction in a post-fossil fuel society*". Forskningsprogrammet finansieres av vegmyndighetene i Danmark, Finland, Tyskland, Irland og Nederland, i tillegg til Norge.

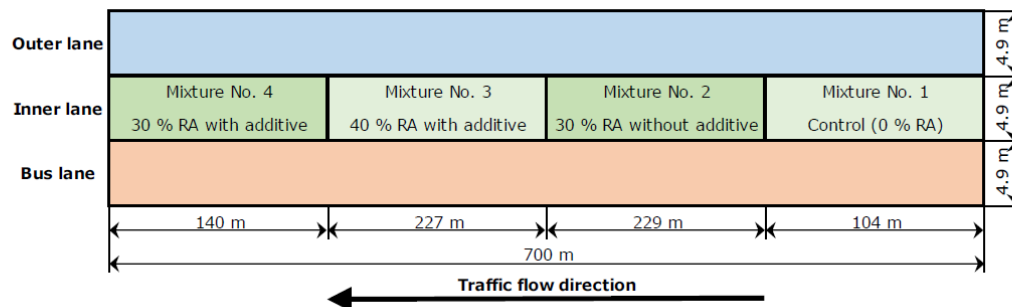
Prosjektet går ut på å teste Ska 10 med PMB (65/105-60), bestående av nytt kjent tilslag, kalkfiller, polymermodifisert bitumen, tilsetningsstoff Cecabase RT 945, og ulik prosent tilsatt asfaltgranulat med PMB. Testingen omfatter både feltobservasjoner og -målinger, og laboratorieanalyser, som fokuserer på aldringsmekanismene og motstand mot vannskader (vannømfintlighet).

Ett av målene til prosjektet er utvikling av livsløpsanalysemodeller for bruk av alternative materialer og synliggjøring av de økonomiske og miljømessige kostnadene. Asfaltgranulatet som ble brukt i forsøkene er et nedfrest slitelag fra en høytrafikkert motorveg utenfor Dublin. Slitelaget har da vært på vegen i ca. ti år.

Figur 2.13 viser fire forsøksfelt på en høytrafikkert veg i Irland (ÅDT >15000) som ble reasfaltert med forskjellige massetyper.

# Trial site

N3 city bound between Clonee and Blanchardstown  
average daily traffic >15,000



Figur 2.13 Forsøksstrekningen i EARN-prosjektet (<http://nra.ie/policy-publications/nra-national-roads-confer-1/nra-national-roads-confer-1/1.9-Recycling-of-pavement-materials-EARN-S-Cassidy.pdf>)

Foreløpige resultater viser at spordeformasjoner øker ved økt prosent tilsetning av asfaltgranulat, mens motstand mot vannskader forbedres. Dette kan ha en sammenheng med ufullstendig homogenisering av bitumenet i asfaltmassene, og stivere bindemiddel som fortsatt omslutter tilslaget fra granulatet.

- **AllBack2Pave** er et prosjekt som i likhet med EARN er en del av CEDR Transnational Road Research Program “*Recycling: Road construction in a post-fossil fuel society*”. Forskningsprosjektet vurderer muligheten for å gjenvinne oppimot 100 % av returasfalt fra asfaltdekker. Prosjektet startet i november 2013 av Technische Universitaet Dresden (TU Dresden) i Tyskland, sammen med University of Nottingham (UNOTT) i Storbritannia og Universitetet i Palermo (UNIPA) i Italia.



Undersøkelsene gjennomføres i tett samarbeid med EAPA (European Asphalt Pavement Association), FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories) og privat sektor, som inkluderer diverse asfaltfabrikker, produsenter av kjemiske tilsetningsstoffer og forvaltere av avfallsmaterialer.

De viktigste målene for prosjektet er:

- Å fastsette, gjennom laborietester av bindemidler og asfaltmasser, hvorvidt bruk av høye tilsetningsprosent av retur-asfalt er mulig i produksjon av asfaltmasser med høy slitestyrke.
- Å utvikle den såkalte "AllBack2Pave end-user manual" om hvordan man best kan produsere høykvalitets asfaltmasser med høyt innhold av gjenbruksasfalt mest mulig kostnadseffektivt.

Forskningsarbeidet går ut på å teste to typer skjelettasfalt (SMA) som er de mest vanlige dekketyper i Tyskland og Italia. Tilsetningsprosenten av asfaltgranulat i hver massetype varierer fra 0 % (referansemasse) til så høyt som mulig oppimot 100 %. De mekaniske egenskapene til de forskjellige asfaltmassene sammenlignes for å identifisere de viktigste faktorene som påvirker asfaltmassenes ytelse.

Prosjektet består av fire tekniske arbeidspakker (WPS). I WP2 utføres proporsjonering av de forskjellige massene som skal testes. Aspekter i forbindelse med produksjon blir undersøkt i WP3. Slike faktorer som fraksjonering og lagring av RA i blandeanlegget og kvalitetskontroll under produksjonsprosessen blir vurdert i denne arbeidspakken. WP4 går ut på å utføre mekanisk testing av de forskjellige asfaltmassene. Testingen omfatter målinger av stivhet, motstand mot utmatting, spordeformasjoner (både i form av slitasje og permanente deformasjoner) og vannskader. Målet for den siste arbeidspakken er å utføre en vurdering av bærekraftighet når det gjelder bruk av asfaltdekker med høy gjenvinningsgrad. Studien, som er basert på utvalgte europeiske case-studier, identifiserer de mest kostnadseffektive løsninger samtidig som den tar hensyn til miljøinnflytelse over hele livssyklusen til de utvalgte dekkene.

Det har blitt utarbeidet regneverktøy som gjør det mulig å utføre en miljøregnskapsanalyse, eller LCA (Life Cycle Assessment), og en analyse av økonomiske aspektet ved bruk av gjenbruksasfalt kalt LCCA (Life Cycle Cost Analysis).

Det har blitt forsøkt samlet opplysninger fra prosjektet som denne masterstudien er en del av for å gjennomføre LCA og LCCA. Forsøket var ikke vellykket da mye av den informasjonen som skal til for å gjennomføre regnskapet er tapt eller ikke loggført.

Skjema fra AllBack2Pave-prosjektet med de utfylte opplysningene fins i vedlegg 2. Punktene som er merket med grønt er opplysninger som var tapt eller ikke mulig å fremskaffe, mens de punktene som er merket med gult er uklare og bør spesifiseres nærmere, eventuelt tilpasses det konkrete prosjektet.

Foreløpige resultater av AllBack2Pave-prosjektet viser at homogenitet av granulatet har en meget stor betydning for asfaltmassenes proporsjoneringsprosess når det gjelder masser med store mengder tilsatt gjenbruksasfalt. Dette bekrefter tanken på at returafalt bør sorteres etter opprinnelse og kvalitet, og lagres separat. Det har per februar 2015 blitt proporsjonert asfaltmasser som består av maksimalt 90 % tilsatt asfaltgranulat.

I Sverige har det også blitt gjennomført studier av varm gjenbruk av asfalt, med 20 og 40 % tilsetning av granulat. Forsøksstrekningen ble asfaltert i 1997, men med bruk av vanlig vegbitumen, ikke PMB. Resultatene for målte spordeformasjoner etter ti år i bruk viser ingen signifikante forskjeller på strekningene med og uten tilsetning av granulat.

Bindemiddelgraden til utgangsbindemiddelet ser ut til å ha en mye større innvirkning på dekkets levetid enn tilsetningsgraden av asfaltgranulat. (Jacobson, 2015)

Finland hevder å være en av verdens ledende land når det gjelder varm gjenvinning av asfalt. Der er det tillatt (og er vanlig praksis) med opptil 50 % tilsetning av asfaltgranulat i nye asfaltdekker og helt opptil 70 % tilsetning i bitumenstabiliserte bærelagsmasser. Det anvendes mye myke bindemidler ved proporsjonering av de normerte massene for å kompensere for det stive bindemiddelet man har i gjenbruksasfalten. De finske erfaringene med varm gjenvinning av asfalt er generelt gode, men det presiseres at riktig proporsjonering av bindemiddelet er viktig for ikke å få for sprøtt dekke. Det er også i den forbindelse snakk om asfaltmasser med umodifisert bitumen (sluttproduktet er som regel en 70/100-bitumen). (Forstén, 2015)

I følge Krister Persson fra Total Bitumen Nordic pågår det forskning på innblanding av asfaltgranulat i nye masser med PMB i Europa. I hans presentasjon på NVF-seminariet "Hög återvinningsgrad - vägen framåt!" i Sverige i januar 2015 fremkommer det at det er tillatt med opptil 40 % tilsatt granulat i nye asfaltmasser med PMB i Tyskland. Massene anvendes dog som oftest i bindlag, men i noen tilfeller også i slitelag. Tsjekkia og Slovakia har ifølge Persson tillatt tilsetningsgrad av granulat opptil 25 % ved bruk av PMB. (Persson, 2015)

### 3. Felt- og laboratoriearbeid

For å dokumentere hvordan tilsetning av asfaltgranulat påvirker egenskapene til asfaltbetong med polymermodifisert bindemiddel ble det i 2014 bestemt å reasfaltere en strekning av E6 på Romerike på rundt 4 km med asfaltmasser iblandet forskjellig mengde asfaltgranulat. Strekningen ble delt inn i fire forsøksfelt der det ble lagt fire forskjellige typer masse. Referansefeltet fikk nytt slitelag av Ab 16 med PMB uten tilsetning av fresemasse, én delstrekning ble reasfaltert med Ab 16 med PMB tilsatt 10 % asfaltgranulat, på det neste feltet ble den samme massen lagt ut, bare med utvidet blandetid, og det siste forsøksfeltet fikk et nytt slitelag av Ab 16 med PMB iblandet 15 % granulat.

Det ble tatt prøver av de forskjellige asfaltmassene før utleggingen for ekstraksjon og testing av bindemiddelet, samt av ferskt bindemiddel for å se hvordan og i hvilken grad det umodifiserte bitumenet fra granulat påvirker egenskapene til polymermodifisert bitumen i asfaltmassene. Penetrasjon, mykningspunkt, Fraass bruddpunkt og elastiske egenskaper ble målt på gjenvunnet bitumen fra de forskjellige massetyperne. Testmetodene for bestemmelse av penetrasjon, mykningspunkt, Fraass bruddpunkt og elastisk tilbakegang ble valgt å gjennomføre på grunn av at de er relativt gamle og godt kjente. Dessuten stilles det konkrete krav til disse verdiene i dagens vegnormaler. MSCR-forsøket er en av de nyeste metodene som er skreddersydd for testing av polymermodifiserte bindemidler, og som antas å si noe meget konkret i forhold til de elastiske egenskapene til bitumenet fra de forskjellige forsøksfeltene.

Under utleggingen ble det gjennomført utvidet kontroll av blant annet komprimering. Senere ble det boret ut en del kjerner fra hvert felt til testing av motstand mot permanente deformasjoner, piggdekkslitasje og partikkeltap. Disse metodene er godt innarbeidet i de norske standardene for testing av asfaltdekker.

En detaljert beskrivelse av arbeidet som ble gjort følger i dette kapittelet.

Tabell 3.1 viser oversikt over fordelingen i utførelsen av arbeidene.

Tabell 3.1 Arbeidsfordelingen

<i>Arbeidsprosess</i>	<i>Utført av</i>
Proporsjonering av massene og diverse tester i forkant av produksjon (de proporsjonerte massene og asfaltgranulat)	Franzefoss Bondkall Asfalt ved Franzefoss Pukk AS, for

	Lemminkäinen Norge AS
Prøvetaking og testing av alle typer masser ved produksjon på asfaltfabrikk	Franzefoss Bondkall Asfalt ved Franzefoss Pukk AS
Fresing av gammelt og utlegging av nytt slitelag på forsøksstrekningen	Lemminkäinen Norge AS med underentreprenører
Ordinær driftskontroll under utlegging	Lemminkäinen Norge AS
Måling av densitet og hulrom under utlegging	Lemminkäinen Norge AS
Scanning med varmekamera under utlegging	KFA
Ordinær byggherrekontroll under utlegging	Dekkeprosjektet ved Statens vegvesen, Region øst
Kjerneboring	Statens vegvesens Sentrallaboriet i Oslo
Registrering av initialspor	Vegdirektoratet, Statens vegvesen
Frakt av prøver fra Statens vegvesens Sentrallaboriet i Oslo til Sentrallaboriet i Trondheim	Odd Durban Hansen ved Vegdirektoratet, for meg
Testing av densitet, hulrom, bitumenfylt hulrom, hulrom i steinskjelett og bitumeninnhold på borkjerner fra punktene 1-5 fra hvert forsøksfelt	KFA
Testing av motstand mot permanente deformasjoner på borkjerner Ø200 mm fra referansefelt A (Wheel Track)	Meg, i samarbeid med Statens vegvesens Sentrallaboriet i Trondheim
Testing av motstand mot permanente deformasjoner på borkjerner Ø200 mm fra forsøksfeltene B, C og D (Wheel Track)	Statens vegvesens Sentrallaboriet i Trondheim, for meg
Testing av motstand mot piggdekkslitasje på borkjerner Ø100 mm fra referansefelt A (Prall)	Meg, i samarbeid med Statens vegvesens Sentrallaboriet i Trondheim
Testing av motstand mot piggdekkslitasje på borkjerner Ø100 mm fra forsøksfeltene B, C og D (Prall)	Statens vegvesens Sentrallaboriet i Trondheim, for meg
Testing av partikkeltap på borkjerner Ø100 mm	Meg, i samarbeid med Statens vegvesens Sentrallaboriet i

	Oslo
Ekstraksjon av bindemiddel, samt testing av penetrasjon, mykningspunkt og elastiske egenskaper på gjenvunnet og ferskt bindemiddel	Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim, for meg
Måling av Fraass bruddpunkt på gjenvunnet og ferskt bindemiddel	Veidekke Industri AS, for meg

Fremstilling og vurdering av resultatene for diverse målinger i felt og gjennomførte laborietester (med unntak av Wheel Track test av borkjerner) er basert på gjennomsnittsverdiene for de testede prøvene/parallelene. Det har også blitt gjennomført t-test i programmet Excel på de testresultatene der en hadde tilgang til resultatverdiene for flere prøveparalleler. Dette for å se om testresultatene og målingene fra det ene forsøksfeltet (evt. den ene massetypen) er signifikant forskjellige fra testresultatene og målingene fra det andre forsøksfeltet (evt. den andre massetypen). Resultater fra forsøksfelt/masstype A ble sammenlignet med resultater fra forsøksfelt/masstype B for å evaluere virkningen av granulattilsetning. Statistisk testing av resultater fra forsøksfelt/masstype B og C ble gjennomført for å avdekke påvirkning av utvidet blandetid ved samme tilsetningsgrad, mens t-test av resultatverdier fra forsøksfelt/masstype C mot verdiene fra forsøksfelt/masstype D har gjort det mulig å se på effekten av økt tilsetningsprosent. Ved gjennomføringen av t-testen ble fordelingene for de datautvalgene som er testet mot hverandre antatt å være tosidig med lik varians. Signifikansnivå på 95 % ble valgt som aksept-nivå for å forkaste hypotesen om signifikant forskjell mellom resultatverdiene. En t-verdi under 0,05 viser at det er over 95 % sannsynlighet for at gjennomsnittsverdiene fra de forskjellige utvalgene er signifikant ulike.

### **3.1. Arbeid i forkant av utlegging**

Reseptene (Vedlegg 3) for de massetypene som ble brukt i forsøket ble laget av Franzefoss Bondkall Asphalt ved Franzefoss Pukk AS for hovedentreprenøren i forkant av utleggingen. Alle massetypene tilfredsstiller krav til Ab 16 med PMB gitt av Håndbok N200. Asphaltgranulatet ble ekstrahert, og bindemiddelinhold og kornfordeling bestemt. I tillegg ble én prøvesekk med granulat sendt til Statens vegvesen for bruk i denne studien.

Massetypene har blitt proporsjonert i 2014, og proporsjoneringen ble utført på samme måte for alle reseptene. På de proporsjonerte massene ble det målt marshallhulrom, bitumenfylt hulrom og hulrom i steinskjelett. Wheel Track test ble utført på laboratorietillagde prøver av alle massetypene.

Under produksjon ble det tatt tre prøver per masstype/felt for bestemmelse av sammensetning, samt fem ti-liters prøver per masstype/felt for senere testing (fire til KFA og én til denne studien for gjenvinning og testing av bindemiddel). I tillegg ble det tatt ut to liter av bindemiddel per levering (én levering tilsvarer omtrent et felt), samt tre tre-liters prøver fra én av leveringene for testing hos KFA.

På asfaltverket ble det holdt kontroll med fuktinnholdet i asfaltgranulatet, som ble tilsatt kaldt til den varme asfaltmassen, for å sikre jevn kvalitet. Det var ikke registrert noen avvik, og målingene ble ikke loggført.

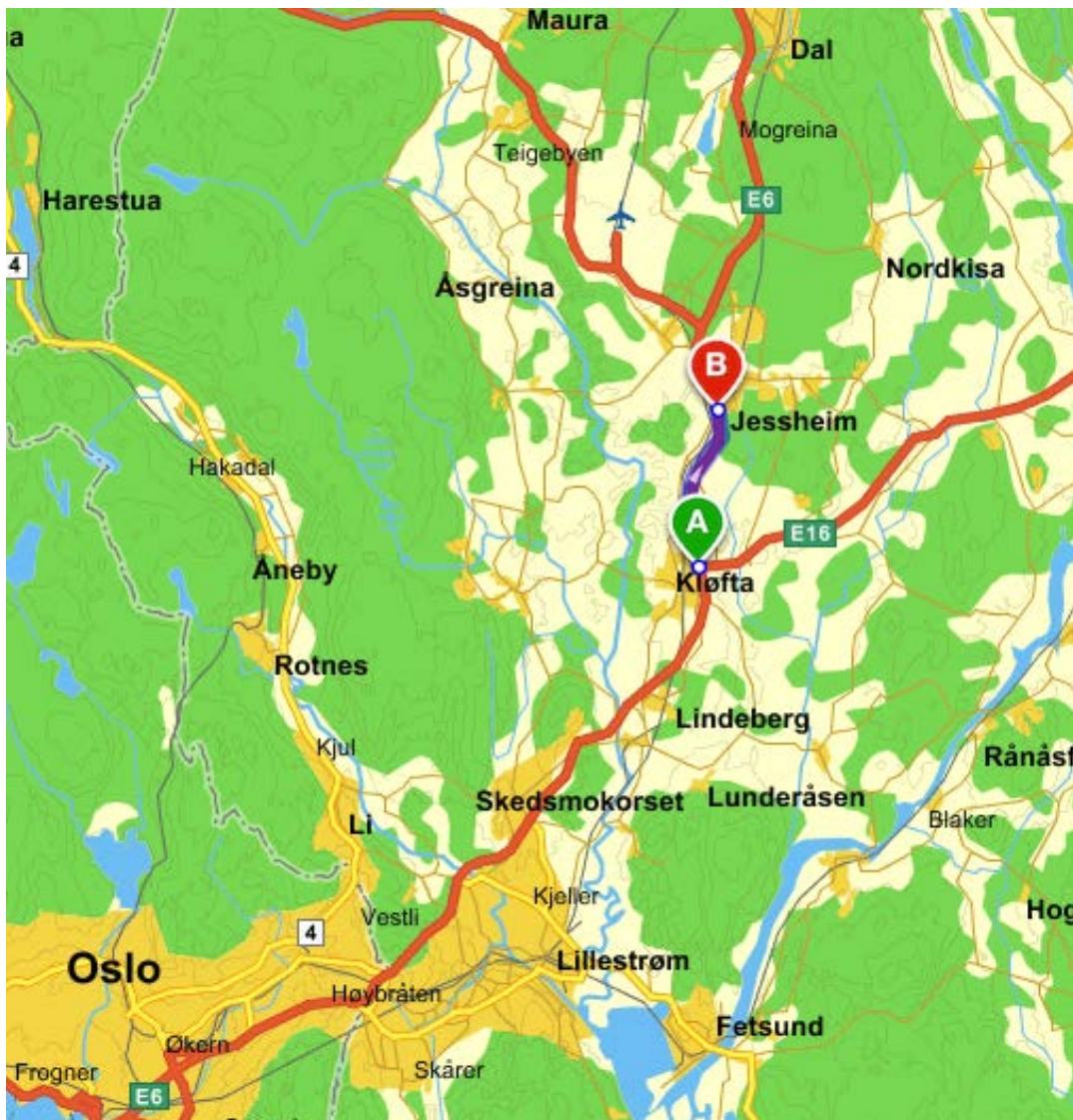
## 3.2. Feltarbeid

### 3.2.1. Asfaltutlegging på forsøksstrekningen

I august 2014 ble fire forsøksfelt reasfaltert med Ab 16 med PMB på E6 mellom Kløfta og Langeland på Romerike (Hp 10, km 5853 – Hp 11, km 3545, felt 3):

<i>Felt</i>	<i>Massetype</i>	<i>Reseptnr.</i>	<i>Blandetid</i>	<i>Km - km</i>	<i>Lengde</i>
A	Referanse, Ab 16 PMB	141411914	30 sek.	Hp 10, km 5853 - Hp 11, km 373	890 m
B	Ab 16 PMB med 10 % asfaltgranulat	141413914	33 sek.	Hp 11, km 368 - 1610	1242 m
C	Ab 16 PMB med 10 % asfaltgranulat	141413914	38 sek.	Hp 11, km 1610 - 2450	840 m
D	Ab 16 PMB med 15 % asfaltgranulat	141414914	38 sek.	Hp 11, km 2446 - 3545	1099 m

Figurene 3.1 og 3.2 viser kartutsnitt med forsøksstrekningen.



Figur 3.1 Forsøksstrekningen E6 Kløfta – Langeland er merket med blå strek fra punkt A til punkt B



Figur 3.2 Forsøksstrekningen E6 Kløfta – Langeland på Romerike

Asfaltgranulatet stammer fra den samme driftskontrakten, men en annen vegstrekning. Den aktuelle vegstrekningen ligger på E6 mellom Hvam og Skedsmovollen på Romerike. Slitelaget (4,5 cm), som ble frest bort for deretter å bli brukt til tilsetning i Ab 16 med PMB, er en blanding av masser som har vært lagt ut i 2008 (Ab 11), 2004 (Ska 16) og 1999 (Ska 16). Det har altså ligget på vegen i maksimalt 15 år. PMS-rapporten som viser historiske dekkedata for parsellen fins i Vedlegg 4.

Det opprinnelige slitelaget på forsøksstrekningen ble frest bort, så ble det nye slitelaget lagt ut fortløpende. Arbeidet ble gjennomført om natten og tok til sammen fem netter (kl. 22:00 – kl. 05:30). Figurene 3.3, 3.4 og 3.5 viser illustrasjonsfoto av asfaltfresing nattetid på E6.





*Figur 3.3 Fresing av gammelt slitelag på E6 i Romerike (Foto: Karoline Vaager)*



*Figur 3.4 Fresetenner på en asfaltfreser (Foto: Karoline Vaager)*



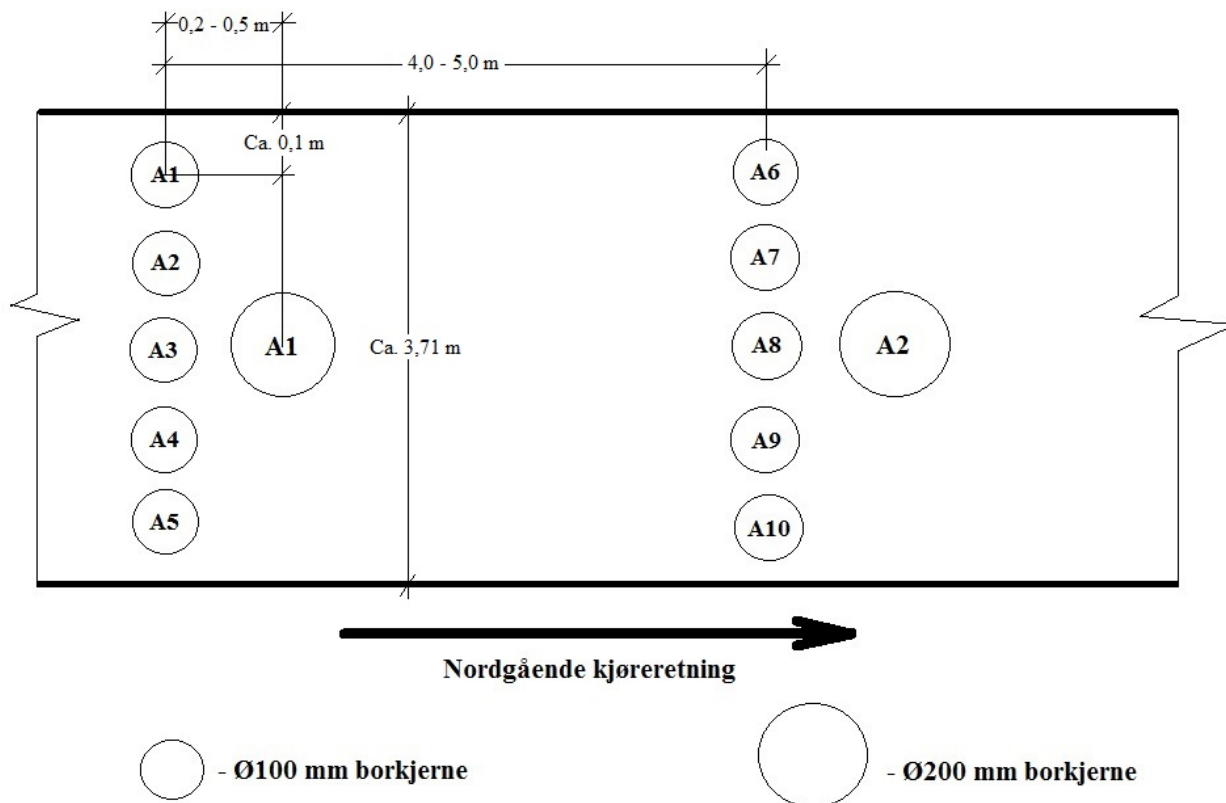
*Figur 3.5 Fresetrauet etter fresing og rengjøring (Foto: Karoline Vaager)*

Massetyperne B og C har lik resept (se Vedlegg 3). Forskjellen er utvidet blandetid ved produksjon av massetype C. Dette ble gjort for å teste innvirkningen av blandetid på homogeniteten av ferdig asfaltmasse. Siden massetype D inneholder relativt mye asfaltgranulat ble det valgt å bruke utvidet blandetid også for den.

Massen på forsøksfelt B ble lagt ut i flere omganger på grunn av tekniske problemer på asfaltfabrikken. For mer opplysninger, se kommentarer til IR-scanning fra 21.8.2014 i Vedlegg 5. Det er det sist utlagte dekke som er prøvetatt og analysert.

Ved utlegging ble ordinær driftskontroll gjennomført av entreprenøren i henhold til krav satt i Statens vegvesens Teknologivdelingens rapport nr. 2505 fra 2008 – det ble tatt ut masseprøver og foretatt densitetsmålinger.

Skisse i figur 3.6 illustrerer målemønster for densitetsmålinger.



Figur 3.6 Mønster for målinger av densitet og hulrom, og for kjerneboring

Det ble i tillegg gjennomført utvidet kontroll av komprimering (hulromsmålinger ved hjelp av en isotopmåler). Den ble foretatt mellom lassbytter for hver femte lastebil i fem punkter på tvers av vegen på tre steder (totalt 15 målinger, se figur 3.6). Alle målepunktene ble merket med spraymaling for senere uttak av borkjerner. Punktene er jevnt fordelt over feltbredden som varierer 5-10 cm og er 3,71 m i snitt.

Varmekamera ble brukt kontinuerlig mens utleggingen var i gang for å bedømme homogenitet og variasjoner, spesielt i forbindelse med lassbytter. Rapporten fra IR-scanningen fins i Vedlegg 5.

I tillegg ble ordinær byggherrekontroll utført av Statens vegvesen.

Entreprenøren har tatt ut masseprøver for eget bruk under utlegging.

### 3.2.2. Uttak av borkjerner

Uttak av borkjerner ble foretatt av Statens vegvesen i september 2014. Det ble tatt ut én Ø100 mm borkjerne i hvert målepunkt for densitet, totalt femten kjerner per felt. Disse ble merket

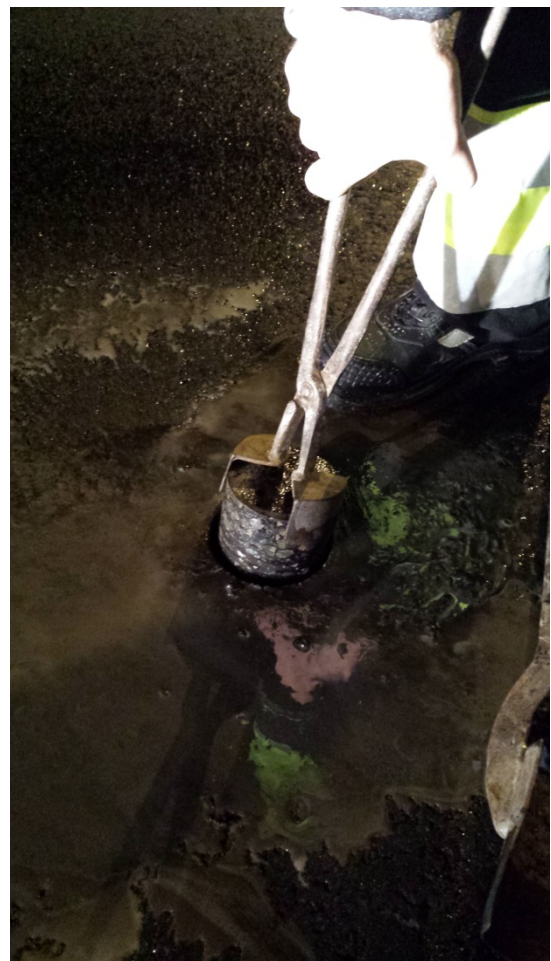
på samme måte som målepunktene (A1, A2, ..., D14, D15). Borkjerner nummer 1 – 5 (f.eks. A1, A2, A3, A4 og A5) ble brukt av KFA for bestemmelse av densitet, hulrom, bitumenfylt hulrom og hulrom i steinskjellet. Kjerner merket med nummer 6 – 10 og 11 - 15 i hvert felt ble benyttet til testingen i denne studien. Bildene i figurene 3.7, 3.8, 3.9 og 3.10 viser uttak av borkjerner fra referansestrekning A.



*Figur 3.7 Boret kjøres innpå det anmerkede uttakspunktet*



*Figur 3.8* Viktor Hedfors (venstre) og Roy Støverud (høyre) fra Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Oslo gjør seg klar til å bore ut den første prøvekjernen



*Figurene 3.9 og 3.10* Uttak av borkjerne A2

Det ble i tillegg tatt ut tre borkjerner med diameter 200 mm i hvert felt for testing i Wheel Track i denne studien. Kjernene ble tatt ut midt i vegbanen nær uttak av Ø100 mm kjerner (se figur 3.6). Kjøreretningen ble anmerket før boring.

Prøvene ble oppbevart hos Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Oslo før alle utenom Ø100 mm borkjerner merket med nummer 6 – 10 ble fraktet til Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Trondheim for testing.

Registreringen av initialspor på forsøksstrekningen ble utført av Vegdirektoratets målebil 9.9.2014.

### 3.3. Laboratorieanalyser

#### 3.3.1. Ekstraksjon av masseprøver

Masseprøvene fra hvert forsøksfelt samt asfaltgranulatet ble ekstrahert og bitumen ble gjenvunnet i henhold til prosedyre beskrevet i NS-EN 12697-3 «Bituminøse masser - Prøvmåter for varmblandet asfalt - Del 3: Gjenvinning av bitumen med rotasjonsfordamper» på Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim. Bildene i figurene 3.11 og 3.12 viser gjenvinning av bitumen fra referansestrekningen.



Figur 3.11 Masseprøve A er klargjort for ekstraksjon



*Figur 3.12 Inndamping av metylenklorid fra det ekstraherte bindemiddelet*

Asfaltgranulatet var fuktig og måtte derfor tørkes i én time i tørkeskap på 110°C før ekstraksjonen. Dessuten inneholdt granulatet en relativt liten mengde små klumper av vegmaling. Disse ble plukket ut fra prøven før ekstraksjon. Bilde i figur 3.13 viser en prøve med asfaltgranulatet som er i ferd med å bli satt i tørkeskapet, mens bilde i figur 3.14 viser vegmalingspartiklene som ble funnet i prøven.



*Figur 3.13 Asfaltgranulat*





Figur 3.14 Klumper av vegmaling funnet i granulatrøven

Det gjenvunne bindemiddelet ble testet på Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim og på Kompetansesenteret til Veidekke Industri AS i Trondheim i januar-februar 2015.

Statens vegvesens Sentrallaboratoriet skriver følgende merknad i rapporten fra bindemiddelanalyser:

*«Ved gjenvinning av bindemiddel etter ekstraksjon i ekstraksjonsmaskin, er det begrenset hvor stor prøve man kan benytte. Det var derfor begrenset med materiale tilgjengelig for testing. For å slippe å gjøre flere gjenvinninger per prøve, noe som er tidkrevende, ble det derfor valgt å gjøre noen tiltak i forhold til testing av penetrasjon og elastisk tilbakegang. Disse er kommentert spesielt nedenfor.»*

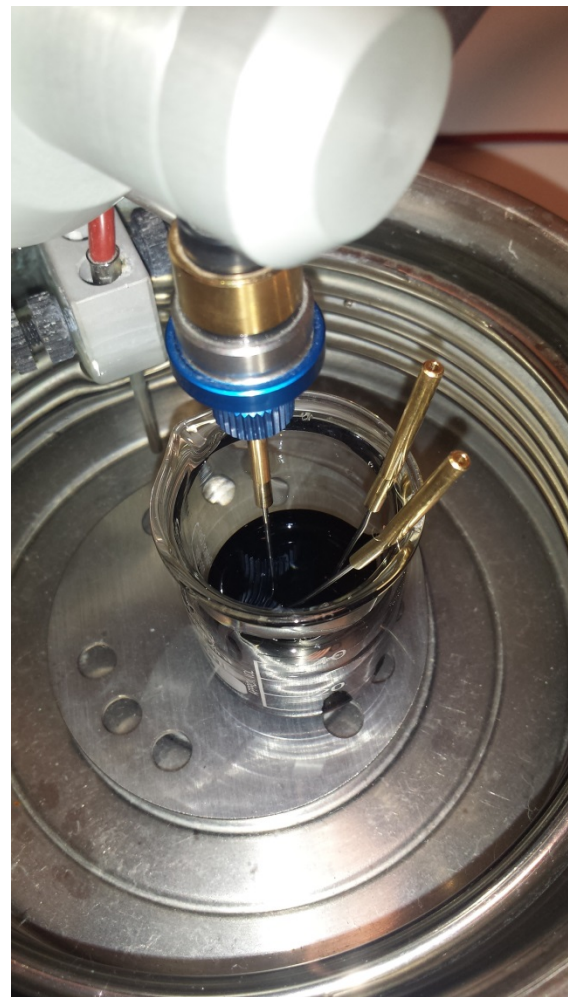
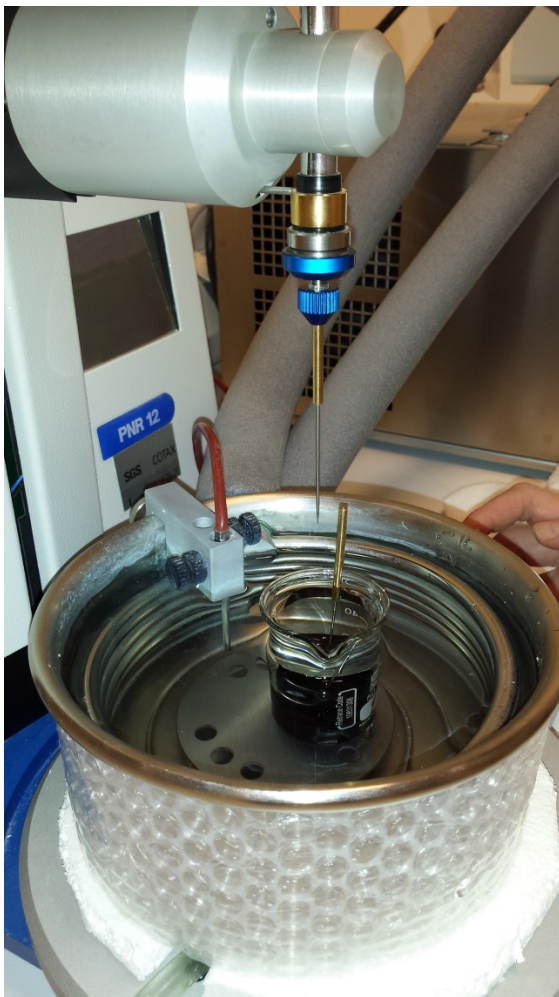
### 3.3.2. Bindemiddelanalyser

Det ble målt følgende verdier på bindemiddel:

- Penetrasjon
- Mykningspunkt
- Fraass bruddpunkt
- Elastisk tilbakegang, duktilometer

- Deformasjonsmotstand med MSCR test.

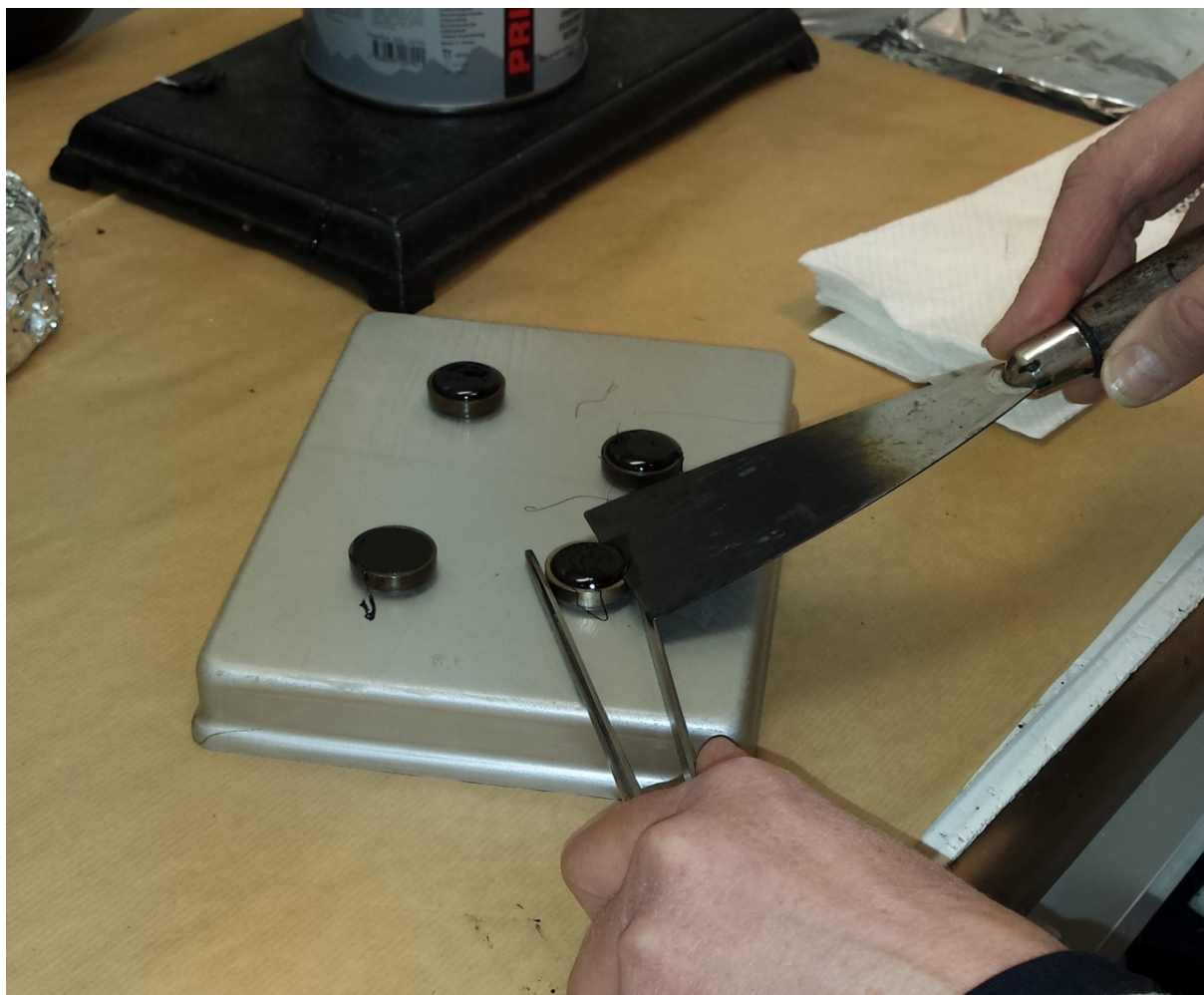
**Penetrasjonsverdien** ble bestemt i henhold til beskrivelsen i NS-EN 1426 (med unntak av standard prøvebeholder) på et helautomatisk penetrometer av typen PNR12 fra Petrotest på Sentrallaboratoriet i Trondheim. Det ble benyttet et 50 ml begerglass, smal type, som krever mindre prøvemateriale enn hva prøvekoppen som er beskrevet i NS-EN 1426 gjør. Denne endringen av prøvestørrelse er noe laboratoriet har erfaring med fra før, og som gir ubetydelig små avvik. Figurene 3.15 og 3.16 illustrerer penetrasjonstesten.



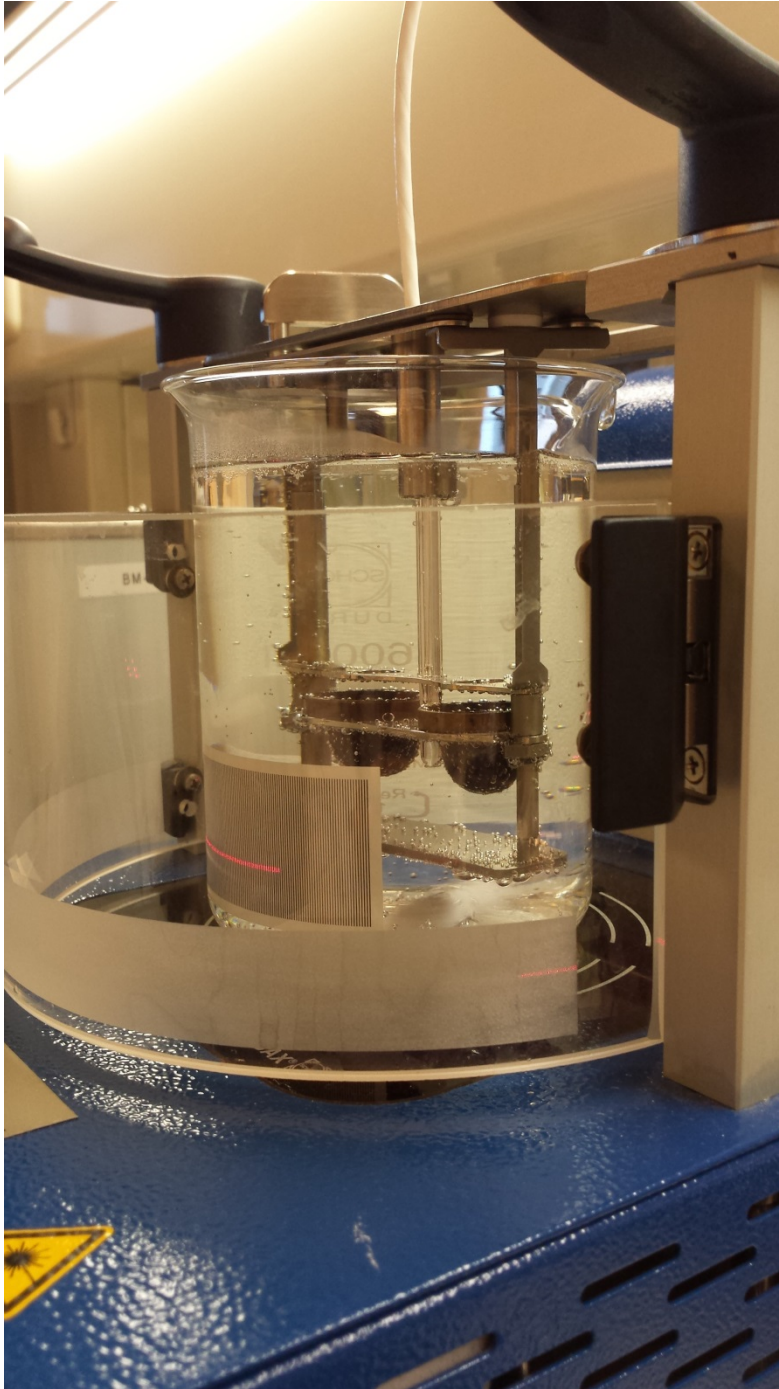
*Figurene 3.15 og 3.16 Penetrasjonstesten av bitumen gjenvunnet fra asfaltgranulat*

På grunn av at det var lite materiale tilgjengelig av de andre prøvene, som resultatene for prøven med ferskt bindemiddel skulle sammenlignes med, ble også det ferske bindemiddelet testet i ett begerglass, smal type 50 ml, som ikke er helt i henhold til standard testmetode. Dette materialet ble også testet i penetrasjonskopp i henhold til testmetoden. Resultatet avviker med 2 penetrasjonsenheter fra resultatet målt i begerglass.

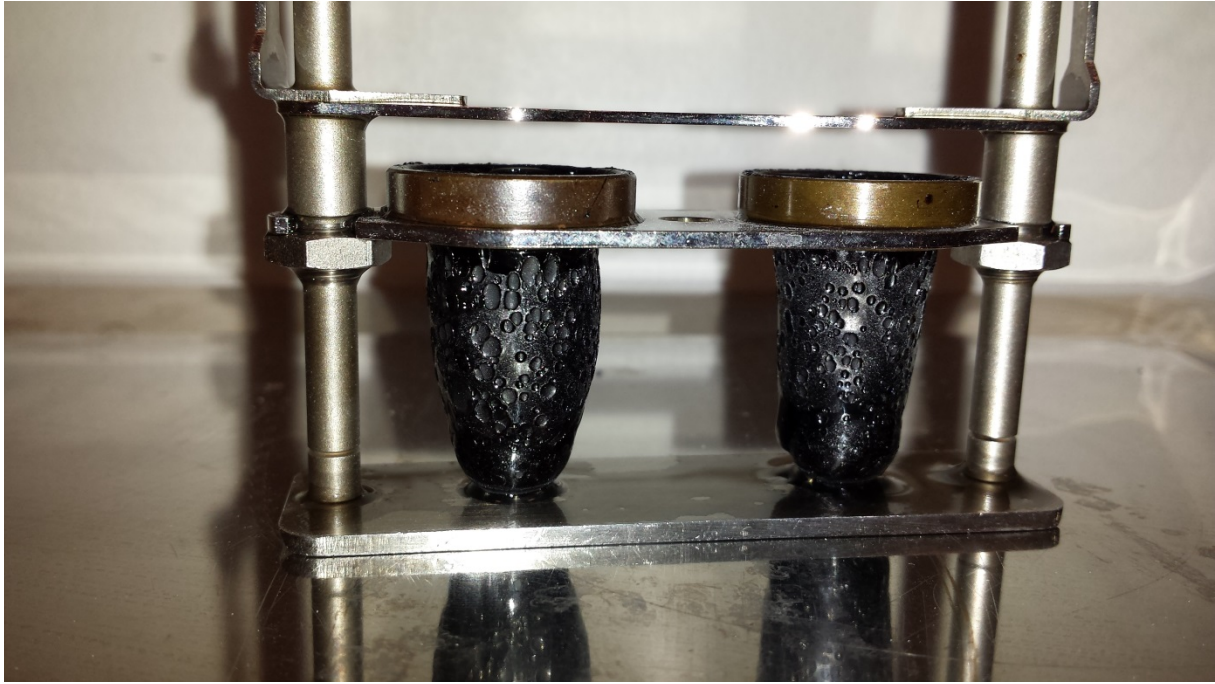
Målinger av **mykningspunkt** ble utført i henhold til prosedyren beskrevet i NS-EN 1427 på et automatisk mykningspunktsapparat av typen RKA 5 fra Petrotest på Sentrallaboratoriet i Trondheim. Bildene i figurene 3.17, 3.18 og 3.19 viser måling av mykningspunkt på bindemiddelet fra referansestrekning A.



*Figur 3.17 Preparering av bindemiddelprøvene for testing av mykningspunkt*



*Figur 3.18 Mykningspunktet er nesten nådd*



*Figur 3.19 Det polymermodifiserte bindemiddelet er ferdig testet*

Mykningspunktet ble ikke målt på bindemiddelet gjenvunnet fra asfaltgranulat, da mengde av bindemiddel etter ekstraksjonen var for lite til det. Verdien for mykningspunktet som ble målt i KFA sitt testprogram benyttes til videre vurderinger av resultater.

**Fraass bruddpunkt** ble målt i henhold til beskrivelsen i NS-EN 12593 av

Kompetansesenteret til Veidekke Industri AS i Trondheim. Prøvebegre med bindemiddel ble sendt til Veidekke fra Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim. Bildene i figurene 3.20 og 3.21 viser prøvebegre som ble sendt til Fraass-analyse ved Veidekke Industri AS.



Figurene 3.20 og 3.21 *Små prøvebegre med gjenvunnet bitumen ble sendt til Veidekke Industri AS for testing av Fraass bruddpunkt*

Fraass bruddpunkt ble også målt på Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim, men disse verdiene blir ikke tatt til vurdering, da utstyret for måling av Fraass ved laboratoriet ikke har vært pålitelig på grunn av tekniske feil.

**Elastisk tilbakegang** ble målt ved hjelp av prosedyre beskrevet i NS-EN 13398 ved 10°C av Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim.

Laboratoriet skriver følgende merknad i rapporten fra bindemiddelanalyse:

*«Elastisk tilbakegang ble testet på det materialet som først var benyttet til å teste penetrasjon. Altså etter ny oppvarming. Til elastisk tilbakegang ble det kun nok til en parallell for hvert bindemiddel. I følge NS-EN 13398 skal det måles på to paralleller. Erfaring, gjort ved vårt laboratorium, viser at parallellene er veldig jevne.»*

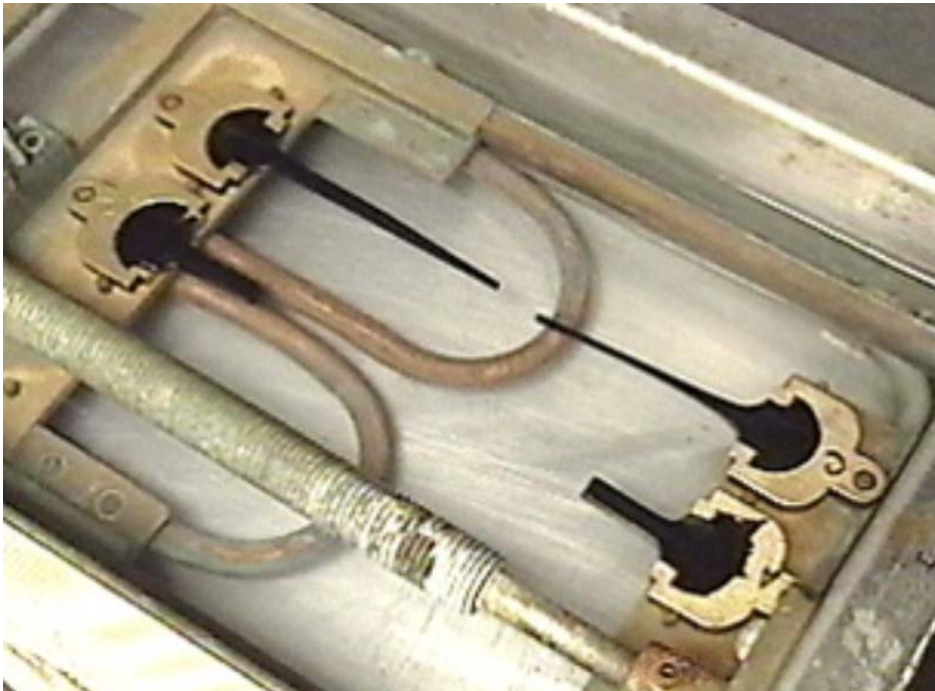
For prøven med ferskt bindemiddel ble elastisk tilbakegang testet med to paralleller, i henhold til standard.

I første runde med gjenvinning av bindemiddel fra massetype D ble det for lite materiale til å fylle en form for testing av elastisk tilbakegang. En ny delprøve av massen ble ekstrahert og gjenvunnet, og elastisk tilbakegang ble analysert i henhold til standard beskrivelse. Dette bindemiddelet har altså ikke vært gjennom en runde med testing av penetrasjon, og så smeltet opp igjen, slik prøvene fra massetyper A, B og C var.

I rapporten fra bindemiddelanalysen skriver laboratoriet følgende angående test av bitumen gjenvunnet fra granulat:

*«NS-EN 13398 er en metode for bestemmelse av elastisk tilbakegang for modifisert bitumen. Det ble likevel forsøkt målt på bindemiddel gjenvunnet fra asfaltgranulatet, som var opplyst å være basert på 70/100. Det ble forsøkt støpt en parallell til testing av elastisk tilbakegang, men det var litt for lite material til å fylle formen. Formen var anslagsvis bare 90 % full, og trådene røyk allerede etter 59 mm, som utgjør 30 % av full streklengde (200 mm). Tilbakegangen ble målt, men resultatet kan ikke benyttes til vurdering av materialet. (ET = 29 %)»*

Figur 3.22 viser illustrasjon av måling av elastisk tilbakegang. Den nederste prøven er av polymermodifisert bitumen, mens den øverste er av vanlig vegbitumen.



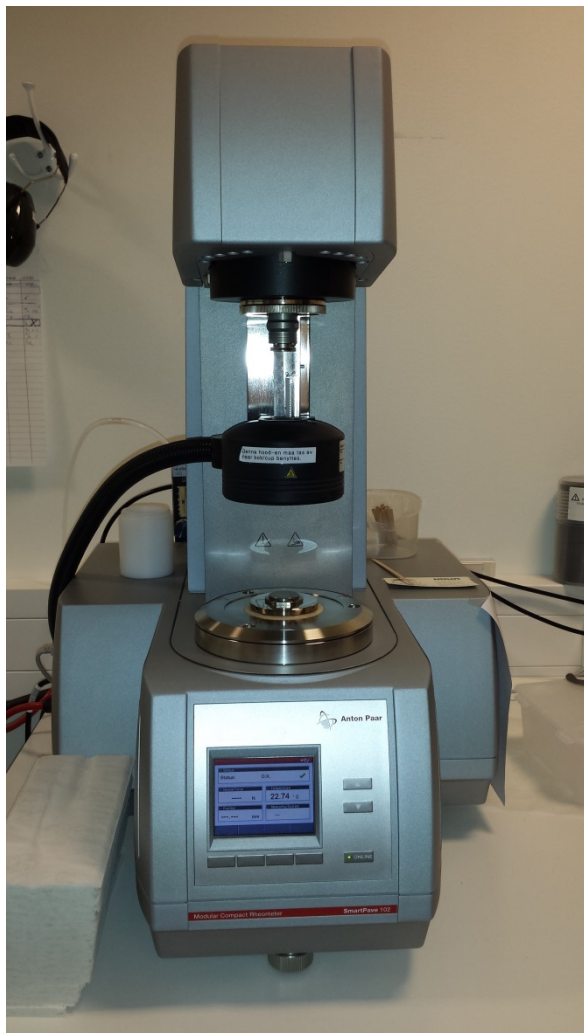
Figur 3.22 Måling av elastisk tilbakegang (<http://www.priasphalt.com>)

**MSCR testingen** ble gjennomført i et dynamisk skjærreometer av Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim, etter prosedyre beskrevet i den amerikanske metodebeskrivelsen «ASTM D7405:10a Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer». Avviket fra testbeskrivelsen var at prøven ble testet i tidsrommet 16-30 timer etter innstøping og ved 60°C, i henhold til utkastet til CEN-standardbeskrivelse av testen som var gjeldene på det

tidspunktet, og ikke innen to timer og ved 64°C, slik den amerikanske standarden angir. I tillegg ble det kjørt ti ekstra creep/recovery-sykluser ved 6,4 kPa spenning på alle prøvene.

Det ferske bindemiddelet ble testet uten at det gjennomgikk en korttidsaldningsprosess først. Resultatene fra denne testingen kan derfor ikke sammenlignes med resultatene fra testingen av det ekstraherte bindemiddelet fra de forskjellige massetypene. Disse resultatene kan dog brukes til å vurdere potensialet som foreligger i det polymermodifiserte bindemiddelet når det gjelder elastisitet og motstand mot permanente deformasjoner. Laboratorierapportene fra MSCR testingen av det ferske PMB fins i Vedlegg 6.

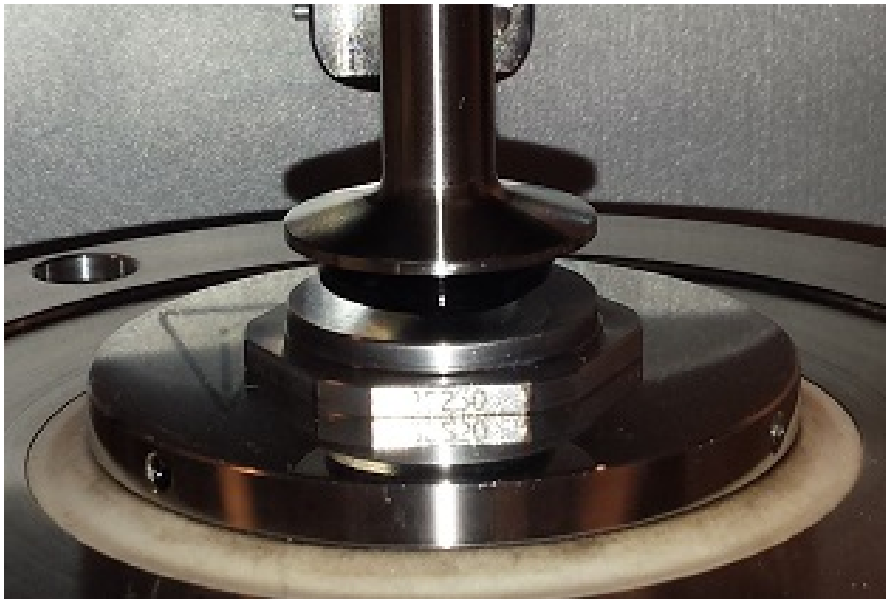
Bildene i figurene 3.23, 3.24, 3.25 og 3.26 viser MSCR testingen av bitumen fra referansestrekningen A.



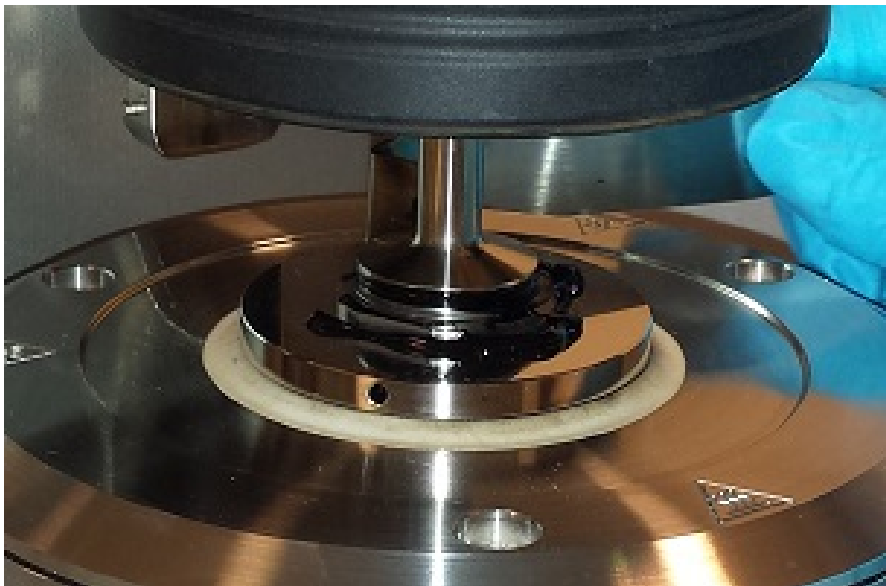
Figurene 3.23 og 3.24

Kalibrering av apparatur og innstøping av bindemiddellinser til MSCR testing





*Figur 3.25 Bitumenlinsen er klar til å klemmes sammen til én millimeters tykkelse*



*Figur 3.26 Den sammenklemte prøven trimmes på sidene*

### **3.3.3. Testing av borkjerner**

De uttatte borkjerner ble brukt til å måle følgende verdier:

- Motstand mot permanente deformasjoner
- Motstand mot piggdekkslitasje
- Partikkeltap

Borkjerner med diameter 200 mm ble testet for **motstand mot permanente deformasjoner** ved hjelp av Wheel Track test i henhold til beskrivelsen i NS-EN 12697-22. Analysen ble utført på Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim. Sluttresultat av en slik testing er spordeformasjon uttrykt ved prosentverdi av tykkelsen på den testede kjernen. Denne verdien kalles for PRDAIR. Bilde i figur 3.27 viser testing av borkjerne fra referansestrekning A i Wheel Track.



*Figur 3.27 Testing av borkjerne fra referansestrekning A i Wheel Track*

Borkjerner med diameter 100 mm merket med nummer 11 - 15 fra hvert forsøksfelt ble testet for **motstand mot piggdekkslitasje** med Prall-metoden etter prosedyre beskrevet i NS-EN 12697-16 på Sentrallaboratoriet i Trondheim. Resultat av testingen er en Prall-verdi, som

uttrykker volumtap i  $\text{cm}^3$  eller ml. Bilde i figur 3.28 viser to kjerner fra referansestrekning A, hvor én av dem har blitt testet i Prall.



*Figur 3.28*    *Reservekjerne A15 (venstre) og ferdig Prall-testet kjerne A14 (høyre)*

Ø100 mm kjerner merket med nummer 6 – 10 fra hvert felt ble brukt til å teste **partikkeltap** etter metoden beskrevet i NS-EN 12697-17:2004+A1 «Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 17: Particle loss of porous asphalt specimen» (også kalt Cantabro-metoden) på Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Oslo. Bildene i figurene 3.29 og 3.30 viser testing av partikkeltap i en LA-trommel.



*Figurene 3.29 og 3.30*

*Jan Fredrik Hertenberg tester prøvekjernene for partikkeltap på Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Oslo*

## 4. Resultater

I dette kapittelet blir resultatene for utleggingen av forsøksstrekningene, samt påfølgende feltarbeidene kort presentert. Deretter presenteres resultatene for de gjennomførte laboratorieundersøkelsene.

Resultatene for de utførte t-testene blir også presentert i dette kapittelet.

### 4.1. Arbeid i forkant av utlegging og feltarbeid

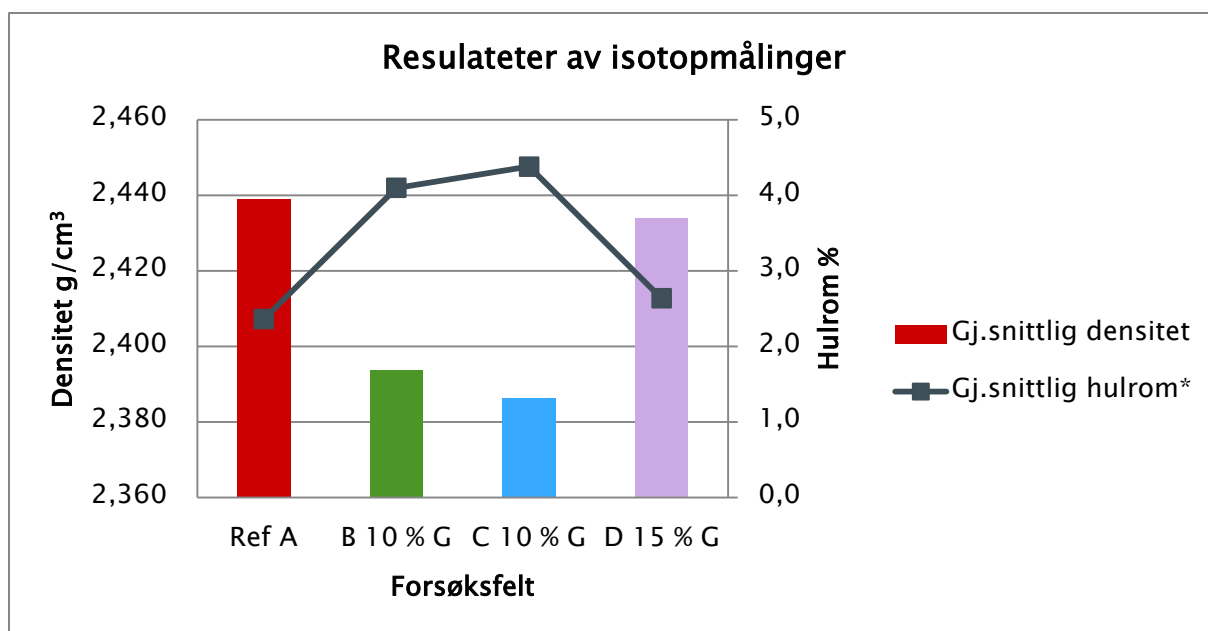
Arbeidsreseptene utarbeidet av asfaltleverandøren Franzefoss Pukk AS vises i Vedlegg 3. Det polymermodifiserte bindemiddelet som ble brukt er Nypol 82. Bindemiddelet er modifisert hovedsakelig ved hjelp av SBS polymerer. Polymerbitumen er produsert i henhold til NS-EN 14023 og Nynäs spesifikasjoner. Det tilsatte vedheftsmiddelet er amin (0,4 % av mengde bindemiddel). Produktspesifikasjonen for Nypol 82-bitumen fins i Vedlegg 7.

For resultatene fra Wheel Track test av prøver støpt i forbindelse med testing av resepten, se Vedlegg 8. Kurvene viser en tydelig forbedring av massens deformasjonsegenskaper ved bruk av polymermodifisert bindemiddel i forhold til vanlig vegbitumen (70/100). Testingen er utført av Lemminkäinen Norge AS. En har ingen opplysninger om blandetiden på de forskjellige massene som ble testet.

For resultater av hulroms- og densitetsmålinger med isotopmåleren i forbindelse med utvidet kontroll av komprimering i de 15 punktene vist i figur 3.6, se Vedlegg 9. Tabell 4.1 og figur 4.1 viser gjennomsnittlige verdier for hulrom og densitet for hvert forsøksfelt.

Tabell 4.1 Gjennomsnittlige verdier for hulrom og densitet for de forskjellige forsøksfeltene

Forsøksfelt	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Toleransekrav i N200, kap. 631.4
Hulrom, %	2,4	4,1	4,4	2,6	2 – 5
Densitet, g/cm <sup>3</sup>	2,439	2,394	2,386	2,434	



Figur 4.1 Gjennomsnittlige verdier for hulrom og densitet for de forskjellige forsøksfeltene

\*Basert på reseptdensitet

T-testen av måleverdiene viser følgende resultater:

Tabell 4.2 Statistisk testing av måleverdiene for densitet og hulrom for de forskjellige forsøksfeltene

T-verdiene for utvalgene	Densitet	Hulrom
Referanse A – B 10 % G	0,000004	0,000010
B 10 % G – C 10 % G	0,426595	0,442662
C 10 % G – D 15 % G	0,000015	0,000014

Resultatene av t-testen viser at måleverdier for hulrom og densitet av dekke lagt i forsøksfeltene B og C ikke kan betraktes som ulike, mens de øvrige verdiene er signifikant forskjellige.

Scanningen ved hjelp av varmekamera viser et kaldt parti (ned til 100 °C) på under 50 meter (87,6 m<sup>2</sup>) i starten av forsøksfelt B med 10 % tilsatt asfaltgranulat og normal blandetid.

Forsøksfeltene A, C og D har jevne og gode resultater for utleggingstemperaturer, også ved lassbytter. Se Vedlegg 5.

Ordinær byggherrekontroll avdekket ingen feil og mangler som ville utløst en etterkontroll fra byggherren sin side, og er derfor utelatt fra denne rapporten.

Resultater fra initialspormålinger vises i tabellen nedenfor:

Tabell 4.3 Registrering av initialspor på forsøksstrekningen (KFA, 2015)

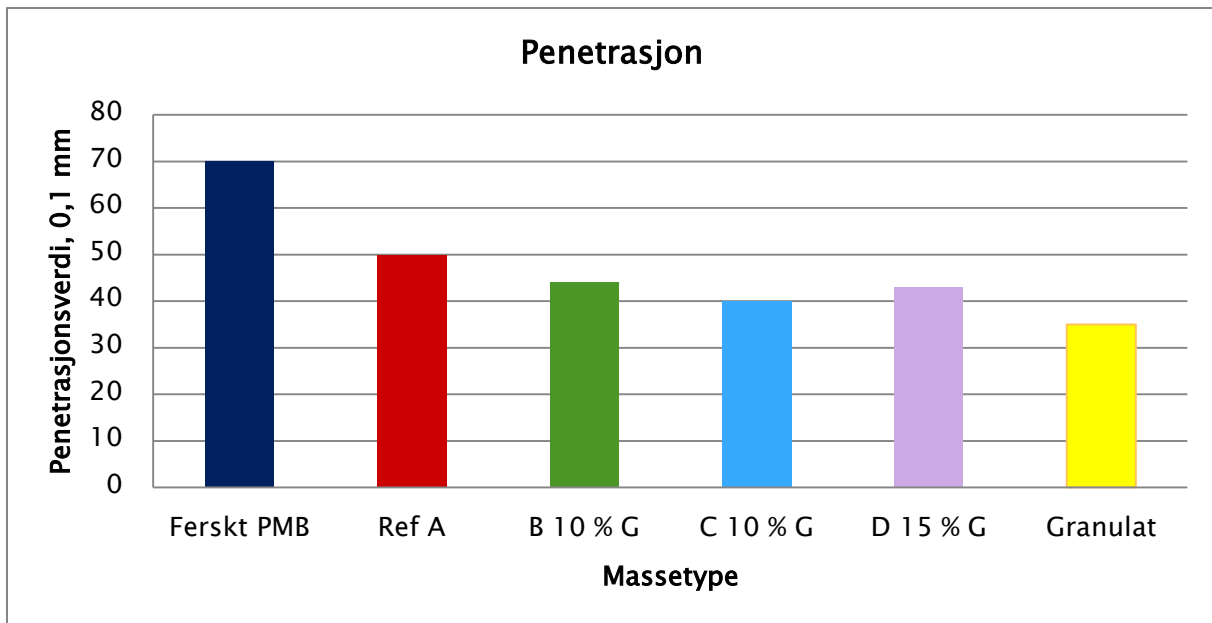
Måledato: 9.9.2014 Strekning:	Spor		IRI	
	Middel	90/10 %	Middel	90/10 %
<b>Referanse Felt 3 - E6 hp.10 km. 5.853 - hp.11 km. 0,373</b>	6,1	6,5	1,4	2,1
<b>10 % RAP Felt 3 - E6 hp. 11 km. 0.368 - 1.610</b>	6,6	7,5	1,4	2,1
<b>10 % RAP Utvidet blandetid Felt 3 - E6 hp. 11 km. 1.610 - 2.450</b>	5,4	6,3	1,4	2
<b>15 % RAP Felt 3 - E6 hp. 11 km. 2.446 - 3.545</b>	6,3	6,9	1,5	2,1

## 4.2. Bindemiddelanalyser

**Penetrasjonsverdiene** som ble målt på det ferske bitumenet, samt bitumenet som ble ekstrahert fra de forskjellige massetyperne er fremstilt i tabell 4.4 og i figur 4.2.

Tabell 4.4 Penetrasjonsverdier for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne

Massetype	Fersk PMB	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Granulat
<b>Penetrasjon, 0,1 mm</b>	70	50	44	40	43	35
<b>Krav i N200, kap. 622.1</b>	65-105					



Figur 4.2 Penetrasjonsverdier for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne

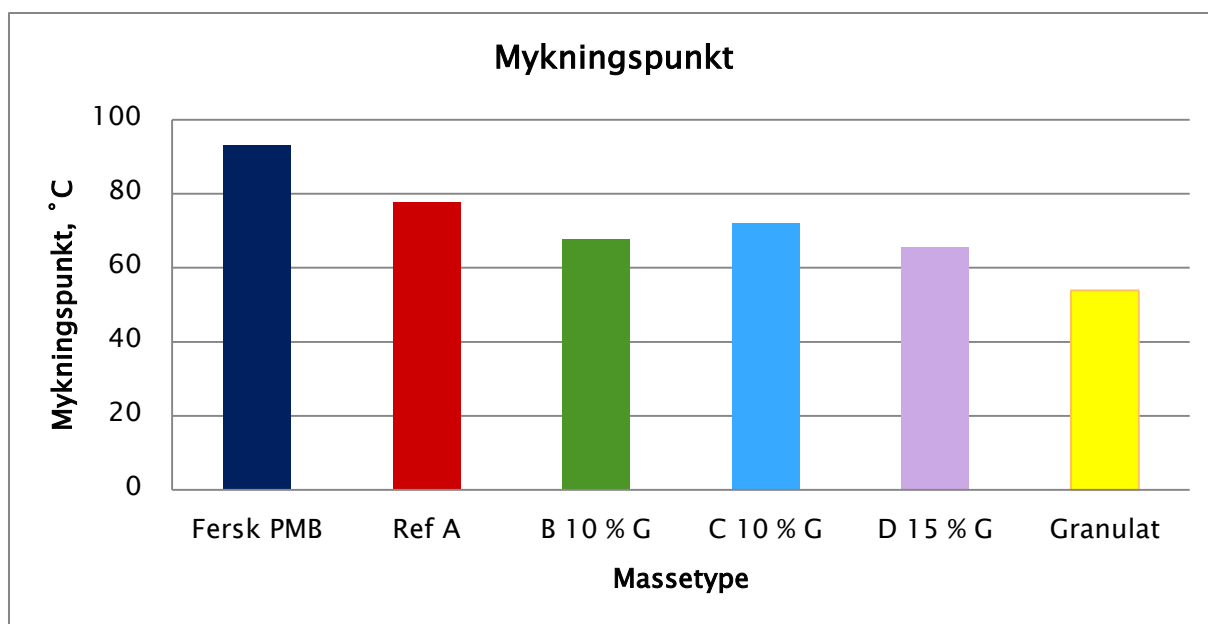
Statistisk testing av resultatverdiene ble ikke utført, da en ikke har tilgang til måleverdier for de forskjellige testparallellene.

Verdiene for **mykningspunktet** for bindemiddelet fra de forskjellige massene og for det ferske bindemiddelet er vist i tabell 4.5 og i figur 4.3.

Tabell 4.5 Mykningspunkt for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne

Massetype	Ferskt PMB	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Granulat
Mykningspunkt, °C	93,0	77,8	67,8	72,0	65,6	53,9
Minimumskrav i N200, kap. 622.1	80					





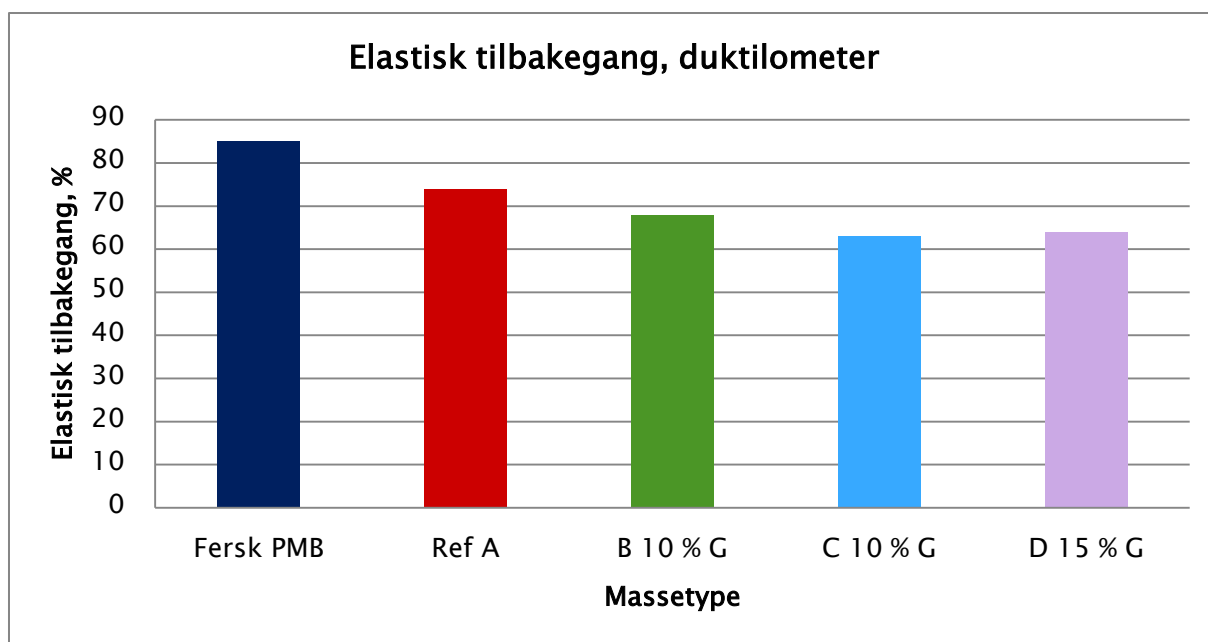
Figur 4.3 Mykningspunkt for bindemiddelet fra de forskjellige massetypene

Statistisk testing av resultatverdiene ble ikke utført, da en ikke har tilgang til måleverdier for de forskjellige testparallellene.

Testresultatene av **elastisk tilbakegang** er fremstilt i tabell 4.6 og i figur 4.4.

Tabell 4.6 Elastisk tilbakegang for bindemiddelet fra de forskjellige massetypene

Massetype	Ferskt PMB	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G
Elastisk tilbakegang, %	85	74	68	63	64
Minimumskrav i N200, kap. 622.1	50				



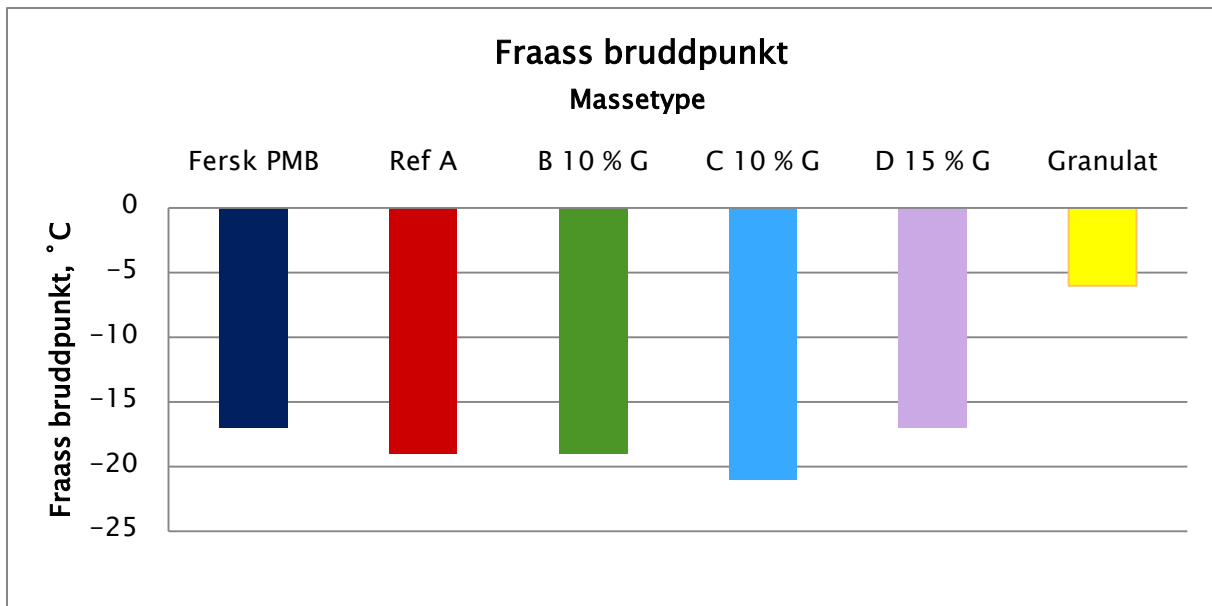
Figur 4.4 Elastisk tilbakegang for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne

Statistisk testing av resultatverdiene ble ikke utført, da en ikke har tilgang til måleverdier for de forskjellige testparallelene.

**Fraass bruddpunkt**-verdier for bitumenet målt av Veidekke Industri AS er presentert i tabell 4.7 og i figur 4.5.

Tabell 4.7 Fraass bruddpunkt for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne

Massetype	Ferskt PMB	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Granulat
<b>Fraass bruddpunkt, °C</b>	-17	-19	-19	-21	-17	-6
<b>Maksimumskrav i N200, kap. 622.1</b>	-12					



Figur 4.5 Fraass bruddpunkt for bindemiddelet fra de forskjellige massetypene

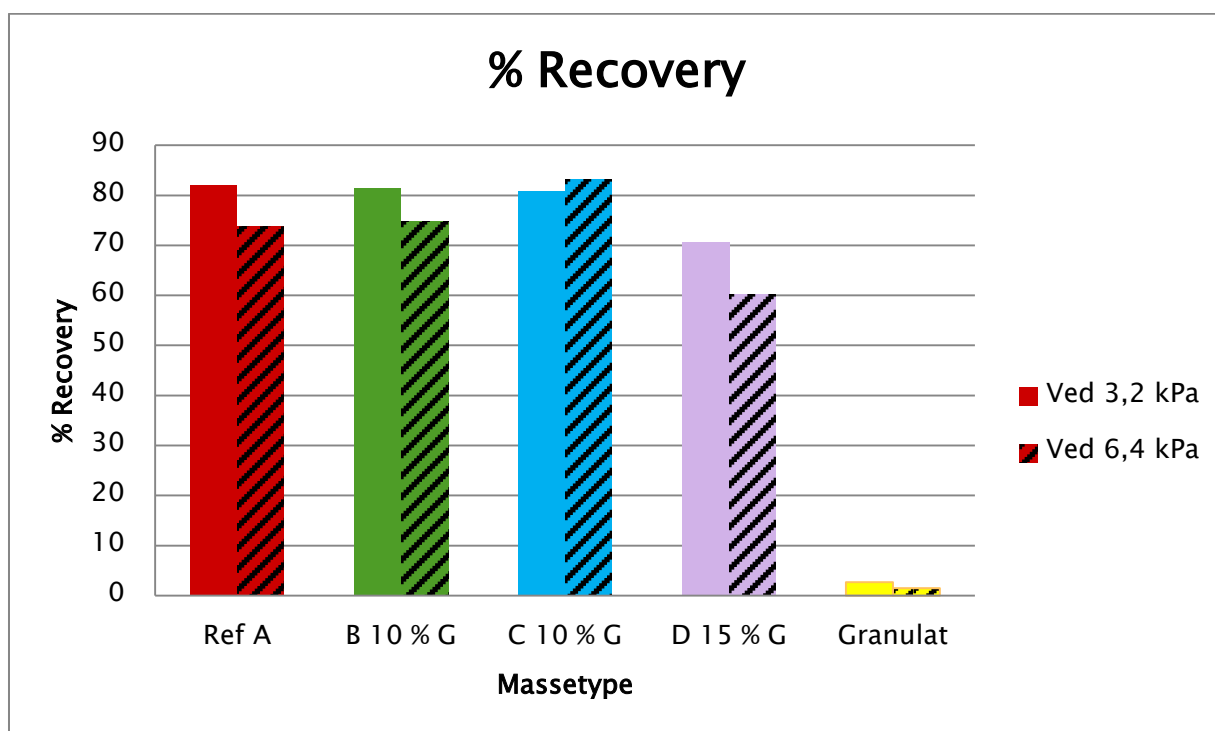
Statistisk testing av resultatverdiene ble ikke utført, da en ikke har tilgang til måleverdier for de forskjellige testparallellelene.

Analysemetodene for penetrasjon, mykningspunkt, Fraass bruddpunkt og elastisk tilbakegang er standardmetodene i Statens vegvesens Håndbok N200 Vegbygging. Samlerapport for resultatene av bindemiddeltestingen etter disse metodene fra Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim finnes i Vedlegg 10. Analyserapporten fra Veidekkes Kompetansesenteret er i Vedlegg 11.

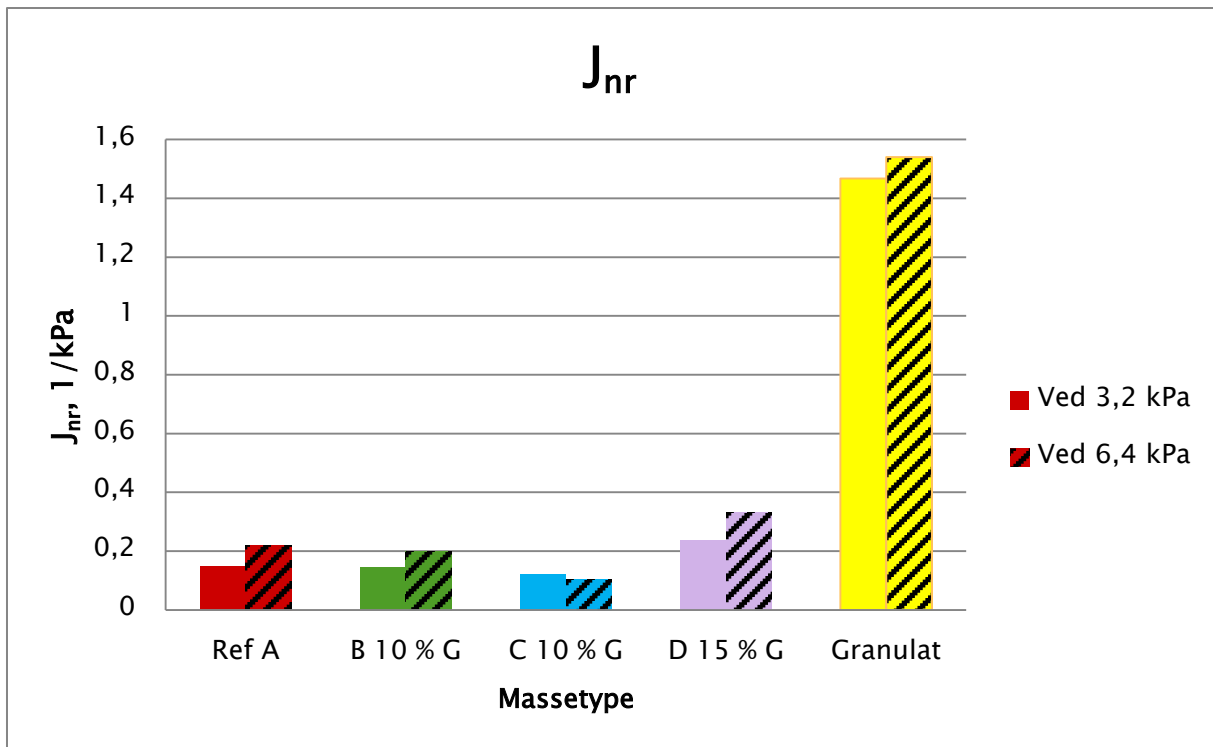
Resultatene fra **MSCR testingen av deformasjonsmotstand** er fremstilt i tabell 4.8 og i diagrammene nedenfor. Figur 4.6 viser bitumenets elastisitet ved 3,2 kPa og 6,4 kPa spenning, figur 4.7 –  $J_{nr}$ -verdien, eller «tapt elastisitet», ved 3,2 kPa og 6,4 kPa spenning og figur 4.8 illustrerer spenningssensitiviteten til bindemidlene fra de forskjellige massetypene, uttrykt ved  $J_{nr, diff}$ -verdiene.

Tabell 4.8 Resultatene fra MSCR testing av deformasjonsmotstand for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne

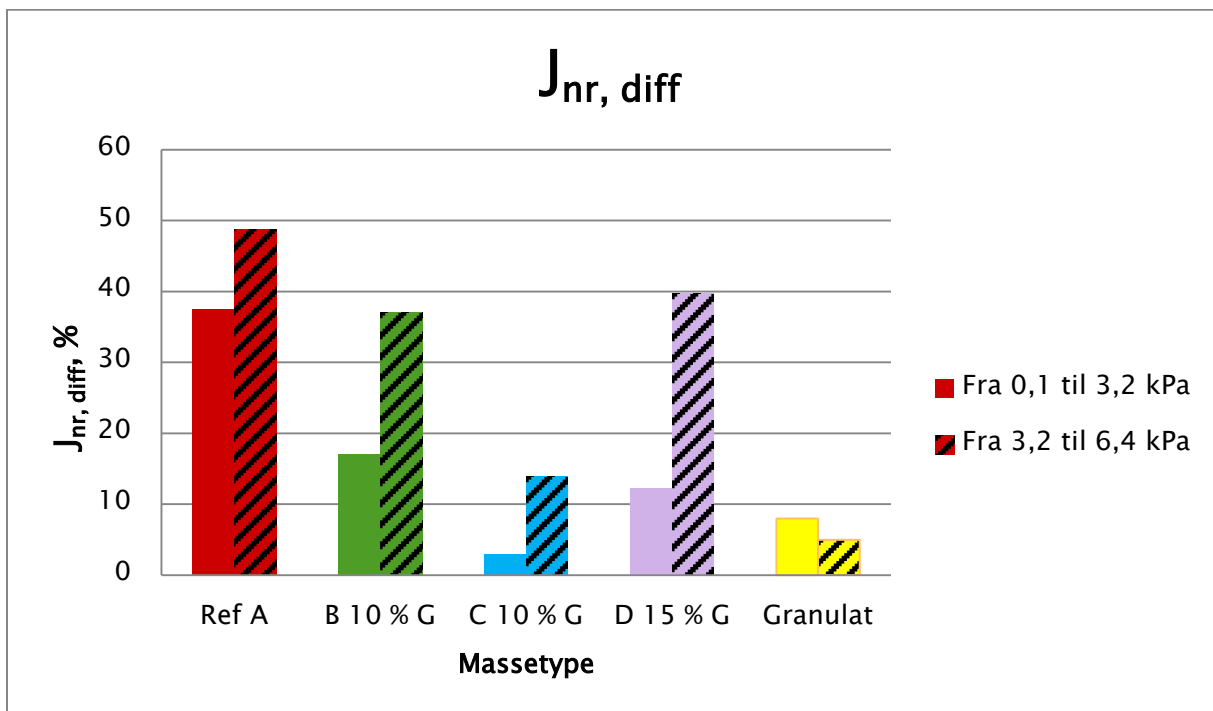
Massetype	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Granulat
% Recovery ved 3,2 kPa	82,1	81,5	80,8	70,6	2,7
J <sub>nr</sub> ved 3,2 kPa, 1/kPa	0,1474	0,1448	0,1191	0,2367	1,4678
J <sub>nr, diff</sub> , %	37,5	17,1	2,9	12,2	8,0
% Recovery ved 6,4 kPa	73,8	74,8	83,3	60,3	1,5
J <sub>nr</sub> ved 6,4 kPa, 1/kPa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



Figur 4.6 Elastisiteten til bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne



Figur 4.7 «Tapt elastisitet», eller plastisk deformasjon til bindemiddelet fra de forskjellige massetypene



Figur 4.8 Spenningssensitiviteten til bindemiddelet fra de forskjellige massetypene

T-testen av resultatverdiene fra MSCR-testingen viser følgende t-verdier:

Tabell 4.9 Statistisk testing av verdiene for elastisitet, plastisk deformasjon og spennings sensitivitet for bindemiddelet fra de forskjellige massetyper

T-verdiene for utvalgene	% Recovery		J <sub>nr</sub>		J <sub>nr, diff</sub>	
	Ved 3,2 kPa	Ved 6,4 kPa	Ved 3,2 kPa	Ved 6,4 kPa	Ved 3,2 kPa	Ved 6,4 kPa
Ref A – B 10 % G	0,749719	0,741092	0,871265	0,409367	0,035703	0,003278
B 10 % G – C 10 % G	0,583613	0,002038	0,015259	0,000177	0,002923	0,000041
C 10 % G – D 15 % G	0,001212	0,000051	0,000357	0,000086	0,004882	0,000219

Resultatene av t-testen viser at elastisiteten og den plastiske deformasjonen for bindemiddelet fra massetyper A og B ikke kan betraktes som ulike. Det kan heller ikke elastisiteten til bindemiddelet fra massetyper B og C ved spenningsnivå på 3,2 kPa. De øvrige verdiene for % Recovery og J<sub>nr</sub>, samt spennings sensitiviteten til bindemiddelet fra de forskjellige massene er imidlertid signifikant forskjellige.

Analyserapportene fra MSCR-testingen av bindemiddelet fins i Vedlegg 6.

### 4.3. Testing av borkjerner

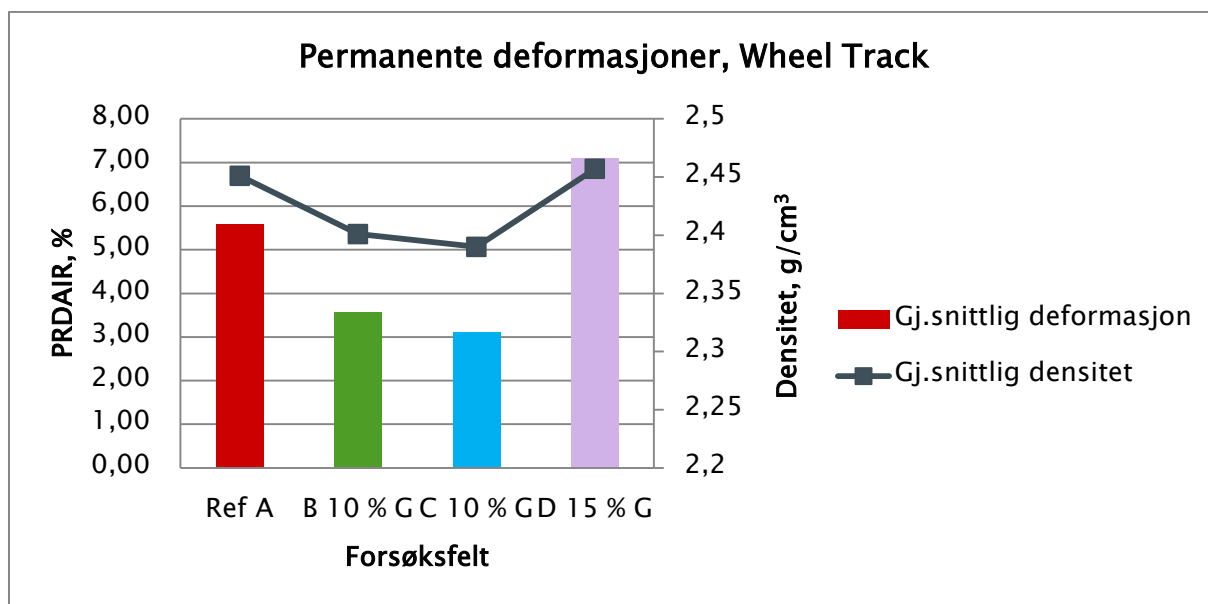
Tabell 4.10 og figur 4.9 viser resultater etter **deformasjonstesting** i Wheel Track av borkjernene fra de fire forsøksfeltene.

Tabell 4.10 Resultatene av Wheel Track test for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

Forsøksfelt	Referanse A	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
Densitet, g/cm <sup>3</sup>	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



Figur 4.9 Resultatene av Wheel Track test for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

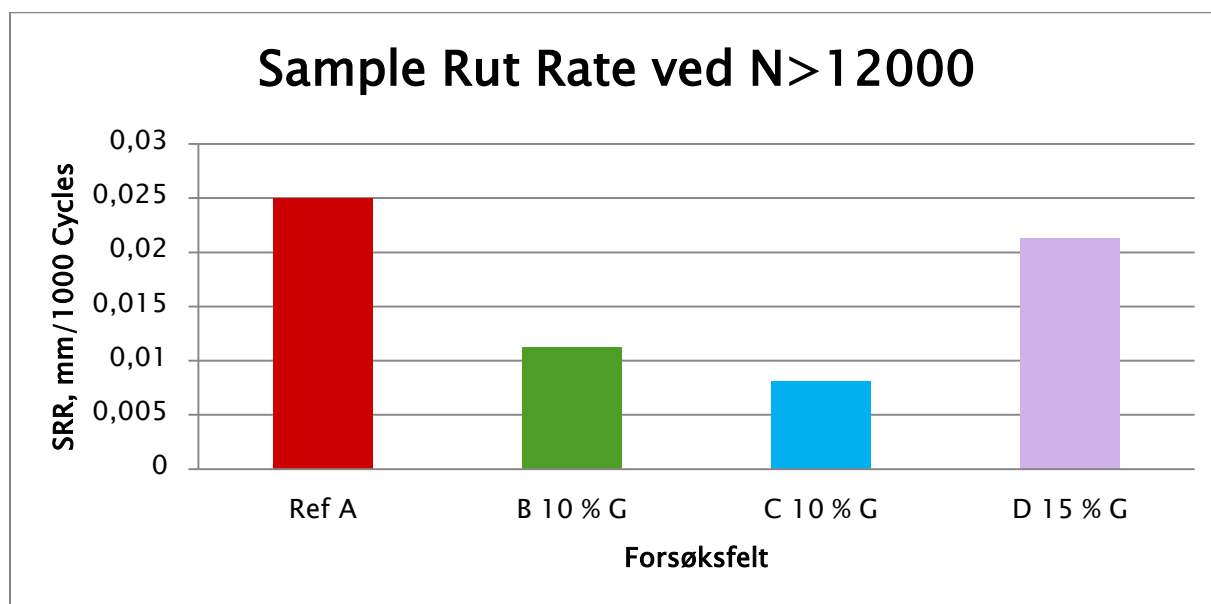
Grafene i Vedlegg 12 viser utviklingen av permanente deformasjoner for borprøver fra hvert forsøksfelt. Kurvene for borprøver A2, B2, D1 og D2 har et knekk i starten som ser unormal ut (se Vedlegg 12). Derfor er sluttverdiene fra testingen av kjernene A2 og B2 ikke tatt med i betraktning ved vurdering av resultatene fra Wheel Track testen. Begge kurvene for borprøver fra forsøksfelt C ser normale ut, og er derfor tatt med i vurderingen. Når det gjelder kurvene for borkjernene D1 og D2, ser begge upålitelige ut, men grunnet mangel av andre resultater fra testingen av permanente deformasjoner fra forsøksfeltet D er disse tatt med i fremstillingen her.

For å skille mellom de to mekanismene for spordannelse – etterkompaktering og plastisk deformasjon – har det blitt beregnet stigningstallet (Sample Rut Rate i mm/1000 Cycles) for sporutviklingskurvene til alle borprøvene i området fra 12000 til 20000 passeringer. Det er antatt at kurven er tilnærmet lineær i dette området, og illustrerer «den plastiske» biten av spordeformasjonen. Resultatene av disse beregningene er vist i tabell 4.11.

Tabell 4.11 Bidraget til plastisk deformasjon ved spordannelsen på borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

Borkjerne	Sample Rut Rate ved N>12000, mm/1000 Cycles	Gj.snittlig Sample Rut Rate ved N>12000, mm/1000 Cycles
A1	0,02250	0,02500
A2	0,02750	
B1	0,01125	0,01125
B2	0,01125	
C1	0,00625	0,00813
C2	0,01000	
D1	0,02750	0,02125
D2	0,01500	

De gjennomsnittlige beregningsresultatene av Sample Rut Rate ved 12000 til 20000 passeringer er fremstilt i diagrammet nedenfor:



Figur 4.10 Bidraget til plastisk deformasjon ved spordannelsen på borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

Statistisk testing av resultatverdiene ble ikke utført, da resultatverdiene var for få til å utføre en t-test.

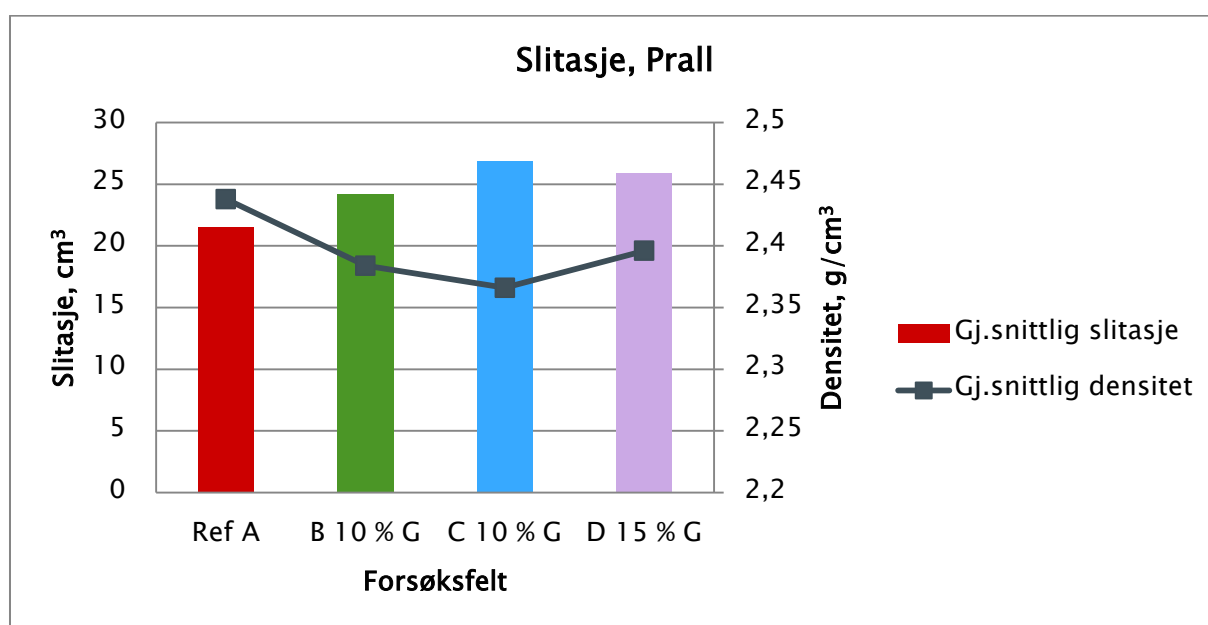
Analyserapporten fra laboratoriet for testing av motstand mot permanente deformasjoner i Wheel Track finnes i Vedlegg 13.



De gjennomsnittlige verdiene for **simulert piggdekkslitasje** målt ved hjelp av Prall på borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene er vist i tabell 4.12 og i diagram på figur 4.11.

Tabell 4.12 Resultatene for Prall-testen for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

Forsøksfelt	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G	Maks. krav i N200, kap. 603.223
Slitasje, cm <sup>3</sup>	21,52	24,18	26,87	25,91	22
Densitet, g/cm <sup>3</sup>	2,438	2,384	2,366	2,396	



Figur 4.11 Resultatene for Prall-testen for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

Statistisk testing av resultatene fra Prall-testen viser følgende t-verdier:

Tabell 4.13 Statistisk testing av resultatverdiene for Prall-testen for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

	T-verdiene for utvalgene
Referanse A – B 10 % G	0,003578
B 10 % G – C 10 % G	0,007023
C 10 % G – D 15 % G	0,223392

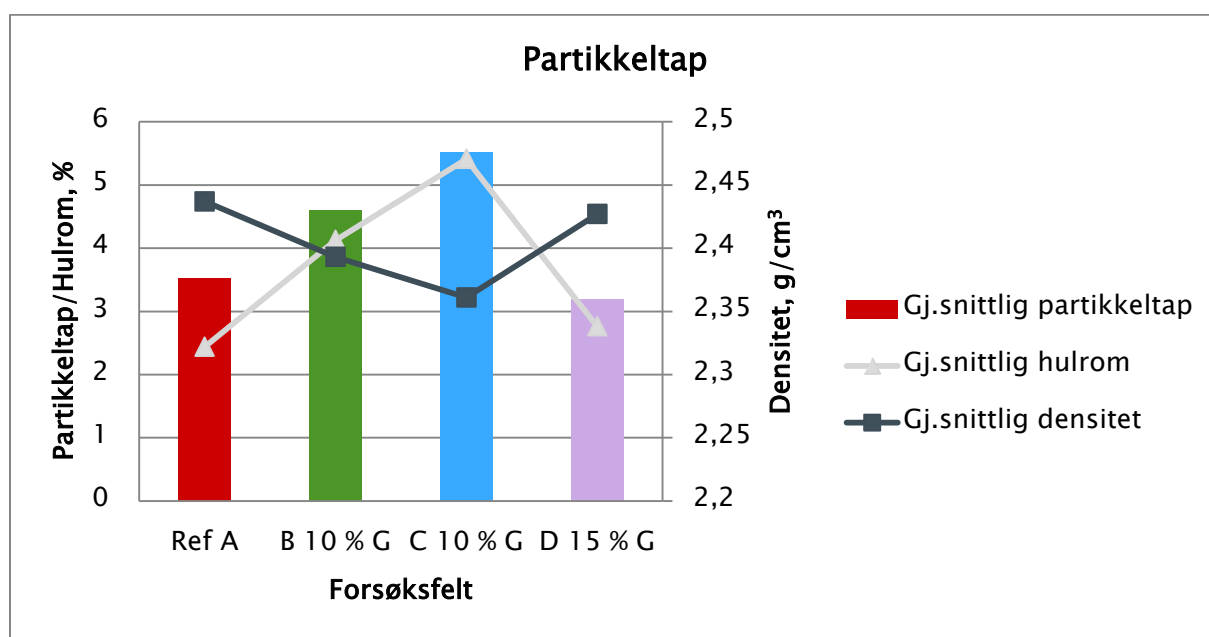
Resultatene av t-testen viser at Prall-verdiene for borprøver fra forsøksfeltene C og D ikke kan betraktes som signifikant forskjellige. De øvrige verdiene er signifikant ulike.

Laboratorierapportene for testing av borprøver fra hvert av forsøksfeltene finnes i Vedlegg 14.

Tabell 4.14 og diagram i figur 4.12 fremstiller gjennomsnittsverdiene for **partikkeltap** testet på borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene.

Tabell 4.14 Resultater for partikkeltap-testen for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

Forsøksfelt	Referanse A	B 10 % G	C 10 % G	D 15 % G
<b>Partikkeltap, %</b>	3,52	4,60	5,52	3,19
<b>Hulrom, %</b>	2,44	4,13	5,41	2,76
<b>Densitet, g/cm<sup>3</sup></b>	2,437	2,393	2,361	2,427



Figur 4.12 Resultater for partikkeltap-testen for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

T-testen av resultatverdiene fra partikkeltap-testen viser følgende resultater:

Tabell 4.15 Statistisk testing av resultatverdiene for partikkeltap-testen for borkjerner fra de forskjellige forsøksfeltene

	<b>T-verdiene for utvalgene</b>
<b>Referanse A – B 10 % G</b>	0,007320
<b>B 10 % G – C 10 % G</b>	0,100662
<b>C 10 % G – D 15 % G</b>	0,018517

Resultatene av t-testen viser at partikkeltap-verdiene for borprøver fra forsøksfeltene B og C ikke kan betraktes som signifikant forskjellige, men de øvrige verdiene er signifikant ulike.

Den fullstendige analyserapporten fra laboratoriet for testing av partikkeltap finnes i Vedlegg 15. Det stilles ingen krav til motstand mot partikkeltap i Statens vegvesens Håndbok N200 per i dag.



## 5. Diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene som er presentert i kapittel 4 analysert, sammenstilt og vurdert i forhold til usikkerheter og feilkilder. Mulige konklusjoner og praktiske konsekvenser av disse konklusjonene blir også drøftet i dette kapittelet.

### 5.1. Arbeid i forkant av utlegging og feltarbeid

Dokumentasjonen fra asfaltfabrikken og bindemiddelprodusenten viser at det leverte produktet er i henhold til krav og spesifikasjoner som byggherren etterspør innen den driftskontrakten som dette prosjektet er en del av.

Ut fra isotopmålingene utført ved utvidet komprimeringskontroll ved utleggingen av de forskjellige forsøksfeltene kan en tydelig se at densiteten er minst og hulrommet er størst i massen lagt på forsøksstrekningen C, altså Ab 16 PMB med 10 % tilsatt asfaltgranulat og utvidet blandetid på 38 sekunder. Dette kan muligens forklares med at bitumenet i massen som har blitt blandet i lenger tid har blitt godt homogenisert og smeltet ordentlig sammen med det opprinnelige polymermodifiserte bindemiddelet i referansemassen. Samtidig er det logisk å tenke at en lenge blandetid betyr lengre eksponering for høye temperaturer og oksidering. Dette påvirker bindemiddelets egenskaper og gjør det stivere og sprøere. En asfaltmasse med et stivere bindemiddel vil naturlig nok ikke la seg bearbeide og komprimere like godt som en masse med et mykere bindemiddel.

Hvis denne teorien er rett ville det vært logisk å ha sett en ytterligere nedgang i densitetsverdier og økning i hulrom for forsøksfelt D, der hele 15 % granulat er tilsatt til den opprinnelige massen med PMB, og der blandingstiden er like lang som for forsøksfelt C. Det er derimot ikke tilfelle. Massen i forsøksfeltet D er mye tettere komprimert enn massene fra de forsøksfeltene med 10 % tilsetning av granulat, og er nesten på nivå med referansemassen når det gjelder densitet og hulromsprosenten (0,2 % forskjell).

Dessuten viser t-testen at hulrom og densitet i asfaltdekkene på forsøksfeltene B og C er relativt like. Det viser at blandetiden ikke har så stor betydning allikevel.

Det er vanskelig å si hvorfor massetyperne B og C har høyere hulrom enn massetyperne A og D. IR-scanningen utført ved utlegging viser ingen avvik i utleggingstemperaturen, bortsett fra

et lite kaldt parti (under 50 meter) i starten av forsøksfelt B. Denne temperaturoppgangen ser ikke ut til å ha påvirket kvaliteten på asfaltmassen merkbart (se Vedlegg 9).

Resultater av initialspormålinger viser erfaringsmessig relativt høye verdier, ifølge byggherre på den aktuelle driftskontrakten. De er dog innen normalkrav, og byggherren har ingen forventning om dårligere levetid på denne strekningen enn på de andre strekningene som inngår i driftskontrakten. De relativt høye initialsporverdiene kan knyttes til kort avkjølingstid for nylagt dekke før trafikken ble satt på strekningen (utleggingen var ferdig under en time før vegsperringene ble fjernet).

Initialspor, som er en form for etterkompaktering, er vanligvis forbundet med hulrom i den utlagte asfaltmassen. I dette tilfelle ser det ut til at forsøksfeltet C viser best resultater med minst initialspor, selv om hulrommet på dette feltet er størst. En kan igjen tenke på at dette kan henge sammen med bindemiddelstivheten i massetype C. Spørsmålet blir da hvorfor en ikke ser den samme tendensen fortsette videre til forsøksfelt D.

## 5.2. Bindemiddelanalyser

Som nevnt i kapittel 2, er verken metodene for testing av penetrasjon og mykningspunkt, eller Fraass bruddpunkt godt egnet for nøyaktige vurderinger av egenskapene til bitumen.

Testmetodene er trolig ytterligere unøyaktige når det gjelder testing av polymermodifiserte bindemidler, og kan i beste fall gi en indikasjon på hvordan forskjellige bindemidler ligger an i forhold til kravene som er satt av vegmyndigheter og, ikke minst, i forhold til hverandre.

Det ferske polymermodifiserte bindemiddelet viser både høyest **penetrasjonsverdi**, **mykningspunkt** og prosent **elastisk tilbakegang**. Dette kan forklares med at det ferske bindemiddelet ikke har vært gjennom en produksjonsprosess, slik bindemiddelet i de andre massene, og ikke har blitt korttidsaldret.

Blant bindemidlene gjenvunnet fra de forskjellige massetyperne er det bitumenet fra referansemassen som har høyest **penetrasjonsverdi**, og bitumenet fra asfaltgranulat som har lavest verdi. Penetrasjonsverdi på 35 for bitumen gjenvunnet fra asfaltgranulat er både forventet og logisk.

Av bindemidlene gjenvunnet fra massetyper med granulattilsetning er det bitumenet fra massetype C som viser lavest penetrasjonsverdi. Det kan muligens tyde på at dette bitumenet er stivere enn de andre.

**Mykningspunktet** til bindemiddelet fra referansemassen A er høyest, og fra granulatet – lavest. Av massetyper B, C og D er det massetype C som ser ut til å ha bitumenet med høyest mykningspunkt, som igjen kan tale for dets relative stivhet i forhold til de andre «blandingsbitumenener» i studien, men det kan også være en tilfeldighet, da testen er en dårlig indikator for PMB.

Verdiene for **Fraass bruddpunkt** presentert i kapittel 4 har tilsynelatende ingen korrelasjon verken med granulattilsetning eller med gjennomgått produksjonsprosess. Det resultatet som har en tydelig korrelasjon til aldringsprosessen er Fraass-verdien for bitumenet gjenvunnet fra asfaltgranulat. Dette bindemiddelet var det som tålte lave temperaturer dårligst og sprakk opp allerede ved  $-6^{\circ}\text{C}$ .

I følge blant andre Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim er det mange usikkerheter knyttet til testmetoden, som i seg selv er lite sammenlignbar med de virkelige lavtemperaturpåkjenningene som skjer ute på vegen. Dette i tillegg til dens uegnethet for testing av polymermodifiserte bindemidler.

Resultatverdier for prosent **elastisk tilbakegang** viser en klar nedadgående trend når det gjelder tilsetningsprosenten av granulat og blandingstid. Selv om verdien for bindemiddelet fra massetype D er én prosent høyere enn for bindemiddelet fra massetype C, kan ikke dette tolkes direkte, da bindemiddelet fra massetype D ikke gjennomgikk samme syklusen av oppvarminger og avkjølinger som bindemiddelet fra de andre massetyperne i forsøket. Dessuten har ikke resultatverdiene fra denne analysen blitt statistisk testet. Det er dermed vanskelig å si hvorvidt gjennomsnittsverdiene er signifikant forskjellige.

Samtlige analyser av fersk PMB viser resultater som tilfredsstillende krav satt i Statens vegvesens Håndbok N200.

Testing av bindemiddelets **deformasjonsstilstand med MSCR-metoden** viser at PMB fra referansemassen A, B og C er tilnærmet like ved 3,2 kPa spenning. Tendensen er svakt nedadgående for bindemiddelet gjenvunnet fra massetyperne B og C, før elastisiteten går kraftig ned for bitumenet fra massetype D med størst prosentandel tilsatt granulat. Dette gjenspeiler til en viss grad resultatene fra testingen av elastisk tilbakegang med duktilometer,

bortsett fra resultatet for bitumenet gjenvunnet fra masstype D. Samtidig viser de registrerte  $J_{nr}$ -verdiene et annet mønster, der bindemiddelet fra masstype C kommer ut med minst «tapt elastisitet» eller plastisk deformasjon, mens PMB fra referansemassen og fra masstype B er fortsatt tilnærmet like.

For å forstå grunnen til dette bør en se nærmere på de to testmetodene for bestemmelse av prøvens elastisitet. Testingen av elastisk tilbakegang med duktilometer og MSCR testingen skjer ved vidt forskjellige forhold både når det gjelder temperatur og type belastning bindemiddelprøven blir utsatt for. Ved testing av elastisk tilbakegang blir prøvene støpt inn i en form og strekt i et vannbad som holder vanntemperatur på 10°C. Temperaturen på 10°C ligger relativt langt nede i det ikke-Newtonske området for bituminøse bindemidler. Prøvene blir strekt i en fast hastighet, til en fast lengde før de klippes på midten. Siden alle bindemidlene er forskjellige med tanke på de elastiske egenskapene, altså at motstanden mot deformasjonen er forskjellig, vil de bli utsatt for forskjellig spenning ved en slik prosedyre. Testingen etter MSCR metoden er prinsipielt annerledes, da prøvene blir utsatt for lik spenning, og det er prøvenes egne elastiske egenskaper og, ikke minst, strukturen til polymernettverket i bitumenet som avgjør hvor langt vil prøven bli strekt ved forsøket. Dessuten ligger testtemperaturen på 60°C, altså i øvre sjiktet av det ikke-Newtonske området.

De tilsynelatende ulogiske  $J_{nr}$ -verdiene kan da forklares med at bitumenet blir sannsynligvis stivere ved tilsetning av granulater og forlengelse av blandetid. Ergo blir bitumenet fra referansemassen A og masstype B strekt lengre i MSCR forsøket enn de andre bindemidlene, på grunn av at de er mykere enn de andre. Dette bekreftes av analyserapporten i Vedlegg 6, der man ser at hver strekkurve for alle prøvene med bindemiddelet fra referansemassen A og masstype B er lenger enn for de andre bindemiddelprøvene. Selv om bindemiddelet fra referansemassen og masstype B er mest elastisk, ser det ut som om denne forskjellen i elastisiteten ikke er nok til å ta i igjen for lengre utstrekning. Det er trolig derfor  $J_{nr}$ -verdien til bindemiddelet fra masstype A og masstype B er større enn  $J_{nr}$ -verdiene til bindemidlene fra masstype C. Ved doblet spenning ser elastisiteten til bindemiddelet fra masstype C ut til å øke ytterligere, samtidig som den «tapte elastisiteten» går ytterligere ned.

Det skjer imidlertid noe ved høyere tilsetningsprosent av asfaltgranulat, det vil si høyere prosent innblanding av stivt og sprøtt bindemiddel. Bindemiddelet fra masstype D har muligens fått endret strukturen i polymernettverket, da både % Recovery-verdien er lavest og



$J_{nr}$ -verdien er høyest for denne type bindemiddel. Dette bindemiddelet har altså klart dårligste elastiske egenskaper blant de fire testbindemidlene i studien.

Alle fire typer bindemidler viser allikevel så høye verdier av % Recovery at de faller inn under kategorien for tilstrekkelig polymermodifisering. Se også plotting av % Recovery-verdien ved 3,2 kPa spenning som funksjon av  $J_{nr}$  i grafen som viser minimumsverdier av prøvens gjenoppretting for tilstrekkelig polymermodifisering i Vedlegg 6.

Bitumenet gjenvunnet fra asfaltgranulat har klart dårligst resultat når det gjelder elastiske egenskaper. Verdien for prosent gjenoppretting ved 3,2 kPa på kun 2,66 % viser også helt tydelig at bitumenet er umodifisert.

De beregnede  $J_{nr, diff}$ -verdiene for de forskjellige bindemidlene tyder på at bindemiddelet fra massetype C er minst spenningssensitivt. Det kan også virke ut fra disse resultatene at spenningssensitiviteten synker med økende stivhet, men bindemiddelet fra massetype D bryter dette mønsteret. Det som også kan tale imot denne teorien er at bindemiddelet gjenvunnet fra granulatet, som utvilsomt er det stiveste i forsøket, virker mer spenningssensitivt enn bindemiddelet fra massetype C. Det kan muligens forklares med annerledes struktur til et umodifisert bindemiddel. Ved fordoblet spenning blir det umodifiserte bindemiddelet fra granulatet det mest spenningssensitive i testen, mens den generelle tendensen forsterkes ytterligere.

Alle bindemidlene som ble testet ligger godt under den amerikanske grensen for akseptabel spenningssensitivitet på 75 %.

### 5.3. Testing av borkjerner

Resultatene av Wheel Track testen viser at borkjerner fra forsøksfelt C har fått minst **spordeforrasjon**. Borkjernene fra forsøksfelt C har dessuten testens laveste Sample Rut Rate ved  $N > 12000$ . Borprøver fra dette forsøksfeltet skiller seg i tillegg ut ved at begge prøveparallellene fikk normalt deformasjonsforløp ved testingen.

Det unormale deformasjonsforløpet som en observerer på borkjernene A2, B2, D1 og D2 kan ha flere årsaker. Det kan muligens være et avvik forårsaket av feil med utstyret. Det er imidlertid vanskelig å utpeke en konkret teknisk årsak til en slik plutselig økning i spordybde som en observerer på kurvene i Vedlegg 12. Årsaken til denne økningen kan også ligge i

prøvene. Det kan eksempelvis forekomme lokal inhomogenitet eller blødning akkurat der borkjernene ble tatt ut. Det kan også diskuteres hvor representative borprøvene er for hver av forsøksstrekningene.

En kan uansett ikke stole på testresultatene fra forsøksfeltet D, da kurvene for begge testparallelene er upålitelige.

Det en derimot kan se er en tydelig korrelasjon mellom resultatene fra bindemiddeltestingen ved hjelp av MSCR-metode og Wheel Track-testingen av borkjernene fra forsøksstrekning C. Selv om hulrommet i denne massen er høyest av alle massene som er med i forsøket, får borprøvene av denne massetypen minst permanente deformasjoner, deriblant minst bidrag fra plastisk deformasjon, som er direkte relatert til bindemiddelegenskapene. Som MSCR-resultatene viser, har bitumenet fra masstype C høyest motstand mot plastiske deformasjoner, noe som mest sannsynlig gir utslag i Wheel Track.

Prall-resultatene viser ingen signifikant forskjell mellom masstype C og D når det gjelder **motstand mot piggdekkslitasje**. Det kan da se ut som blandetiden spiller en større rolle for slitasjeegenskaper enn tilsetningsgraden av asfaltgranulat. I følge Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Trondheim, er ikke Prall-testen helt optimal for testing av asfaltmasser med PMB. Dette på grunn av den gummiaktige konsistensen til det polymermodifiserte bindemiddelet ved relativt lave testtemperaturer. En kan derfor ikke betrakte resultatene fra Prall-testen som helt pålitelige. En kan imidlertid se en nedadgående tendens når det gjelder motstand mot permanente deformasjoner som utvikler seg i takt med økning av blandingstid. Det kan muligens forklares med at bitumenet blir stivere desto lengre det blir utsatt for høye temperaturer.

Testingen av **partikkeltap** viser en direkte sammenheng med densitet og hulrom, som er logisk. Blandetiden ser ikke ut til å ha noe betydning for motstand mot denne mekanismen. Begge massetypene med 10 % tilsatt asfaltgranulat (B og C) viser dårligst resultat, da hulrommet i disse er høyest.

## 6. Konklusjoner og anbefalinger

På bakgrunn av litteraturstudien, samt målinger og tester som er utført på de uttatte prøvene kan en konkludere med at de tradisjonelle bindemiddeltestene som penetrasjon, mykningspunkt og Fraass bruddpunkt ikke er egnet til indikasjon av funksjonsegenskaper til polymermodifiserte bindemidler, enten med eller uten tilsetninger.

Den nye testmetoden MSCR viser derimot resultater som ser ut til å stemme godt overens med resultater fra testingen av motstand mot permanente deformasjoner på borkjerner i Wheel Track. Dessverre er flere av resultatene av Wheel Track testen utført i studien upålitelige, men det en har av verdier viser en god korrelasjon til MSCR-resultatene. Begge disse testene har vist seg å være gode indikatorer for granulattilsetning.

Testingen av motstand mot piggdekkslitasje, samt partikkeltap, virker mindre følsomme for graden av tilsatt gjenbruksmasse.

Funksjonsegenskapene til massene varierer noe både med tilsetningsgraden av asfaltgranulat, og med blandetiden, men ikke i den graden at den forventede dekkelevetiden blir påvirket i betydelig grad. På bakgrunn av de gjennomførte forsøkene kan en påstå at Ab 16 PMB med 10 % tilsatt asfaltgranulat med umodifisert bindemiddel og utvidet blandetid (38 sekunder), altså massetype C, kommer best ut (også sammenlignet med referansemassen Ab 16 PMB uten tilsetning av granulat) når det gjelder motstand mot permanente deformasjoner og elastisiteten av bindemiddelet. MSCR-testen viser dessuten at bindemiddelet fortsatt kan betraktes som tilstrekkelig polymermodifisert både ved 10 og 15 % tilsetning av asfaltgranulat med umodifisert bitumen. Dette kan forklares med relativt høy modifieringsgrad av det opprinnelige PMB.



## 7. Videre arbeid

I dette kapittelet samles forslag på hvordan denne studien kan utvides og fordypes, samt generelle anbefalinger for videre arbeid innen varm gjenbruk av returasfalt.

### 7.1. Forslag til fordypning i studien

Omfanget av studien er ikke stort nok til å avdekke alle aspekter med virkningen av tilsetning av asfaltgranulat til høyverdige asfaltmasser som benyttes i slitelag på høytrafikkert veg.

Videre følge noen tanker og anbefalinger for videre arbeid på dette området.

Det anbefales å se på utviklingen, samt å foreta jevnlig spormålinger på forsøksstrekningen i løpet av de neste årene. Laboratorieanalyser er ikke i stand til å etterligne forholdene ute i felt så nøyaktig at en kan forutse dekkelevetiden 100 %.

Testing av borkjerner i Wheel Track har ikke gitt så pålitelige resultater som en hadde håpet på. Det kan være greit å utføre flere Wheel Track tester på flere prøveparalleller for å ha et større sammenligningsgrunnlag mellom de forskjellige massetyperne.

Det ble observert en god korrelasjon mellom resultatene fra Wheel Track test og MSCR test. En nærmere studie av resultater fra MSCR-testen kan gi nyttig informasjon om bindemiddelets elastiske egenskaper. Det er spesielt interessant å se på hvordan deformasjonen utvikler seg fra syklus til syklus for bindemiddelet fra de forskjellige massetyperne. Det kan muligens være nøkkelen til å forstå hvilke mekanismer som gjør bitumenet fra masstype C mer motstandsdyktig mot plastiske deformasjoner enn bitumenet fra de andre massetyperne.

Ved statistisk testing av resultatverdier ble fordelingene for de datautvalgene som er testet mot hverandre antatt å være tosidig med lik varians. Det har imidlertid ikke blitt undersøkt om variansen virkelig er lik. En F-test av datautvalgene som skal testes med t-test kan avsløre om antagelsen om lik varians stemmer med virkeligheten. Det kunne vært interessant å undersøke om variansen virkelig er lik for de testede datasettene, og eventuelt gjennomføre en t-test med forutsatt ulik varians for å se på hvilken innvirkning dette ville hatt på t-verdier. Det er generelt mer konservativt å forutsette ulik enn lik varians ved statistisk testing av to datasett.

Det fins per i dag ingen gode testmetoder i Norge eller Europa som samsvarer med lavtemperaturbelastningene som skjer ute i felt. Det anbefales å se nærmere på lavtemperateregenskaper til de forskjellige massene i studien. Det ville vært spesielt interessant å se på hvordan bitumenet fra masstype C tåler lave temperaturer, da det er nettopp det bindemiddelet som kommer best ut ved måling av Fraass bruddpunkt i denne studien.

## **7.2. Generelle anbefalinger for videre arbeid innen varm gjenbruk av asfalt**

Tilsetningsgraden av asfaltgranulat brukt i studien er relativt konservativ i forhold til forsøk som foregår i Europa og ellers i verden på det aktuelle fagområdet. Det kan derfor være en idé å øke tilsetningsgraden av granulat ytterligere, og se på effekten dette har på egenskapene til høyverdige asfaltmasser som benyttes i slitelag på høytrafikkert veg. Det hadde også vært interessant å se hvilken innvirkning produksjonsmåten (kald tilsetning i varm masse mot varm tilsetning med parallelltrommel) har på den endelige dekkekvaliteten.

Bruken av polymermodifiserte bindemidler øker stadig i Norge og Europa. Om noen få år vil asfaltgranulat med PMB være tilgjengelig for gjenbruk i Norge. Det vil være interessant å se hvilken effekt tilsetningen av granulatet med PMB til nye masser med PMB har på funksjonsegenskapene til asfaltdekke i forhold til tilsetning av granulat med vanlig vegbitumen, slik det er gjort i denne studien.

De tradisjonelle metodene for bindemiddeltestingen viser seg å være dårlige indikatorer for funksjonsbaserte egenskaper til polymermodifisert bitumen. Det anbefales å ta i bruk nye metoder, utarbeidet spesifikt for testingen av PMB, samt å utarbeide et kravsystem basert på disse testene.

Per i dag fins det ikke utviklet noe enhetlig system for sortering av returafalt i Norge eller Europa. Det ville vært gunstig å ha en systematisert sortering av returafalt, slik at riktig type masse kan bli brukt til riktig formål ved gjenbruk. Sortering kan gjerne skje både på kilde (lag i konstruksjonen, type vegkonstruksjon), type masse (knuste flak, fresemasser) og type bindemiddel (vanlig vegbitumen, polymermodifisert bindemiddel, gjerne type polymer (elastomer, plastomer etc.))

For at et slikt sorteringssystem skal bli aktuelt må det lønne seg både miljømessig og samfunnsøkonomisk. Det gjøres internasjonalt arbeid med å synliggjøre positive effekter av gjenbruk gjennom miljøregnskapsanalyser (LCA), samt analyser av det økonomiske aspektet ved gjenbruk av asfalt (LCCA). Norge bør være med og bidra med opplysninger om sine aktuelle prosjekter. Et viktig datagrunnlag for dette kan dannes ved en systematisk loggføring av informasjon angående bruk av utstyr, tidsforbruk og drivstofforbruk.





## Referanser

*AllBack2Pave*, prosjekt, <http://allback2pave.fehrl.org/>

Andersen, Eivind Olav, «*NY ASFALTTEKNOLOGI. En innføring i SHRP-teknologi og terminologi for bindemidler*», SINTEF-rapport STF61 A95009, Trondheim, 1995

Andersen, Eivind Olav, «*BINDEMIDDEL. Polymer og tilsetningsstoff*», NTNU-notat 1067-2, Trondheim, 2001

Andersen, Eivind Olav, «*Funksjonell prøving av bitumen*», NTNU-forelesningsnotat, 2013

Asphalt Institute, “*Guidance on the Use of the MSCR Test with the AASHTO M320 Specification*”, Executive Offices & Research Center, Lexington, Kentucky, 2010

Bakløkk, Leif J., «*FUNKSJONSPRØVING. Styrkeparametere for asfalt og mekanisk stabiliserte materialer*», NTNU-notat 953, 1996 (revidert 1999)

Cominsky, Ronald J.; Huber, Gerald A.; Kennedy, Thomas W.; Anderson, Michael, “*The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays*”, SHRP-rapport SHRP-A-404, Washington DC, 1994 (hentet fra <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-407.pdf>)

*Effects on Availability of Road Network (EARN)*, prosjekt, <http://nra.ie/policy-publications/nra-national-roads-confer-1/nra-national-roads-confer-1/1.9-Recycling-of-pavement-materials-EARN-S-Cassidy.pdf>

Federal Highway Administration, «*The Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Procedure*», Technical Brief-notat FHWA-HIF-11-038, U.S. Department of Transportation, 2011

Forstén, Lars, «*Återvinning. Erfarenheter från Finland*», PPT-presentasjon på NVF-seminar i Sverige, 2015

Gierhart, Danny, “*Simple Talking Points for Sharing Why Your State Should Be Implementing MSCR*”, PPT-presentasjon for SEAUPG MSCR Task Group Web Meeting, Asphalt Institute, 2011 (hentet fra <http://www.asphaltinstitute.org/mscr-information/>)

Jacobson, Torbjörn, «*Asfaltåtervinning i Sverige – oversikt. Lär av historien – återvinn kunskap*», PPT-presentasjon på NVF-seminar i Sverige, 2015

Kontrollordningen for asfaltgjenvinning, KFA, «*Veileder i gjenbruk av asfalt*», Høvik, 2013

Nynäs

AB, [https://nyport.nynas.com/Apps/1112.nsf/wpds/NO\\_No\\_Nypol\\_82/\\$File/Nypol\\_82\\_NO\\_No\\_PDS.pdf](https://nyport.nynas.com/Apps/1112.nsf/wpds/NO_No_Nypol_82/$File/Nypol_82_NO_No_PDS.pdf)

Persson, Krister, «*Nyttillverkad asfalt med PMB och återvunnen asfalt – vad händer i Europa*», PPT-presentasjon på NVF-seminar i Sverige, 2015

Read, John; Whiteoak, David; Hunter, Robert, “*The Shell Bitumen handbook, 5<sup>th</sup> ed.*”, London, 2003 (hentet fra <http://www.google.no/books>)

Saba, Rabbira Garba, «*Feltforsøk med polymermodifisert bindemiddel. Varig veger 2011-2014*» Statens vegvesens rapport nr. 103, 2013

Saba, Rabbira Garba, «*Polymermodifiserte bindemidler (PMB)*», NMBU-forelesningsnotat, 2014

Statens vegvesen, «*Håndbok N200 Vegbygging*», Vegdirektoratet, Oslo, 2014

