

# Tilsetningsstoffer til lavtemperaturasfalt

Laboratorieundersøkelser

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 817



**Tittel**

Tilsetningsstoffer til lavtemperaturasfalt

**Undertittel**

Laboratorieundersøkelser

**Forfatter**

Torbjørn Jørgensen og Thomas Haukli Fiske

**Avdeling**

Teknologi Drift og vedlikehold

**Seksjon****Prosjektnummer**

C13475

**Rapportnummer**

817

**Prosjektleder**

Torbjørn Jørgensen

**Godkjent av**

Sara Anastasio

**Emneord**

Lavtemperaturasfalt, tilsetninger, bitumen, laboratorietesting, reologi, bestandighet

**Sammendrag**

Tilsetninger til lavtemperaturasfalt (LTA) ble undersøkt med laboratorietesting. Sju LTA-tilsetninger i bitumen og polymermodifisert bitumen ble blandet ved 30 °C lavere temperatur enn vanlig. Reologiske egenskaper og vedheft mot steinmateriale ble undersøkt. Undersøkelsen viser at tilsetningene bare bidrar til ca. 5 °C lavere teoretisk blandetemperatur. En smørende effekt må også bidra. Ett av additivene bidrar til stivere bindemiddel. Et annet kan også fungere som vedheftningsmiddel. Effekt av LTA-tilsetninger bør testes på asfaltblandinger med gyratorisk kompaktor.

**Title**

Additives to Warm Mix Asphalt

**Subtitle**

Laboratory testing

**Author**

Torbjørn Jørgensen og Thomas Haukli Fiske

**Department**

Technology and Laboratory Central

**Section****Project number**

C13475

**Report number**

817

**Project manager**

Torbjørn Jørgensen

**Approved by**

Sara Anastasio

**Key words**

Warm Mix Asphalt, additives, bitumen, laboratory testing, rheology, adhesion

**Summary**

Additives for Warm Mix Asphalt (WMA) were investigated in a laboratory study. Seven WMA additives were blended into bitumen and polymer modified bitumen at a 30 °C lower temperature than traditional. Rheological and adhesive properties of the blends were investigated. The study found that reduced high temperature viscosity only enables 5 °C lower mixing temperature. A lubricating effect of the additive is believed to also have an impact. One of the additives had a stiffening effect. Another work as an anti-stripping agent as well. WMA additives should be assessed in laboratory by gyratory compaction.



## Innhold

Sammendrag .....	2
1. Innledning.....	3
1.1.    Bakgrunn .....	3
1.2.    Målsetninger - Arbeidsplan.....	4
2. Om LTA-tilsetninger .....	6
2.1.    Hvordan fungerer skumming og LTA-tilsetninger.....	6
2.2.    Dokumentasjon fra prøveblanding av asfaltmasse. ....	8
2.3.    Bestandighet og aldring .....	11
2.4.    Konklusjon for prøvingsmetoder på asfaltmasse. ....	12
2.5.    Type produkter og hvordan man tror de virker.....	12
3. Laboratorieforsøk.....	15
3.1.    Prøveblandinger.....	15
3.2.    Prøvingsplan - hva skulle undersøkes .....	16
3.3.    Prøvingsmetoder.....	17
4. Laboratorieanalyser – Resultater .....	19
4.1.    Dynamisk viskositet.....	19
4.2.    Mykningspunkt.....	22
4.3.    DSR kompleksmodul ( $G^*$ ) og fasevinkel ( $\delta$ ) .....	24
4.4.    DSR $G^*$ temperaturfølsomhet og MSCRT Jnr og R%.....	26
4.5.    DSR MSCRT Jnr og R% .....	29
4.6.    PMB: Kohesjon med kraftduktilitet .....	32
4.7.    Vedheft med rulleflaskemetoden .....	34
5. Konklusjoner og videre arbeid .....	36
Referanser .....	37
Vedlegg.....	39
1.    Produktdatablad Cecabase RT 945 .....	39
2.    Produktdatablad Cecabase RT BIO 10 .....	40
3.    Produktdatablad Zycotherm .....	41
4.    Produktdatablad Rediset LQ 1102 CE .....	42
5.    Produktinformasjon Sasobit Redux .....	43
6.    Produktinformasjon Sasobit .....	45
7.    Produktdatablad ArOptimal (Warmgrip N1) .....	47
8.    Resultater DSR-testing .....	50

## Sammendrag

Sju tilsetningsstoffer som muliggjør å produsere asfalt ved lavere temperatur er undersøkt i en laboratoriestudie. Lavtemperaturprodusert asfalt (LTA eller LTPA) vil trolig bli den vanligste produksjonsformen i Norge om noen år. Skummingsteknikk har til nå blitt foretrukket til LTA i Norge. Bruk av tilsetningsstoffer til LTA kan benyttes når det er hensiktsmessig.

To hovedtyper temperaturnedsettende tilsetninger benyttes:

- organiske: voks eller voksaktige produkter
- kjemiske: viskositetsnedsettende og/eller smørende produkter

Begge hovedtypene ble undersøkt i prøveblandinger med bitumen (70/100) og polymermodifisert bitumen (PMB). Mengde tilsetning var i tråd med produsentens anbefaling.

Den innledende litteraturstudien viser at det er krevende å dokumentere effekt av en LTA-tilsetning. Laboratorieblending av asfaltmasse og komprimering med gyratorisk kompaktor kan dokumentere at redusert blandetemperatur ikke forringer asfaltkvaliteten.

Bindemiddelprøving kan bidra til en forklaring på hvordan tilsetningene virker, og effekt på bindemiddelegenskapene. Vedheftsprøving kan avklare om tilsetningen påvirker asfaltens vannbestandighet.

Prøveblandinger ble testet på ferske og korttidsaldrede bindemiddelprøver.

Temperaturfølsomhet for temperaturer ble undersøkt ned til -0 °C. Resultatene viser også PMB 40/100-75 stort sett er mykere enn 70/100 ved temperaturer lavere enn 30 °C.

Viskositetsmålingene viste at tilsetningene bidro til ca. 4-5 °C lavere teoretisk blandetemperatur og 5-8 °C lavere teoretisk utleggingstemperatur enn referansen uten tilsetning. Sannsynligvis bidrar både smørende effekt og redusert viskositet til at blandetemperaturen kan senkes 20-30 °C.

To produkter skilte seg ut: Sasobit og ArOptimal.

*Sasobit* (voksprodukt). Ved temperaturer over 110 °C har Sasobit en fortynnende effekt. Ved lavere temperaturer har det en avstivende effekt. Dette gjenspeiles i de fleste bindemiddeltestene.

*ArOptimal* ser ut til å fungere både som mykner og vedheftningsmiddel. Blandingene er mykest i mange bindemiddelprøvinger.

For de øvrige tilsetningene var det ikke store forskjeller mellom disse og bindemiddel uten tilsetning.

Vedheftsprøving med rulleflaskemetoden viste at for 70/100 tilsatt 0,5 % ArOptimal er det ikke behov for ekstra vedheftningsmiddel.

## 1. Innledning

### 1.1. Bakgrunn

I 2020 hadde lavtemperaturprodusert asfalt (LTA eller LTPA) en andel på 27 % av produsert asfalt i Norge. Bransjens målsetning er at LTA skal være vanligste produksjonsform innen 2030. Målsetningen for 2021 er at 40-50 % av produsert asfalt skal være LTA.

Det er i dag vanlig å bruke benevnningen «lavtemperaturasfalt» (LTA) om asfalt som er produsert ved 20-40 °C lavere temperatur enn i ordinær produksjon. For å få til dette kreves temperaturnedsettende teknikker som:

- a) skumming av bindemiddelet
- b) bruk av organiske eller kjemiske tilsetninger

Skummingsteknikk har til nå blitt foretrukket til LTA i Norge. I *Retningslinjer asfalt 2019* (SVV, 2019) ble det åpnet opp for generell bruk av tilsetningsstoffer til LTA.:

*«Ved anvendelse av egnede tilsetningsmidler og/eller endringer i produksjonsmetode kan asfalt produseres ved lavere temperaturer enn det som kreves ved tradisjonell produksjon av asfalt.»*

De to hovedtyper temperaturnedsettende tilsetninger som benyttes er:

- organiske: voks eller voksaktige produkter
- kjemiske: viskositetsnedsettende og/eller smørende produkter

I LTA 2011-prosjektet ble de tre hovedteknikkene prøvd ut i feltforsøk (Bragstad, 2012) (Jørgensen, 2017). Ti LTA-dekker (Agb og Ab) og deres referansedekke, produsert ved normal temperatur, ble fulgt opp med tilstandsregistreringer og opptak av borkjerneprøver (Jørgensen & Hovin, 2019).

Etter seks års funksjonstid ble tilstandsutvikling, asfaltkvalitet og bitumenaldring i de ti LTA-dekkene vurdert som normale for Agb- og Ab-dekker. Det var ubetydelig forskjell i lastfordelingskoeffisient, men tendens til høyere hulrom i LTA-dekkene enn i referansene.

Forsøksdekkene i LTA 2011 omfattet ikke vegger med svært høy trafikk, eller dekker lagt under ugunstige værforhold, f.eks. tidlig vår eller sein høst. Forsøkene representerer dekkelegging under normale betingelser mht. trafikk og værforhold.

Siden 2013 har bruken av LTA økt, og det er gjort erfaringer med legging under ulike værforhold og transportlengder (inkludert båttransport). Det er også produsert asfalt med polymermodifisert bitumen (PMB). Skummingsteknikk har vært den aller vanligste produksjonsformen. Bruken av LTA-tilsetningsstoffer har vært liten.

Bruken av LTA i Norge vil fortsette å øke. Det har vært noe usikkerhet om lavtemperaturproduksjon er optimalt for alle typer asfaltdekker. Dette gjelder særlig på de mest trafikkerte vegene, med piggdekkslitasje, tungtrafikk og intenst vintervedlikehold. På slike vegger blir trafikkulempere og kostnader store hvis det skulle bli feilslag.

Usikkerheten omkring LTA går på om initialstyrke og bestandighet er på samme nivå som for varmprodusert asfalt. Vil høyere initialspor og ugunstig hulrom i asfaltdekket føre til kortere levetid?

I asfaltkontraktene kreves det i dag høyere amindosering til LTA enn til tilsvarende varmasfalt for å sikre god vedheftning og vannbestandighet.

På høyt trafikkerte veger benyttes ofte asfaltbetong eller skjelettasfalt med polymer-modifisert bitumen (PMB). Vegvesenet har tidligere liten grad brukt LTA der. Vegvesenets asfaltretningslinjer krever at LTA i så fall skal vurderes spesielt av byggherren (SVV, 2019).

LTA med tilsetning av kjemikalier kan være enklere å produsere enn med skummingsteknikk. Det kan bla. være mindre behov for modifisering av asfaltblandeverket. Det kan også være spesielle situasjoner eller produksjoner der bruk av tilsetningsstoffer er hensiktsmessig.

I dette prosjektet undersøkes LTA-tilsetninger til bitumen og polymermodifisert bitumen i laboratorieprøvinger. Det gjelder:

1. Reologiske egenskaper ved:
  - blande- og utleggingstemperatur
  - brukstemperatur etter korttidsaldring
2. Dosering av vedheftningsmiddel (amin) ved redusert produksjonstemperatur

Langtidsaldring av bindemiddelet er ikke tatt med i prosjektplanen, men kan tas med i eventuelt nytt prosjekt. I tillegg gjøres det en litteraturgjennomgang på LTA-tilsetning og skummingsteknikk ved nedsatt produksjonstemperatur.

Prosjektgruppa har bestått av

- Berit V. Kramer, Thomas Haukli Fiske, Kjersti Solstad og Wenche Hovin (Statens vegvesen, Drift og vedlikehold, Laboratorium Midt)
- Torbjørn Jørgensen (Statens vegvesen, Drift og vedlikehold, Teknologi)

Laboratoriearbeidet er utført av Laboratorium Midt. Resultatbehandling og rapportering av laboratorieundersøkelsene er gjort av Torbjørn Jørgensen og Thomas H. Fiske.

Leverandører av tilsetningsstoffene i undersøkelsen har gitt vareprøver, informasjon om bruk av produktene samt produktdatablad og HMS-datablad.

## 1.2. Målsetninger - Arbeidsplan

### Målsetninger

Økt kunnskap om LTA gjennom teknisk vurdering av bindemiddel og tilsetningsstoffer. Å bidra til optimale valg ved bruk av LTA-tilsetning.

Undersøkelsen omfatter:

- a) kartlegge aktuelle tilsetningsstoffer
- b) laboratorieprøving av ulike tilsetningsstoffer i vegbitumen og PMB, med 30 °C redusert blandetemperatur.
- c) undersøke vedheftning til bindemidler med LTA-tilsetning: Ulike doseringer av amin (0 – 0,3 % - 0,5 %) og redusert blandetemperatur. Sammenlignes med normal (0,3 %) dosering og normal blandetemperatur.

Arbeidsplan

- A) Gjennomgang av litteratur og teori om tilsetningsstoffer
  - a. tribologi – forklare smørende effekt
  - b. forskjell skumming og bruk av tilsetningsstoffer
  - c. hvordan bedømmes effekt av LTA-tilsetning og skumming
  - d. aldring og bestandighet på LTA
- B) Kartlegge aktuelle produkter for denne studien
- C) Laboratorieprøving av blandinger med 70/100 og PMB 40/100-75
  - a. Reologi til fersk og korttidsaldret bindemiddel
  - b. Effekt på vedheft og amintilsetning
- D) Rapportering
  - a. Oversikt arbeid og utførte analyser
  - b. Konklusjoner og videre arbeid

## 2. Om LTA-tilsetninger

### 2.1. Hvordan fungerer skumming og LTA-tilsetninger

#### Skummingsteknikker

- Skumming av bitumen gir rask og effektiv fordeling av bindemiddel i steinmaterialet, både på den grove og den fine delen av kornkurven. Tilsetning av amin i bitumen som skummes bidrar til rask omhylling
- Skumbitumendråpene og den effektive bindemiddelfordelingen gir lavere friksjon mellom steinkornene pga. tykkere bitumenfilm. Skumbitumendråpene har i tillegg lav «viskositet» og fungerer som glidesjikt.
- Ved utlegging og valsing komprimeres massen slik at «dråpene» klemmes bort og det dannes en permanent bindemiddelfilm.

#### *Generelle problemstillinger for LTA:*

Avhengig av temperatur og valseinnsats kan det ta noe tid før optimal densitet og stabilitet i asfaltdekket oppnås. Vil dette kreve større valseinnsats for LTA og er de sårbare mht. initialspor?

I litteraturen hevdes det også at alternative blandeteknikker (som KGO-metoden), forbedrer bindemiddelfordelingen i massen, og gjør redusert blandetemperatur mulig (Baumgardner, 2012).

#### Om hvordan LTA-tilsetninger fungerer

En fransk studie (Geisler, Lapalu L., & Kapsa, 2016) viser i en undersøkelse av kontaktvinkler og friksjonsegenskaper (tribologi) effekten av kjemikalier og voks i LTA.

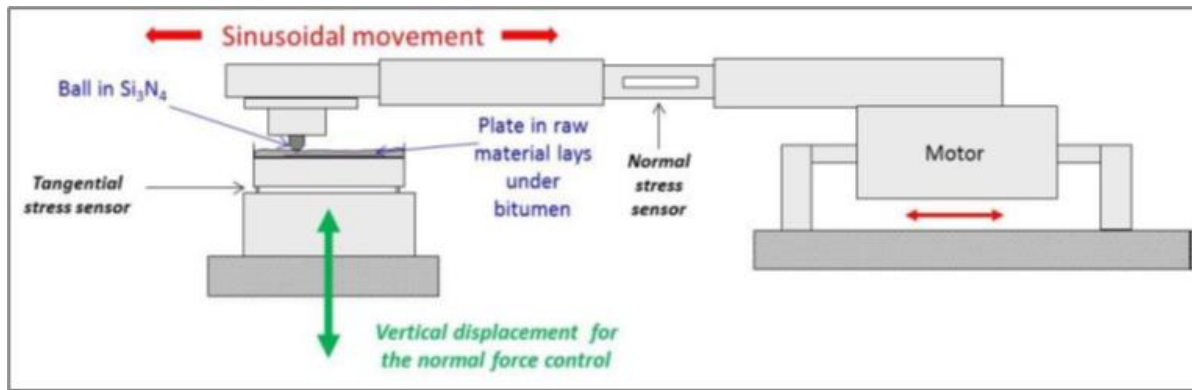
Kontaktvinkelmålinger viser at bitumen med LTA-tilsetning spres bedre og lettere på våt steinoverflate ut enn for bitumen uten tilsetning.

Viskositetsmålinger i området 80 til 165 °C på fem prøveblandinger kunne ikke forklare forbedret blandbarhet ved redusert temperatur. De gikk derfor videre med å undersøke om en smørende effekt kunne påvises med tribologisk testing.

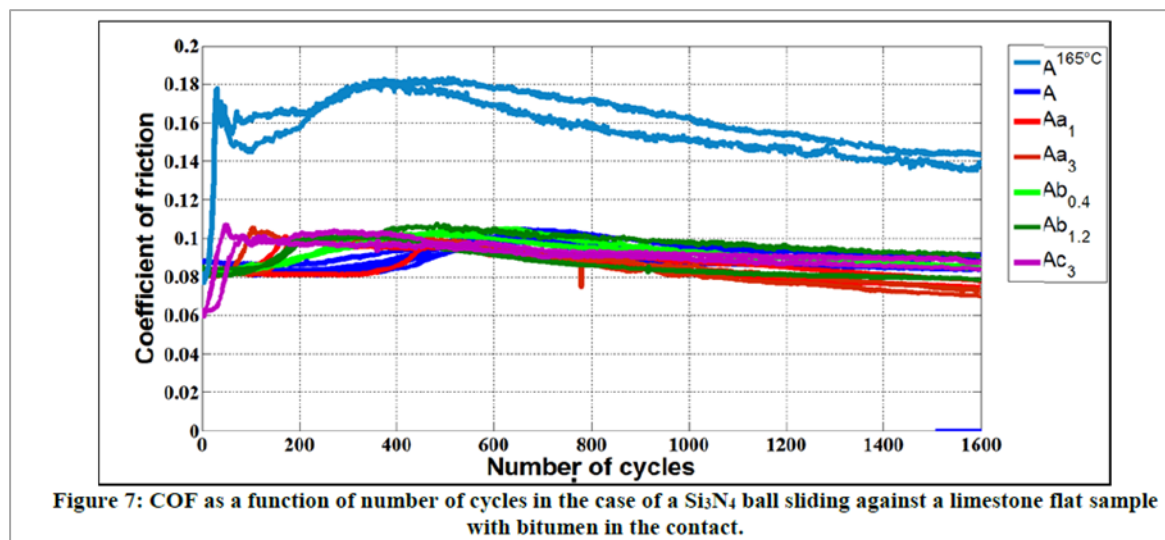
I tribologisk testing (figur 1) beveges en kule av slitesterkt keramisk materiale (silisiumnitrid) fram og tilbake over en bitumendekt steinoverflate med 50 N belastning ved den aktuelle blandetemperaturen. Apparatet måler horisontalkraft og normalkraft, og beregner friksjonskoeffisienten for hver av 1600 sykluser (figur 2).

I studien ble 30/50 bitumen tilsatt ulik mengde og type additiv og testet ved 120 °C. Referansebitumenet (A) ble i tillegg testet ved 165 °C. En polert steinplate av granitt eller kalkstein ble benyttet. Etter fullført måling ble slitasjesporet på steinplaten målt. Stor slitasje indikerer mindre smørende effekt. Referansen A ved 165 °C hadde innledningsvis lav friksjonskoeffisient. Når kula har slitt seg gjennom bindemiddelfilmen, øker friksjonen sterkt.





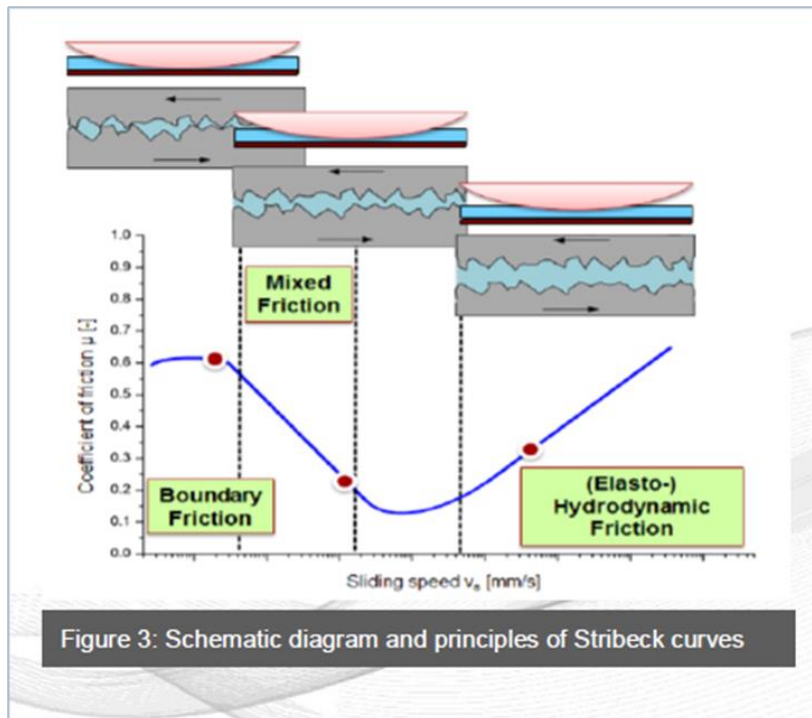
Figur 1 Apparat for tribologisk måling av friksjonskoeffisient mellom bitumendekt steinoverflate og en kule som glir fram og tilbake (Geisler, 2016)



Figur 2 Friksjonskoeffisient-kurve, måling ved 120 °C (Geisler, 2016)

For prøvene med LTA-additiv var friksjonskoeffisienten halvert. Forsøkene viste at friksjon og slitasje er avhengig av temperatur og LTA-tilsetning (type og dosering).

Figur 3 viser hvordan Stribeck-kurver kan beskrive den smørende effekten. Både hastigheten mellom friksjonsflatene og mediet (tykkelse og egenskaper) mellom disse har betydning (Anton-Paar, 2019).



Figur 3 Stribeck-kurve (Anton-Paar, 2019)

Forklaring til figuren:

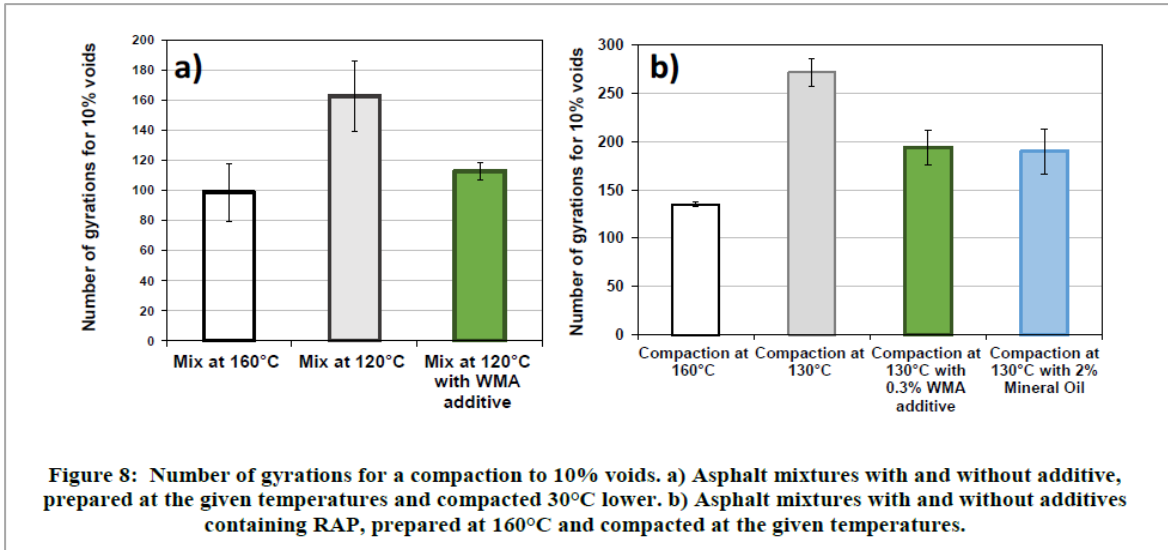
- En normalkraft fører til at det dannes en bølge av mediet (bindemiddelet) foran friksjonspunktene som skyver friksjonsflatene fra hverandre (*blandet friksjon*).
- Når avstanden mellom friksjonspunktene blir så stor at det ikke er kontakt mellom disse, er friksjonen på et minimum (*elasto-hydrodynamisk friksjon*).
- Ved høyere hastighet øker friksjonen igjen (*hydrodynamisk friksjon*). Friksjonen avhenger da av mediets viskositet og skjærhastigheten.

Tribologiske undersøkelser er viktig for å gi en vitenskapelig forklaring på hvordan LTA-tilsetninger og -teknikker fungerer. Det var ønskelig å få utført tribologiske målinger i dette prosjektet, men pga. ressursmangel ble det ikke utført slike målinger.

## 2.2. Dokumentasjon fra prøveblanding av asfaltmasse.

For asfaltlaboratorier er det utviklet prosedyrer med bruk av gyratorisk kompaktor som synes å være egnet til å dokumentere effekt av LTA-tilsetninger samt LTA med skummingsteknikk.

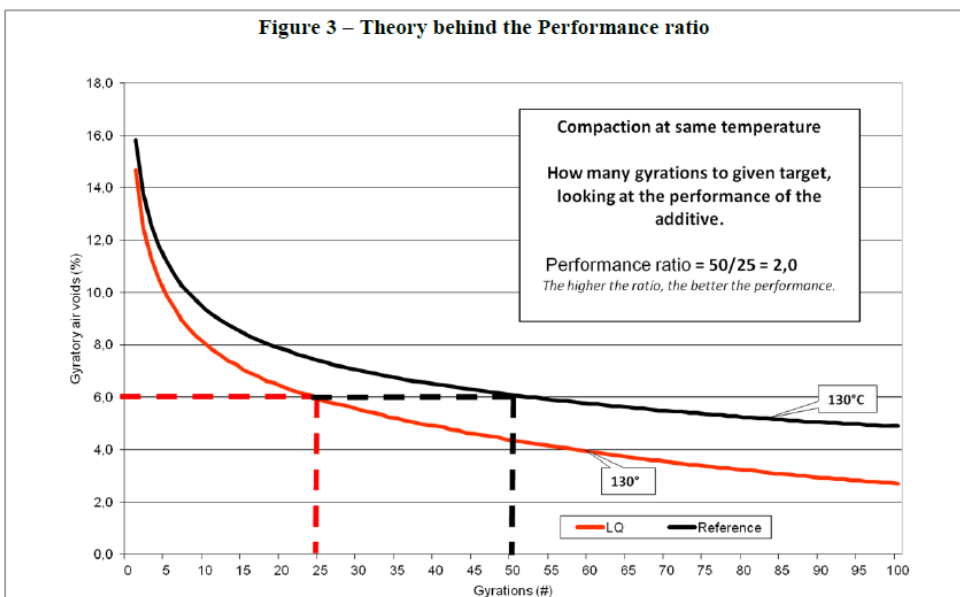
I forsøkene til Gonzalez-Leon blandet man asfaltbetong med bitumen 35/50 og 50/70 ved 160 og 120 °C, og komprimerte med gyratorisk kompaktor ved 30 °C lavere temperatur. Antall omdreininger for å oppnå 10 % hulrom var et mål for bearbeidbarhet og komprimerbarhet til blandingen. Figur 4 viser et eksempel på at både LTA-tilsetning og mykgjører (mineralolje) gir akseptabel blandbarhet 30 °C lavere enn referansen. LTA-tilsetningen ga ikke redusert viskositet i blandingen (Gonzalez-Leon, 2016).



Figur 4 Antall rotasjoner for å oppnå 10 % hulrom for ulike asfaltblandinger (Gonzalez-Leon, 2016)

Forfatterne konkluderte med at gyratorisk komprimering kan brukes til å dokumentere bearbeidbarhet, f.eks. ved 30 °C lavere blandetemperatur. For ulike massetyper og bindemidler (og tilsetninger) kan man da finne optimale temperaturer.

I undersøkelsen til Smith og James ble gyratorisk kompaktor benyttet til å vurdere effekt av LTA-tilsetning (Smith & James, 2016). Kriteriet var antall rotasjoner for å oppnå 6 % gyratorisk hulrom. LTA- massen og referansemassen ble blandet og komprimert ved 30 °C lavere temperatur. De benyttet anbefalt prosedyre for mix design i det amerikanske NCHRP (National Cooperative Highway Research Program). Forholdet i antall rotasjoner mellom ordinær masse og LTA-masse ble bestemt. Jo høyere verdi jo bedre. Figur 5 viser et eksempel på slik måling. Forfatterne mener at forholdet bør være over 1,4 for å være tilfredsstillende. For grove asfaltblandinger kan det være vanskelig å oppnå like høye verdier.



Figur 5 Bedømmelse av temperaturfølsomhet for redusert komprimeringstemperatur (Smith & James, 2016)

Buisson bestemte kompakteringsenergi-indeks (CEI) i sin studie med gyrotorisk kompaktering etter en amerikansk metode. Fra gyrotorens komprimeringskurve beregnes CEI som energiforbruket fra 8 rotasjoner til oppnådd 92 % komprimeringsgrad, se figur 6. (Buisson, 2021).

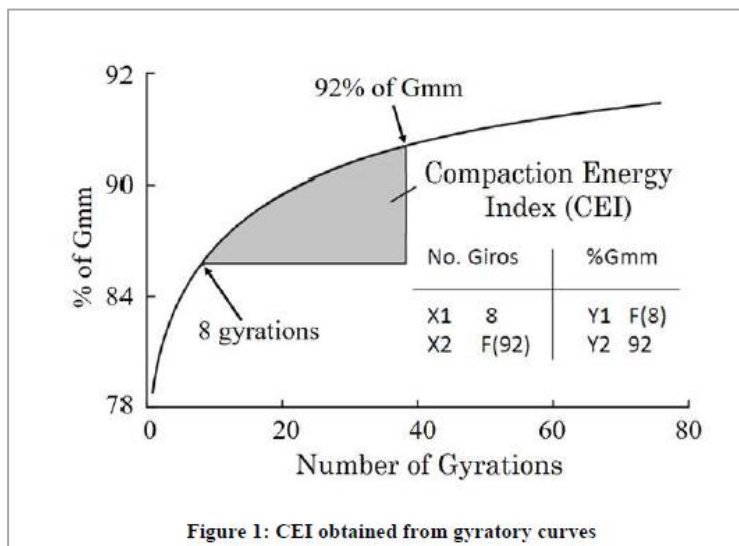


Figure 1: CEI obtained from gyratory curves

Figur 6 Konsept for beregning av kompakteringsenergi-indeks, CEI. (Buisson, 2021)

Referanse-CEI beregnes for ordinær varm produksjon, f.eks. blandetemperatur 165 °C og komprimeringstemperatur 155 °C. CEI-verdien sammenlignes med CEI-verdier for LTA-masse, f.eks. med blandetemp. 145 °C og komprimeringstemp. 110 °C. Hvis CEI-verdien er lavere for LTA-massen enn for varmblandet masse, er LTA-massen lettere å komprimere. Figur 7 viser hvordan effekt av ulike LTA-tilsetninger og LTA-teknikker bedømmes med CEI.

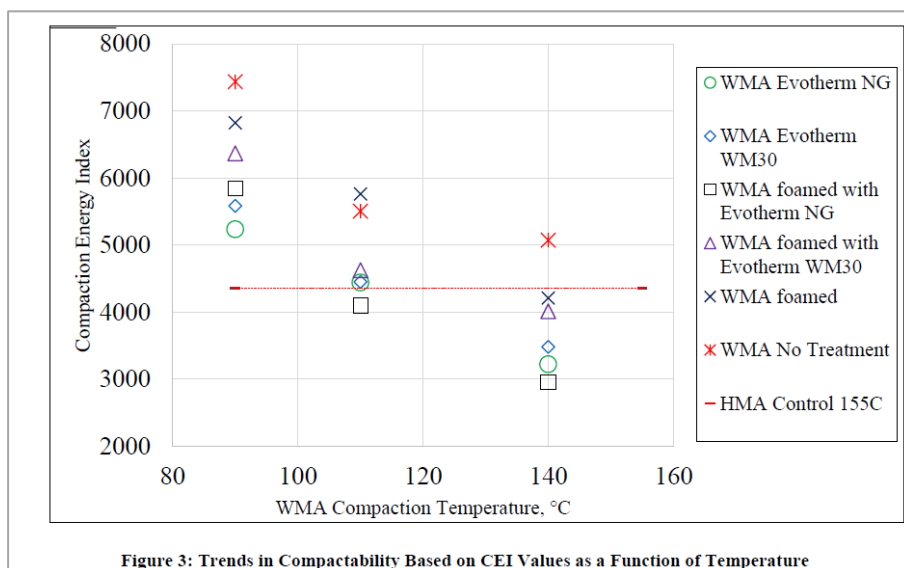


Figure 3: Trends in Compactability Based on CEI Values as a Function of Temperature

Figur 7 Sammenligning CEI ved ulike temperaturer for ulike LTA-teknikker. Horisontal linje er referansemassens CEI-verdi. (Buisson, 2021)

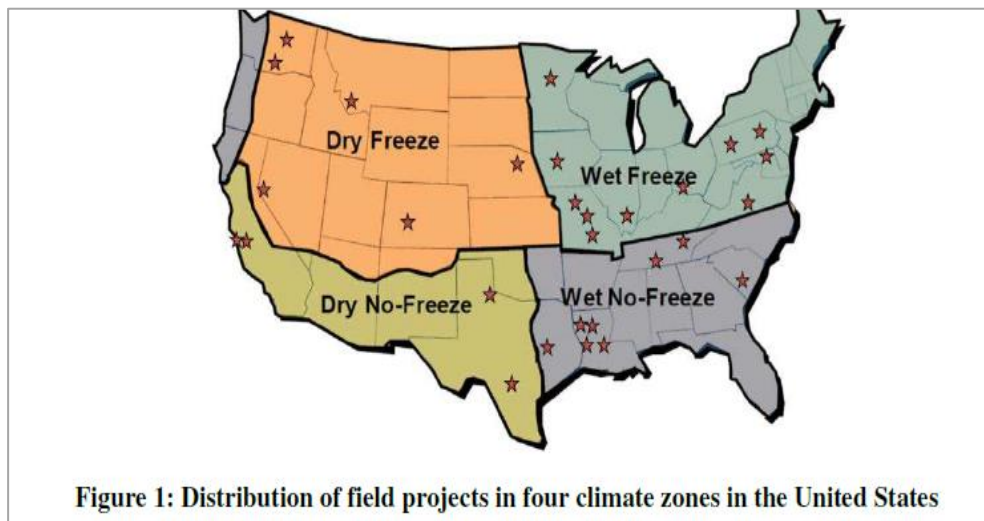
Dokumentasjon og utviklingsarbeid med gyratorisk kompaktor synes å være en pålitelig metode for finne akseptable blande og komprimeringstemperaturer for LTA. Metoden er ressurskrevende og passer nok best der man har rikelig tilgang til materialer, gjerne verksprodusert asfaltmasse.

### 2.3. Bestandighet og aldring

Det finnes mye dokumentasjon på bestandighet til LTA-dekker, både med laboratorieprøving og oppfølging i felt. Stort sett konkluderes det med at når LTA-massen er riktig proporsjonert, vannfølsomhet og vedheft er sikret og at utførelsen er god (optimalt bindemiddelinhold og hulrom er oppnådd), vil utlagt LTA-dekke være like holdbart som varmprodusert asfalt (Jørgensen & Hovin, 2019) (Wu & Shen, 2021) (Gil, Herrero, & Sypt, 2021).

Wu undersøkte hvordan det hadde gått med 28 feltforsøk med LTA i USA, og sammenlignet tilstanden med de varmproduserte referansedekkerne. Dekkene hadde ligget fra 2 til 9 år. Figur 8 viser hvor og i hvilke klimasoner forsøksdekkene ligger. Wu konkluderte med at selv om kortidsaldringen til LTA er lavere enn for referansen, jevnet dette seg ut over tid, slik at langtidsaldring i felt (mht. stivhet) var omtrent lik. Sporutviklingen var også noenlunde lik. Også grad av oppsprekking var tilnærmet lik for LTA og referansedekke.

Wu konkluderte med at LTA og varmprodusert asfalt vil få like langtidsegenskaper såfremt at en egnet miks-design er benyttet.

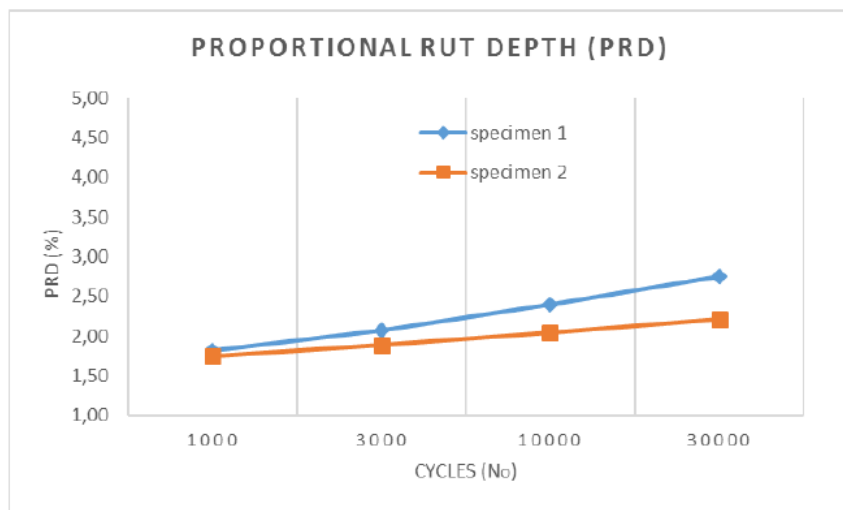


Figur 8 Oversikt feltforsøk med LTA i fire klimasoner (Wu & Shen, 2021)

Gil gjorde en laboratorieundersøkelse av prøveblandinger med en plantebasert, overflateaktiv LTA-tilsetning. I asfaltblandingen var det 27 % resirkulert asfalt. Benyttet bitumen var 15/25, som ble tilsatt 0,65 % additiv. LTA-massen ble komprimert ved 120 °C, mens referansemassen ble komprimert (gyratorisk) ved vanlig temperatur.

Varmblandet- og LTA-masse oppnådde tilnærmet like verdier for: hulrom, vannfølsomhet (ITSR%), wheel track, stivhet og utmatting. Alle verdier tilfredsstiller belgiske spesifikasjoner for «high modulus asphalt».

Figur 9 viser resultat for wheel track test utført ved 50 °C. Gil forklarte den noe høyere sporutviklingen for LTA med at bindemiddelet i den varmproduserte asfalt hadde herdet mer under blanding og komprimering enn bindemiddelet i LTA-massen.



Figur 9 Wheel track test av LTA (blå) og varmblandet masse (rød) (Gil, Herrero, & Sypt, 2021)

#### 2.4. Konklusjon for prøvingsmetoder på asfaltmasse.

Gyratorisk kompaktering av asfalt blandet ved lavere temperatur er egnet til å bedømme egenskaper til LTA. Kompakteringsarbeid, hulrom, stabilitet, spordannelse og vannfølsomhet bør som minimum inngå i dokumentasjonen. De normale, funksjonsbaserte krav i kontraktene skal uansett oppfylles.

Bindemiddeltester skal sikre at ingen bindemiddelegenskaper påvirkes negativt.

Mulig effekt på vannfølsomhet og vedheft må være avklart. Eventuell negativ effekt på vedheftningsmiddel undersøkes, f.eks. med rulleflaskemetoden.

Korttidsaldring under produksjon og utførelse er ofte lavere for LTA. Den kan bidra til større initialspor for nylagt LTA. Langtidsaldring synes ikke å være forskjellig fra ordinær varm produksjon. Det synes ikke å være merkbar forskjell i levetid mellom LTA og varmprodusert asfalt.

#### 2.5. Type produkter og hvordan man tror de virker

Skummingsteknikk har til nå blitt foretrukket til LTA i Norge. Det finnes også temperaturnedsettende tilsetninger tilgjengelig på markedet som benyttes i en del i andre land. Det er to hovedtyper som benyttes:

1. Organiske (voksprodukter)

Disse har et smeltepunkt i området 100-110 °C. Over smeltepunktet har de lav viskositet og reduserer viskositeten til bitumen/voks-blandingen. Ved en 1,5-3 % tilsetning til bitumenet muliggjøres produksjon og utlegging ved redusert temperatur i størrelsesorden 25-35 °C. Det mest kjente produktet, Sasobit, bidrar også til økt bindemiddelstivhet i ferdig utlagt asfalt. Voksmodifisert asfalt har noen ganger vist «uønskede» egenskaper, som spenningsfølsomhet og redusert vedheft. Måten voksen blandes inn i bindemiddelet (direkte i bindemiddelet eller i blanderen) kan ha betydning på effekten.

2. Kjemiske, viskositetsnedsettende eller smørende produkter

De fleste av disse forandrer ikke bindemiddelstivheten i utlagt asfaltmasse. Den smørende eller viskositetsnedsettende effekten ved blanding og utlegging er ikke alltid lett å forstå. Vanligvis skjer tilsetningen direkte i bindemiddelet før blanderen.

Enkelte produkter reduserer viskositeten ved å tilsette en vandig såpeløsning til bindemiddelstrømmen i asfaltverket. Dette forårsaker emulgering og muligens skumming i blandingen som bidrar til volumøkning og redusert viskositet. En smørende effekt under blanding, transport og utlegging tillater redusert produksjonstemperatur.

Mineralske tilsetninger (zeolitter) som avgir fukt og gir skumming, regnes som skummingsteknikk og ikke som LTA-kjemikalier.

Tabell 1 viser et utvalg produkter som det kan være interessante å vurdere. De utvalgte produktene antas å være aktuelle for det norske markedet. Nye typer LTA-tilsetninger kan vurderes på samme måte som i denne rapporten.

Tabell 1. Aktuelle produkter i denne undersøkelsen.

Type LTA-tilsetning	Produkt	Kommentar
<b>Organiske/vokstyper</b> Viskositetsnedsettende og noe smørende	Sasobit (FT-voks) Produktinformasjon: Vedlegg 1	Etablert produkt som brukes både i USA og Europa (1,5 % tilsetning) Temperaturreduksjon: 10-30 °C Smeltepkt: 70-115 °C Gir høyere mykningspunkt i bindemiddelet
	Sasobit-Redux (FT-voks) Produktinformasjon: Vedlegg 2	Brukes i Europa (1,5 % tilsetning). Temperaturreduksjon: 10-30 °C Smeltepkt. 72-83 °C Påvirker ikke mykningspunkt
<b>Kjemiske</b> Overflateaktive og smørende	Rediset LQ-1102 CE	Brukt i USA og Europa. (0,2-0,6 % tilsetning) Temperaturreduksjon: 20-30 °C Seigtflytende ved romtemperatur Bidrar som vedheftningsmiddel?
	Cecabase RT 945	Brukes i USA og Europa. (0,2-0,5 % tilsetning) Temperaturreduksjon: 35-55 °C Seigtflytende ved romtemperatur
	Cecabase RT BIO 10	Brukes i USA og Europa Seigtflytende ved romtemperatur
	ZycoTherm «Organosilan», et alkylsiloksan-produkt	Brukt i flere land (0,10-0,15 % tilsetning) Temperaturreduksjon: 25-30 °C Også vedheftningsmiddel? Flytende ved romtemperatur.
	ArOptimal (WarmGrip N1)	Er samme produkt som WarmGrip N1 (Lundberg, 2019) Også vedheftningsmiddel? Seigtflytende ved romtemperatur.
<b>Vedheftningsmiddel</b> Amin	Wetfix AP17 Ekstra tilsetning	Til varmasfalt og LTA Dosering 0,2-0,4 masse-% i bindemiddel

Produktdatablader (PDS) for produktene er gitt i vedlegg 1-7. Andre LTA-tilsetningsprodukter som benyttes i det europeiske markedet er vist i tabell 2.



Tabell 2. Andre LTA-tilsetninger som er brukt i Europa.

Type LTA-tilsetning	Produkt	Kommentar
<b>Organiske/vokstyper</b>  Viskositetsnedsettende og delvis smørende	Asphaltan-B (Montanvoks)	Brukt i Tyskland (2,5 % tilsetning). Temperaturreduksjon: 20-30 °C Smeltepkt. 110-140 °C
	Asphaltan-A (Montanvoks og amidvoks)	Benyttet i Tyskland (2-3 % tilsetning). Temperaturreduksjon: 20-30 °C. Lite brukt?
	Amidvoks	Brukt i Tyskland (3 % tilsetning) Smeltepkt. 139-144 °C. Beregnet for støpeasfalt og for harde bitumengrader
<b>Kjemiske</b> Overflateaktive og smørende	Evotherm 3G eller M1	Brukt i USA og Europa. (0,3-0,7 % tilsetning) Temperaturreduksjon: 35-55 °C

### 3. Laboratorieforsøk

#### 3.1. Prøveblandinger

Sju LTA-tilsetningsprodukter ble undersøkt. De ble tilsatt etter anbefalt dosering til bitumen 70/100 og PMB 40/100-75 (fra Nynas Bitumen). Tabell 3 gir en oversikt over prøveblandingene.

Tabell 3. Prøveblandinger av LTA-tilsetninger i bitumen og PMB

Prøve	70/100	Prøve	PMB 40/100-75	Leverandør
1	70/100	8	Nypol 73	Nynas
2	70/100, 0,5 % Cecabase RT 945	9	Nypol 73, 0,5 % Cecabase RT 945	Arkema
3	70/100, 0,5 % Cecabase RT BIO 10	10	Nypol 73, 0,5 % Cecabase RT BIO 10	Arkema
4	70/100, 0,4 % Zycotherm	11	Nypol 73, 0,4 % Zycotherm	Zydex
5	70/100, 0,5 % Rediset LQ 1102 CE	12	Nypol 73, 0,5 % Rediset LQ 1102 CE	Nouryon/ Akzo Nobel
6	70/100, 1,5 % Sasobit Redux	13	Nypol 73, 0,5 % Sasobit Redux	Sasol
7	70/100, 1,5 % Sasobit	14	Nypol 73, 1,5 % Sasobit	Sasol
15	70/100, 0,5 % ArOptimal	16	Nypol 73, 0,5 % ArOptimal	Arstec

#### Forundersøkelser – tillaging av blandinger:

Blandetemperatur for 70/100-prøver var 160 °C for referanse og 130 °C for LTA-blandinger. Blandetemperatur PMB-prøver var 180 °C for referanse og 150 °C for LTA-blandinger.

De samme blandetemperaturene ble brukt til rulleflaskeforsøk med 0,0 % – 0,3 % – 0,5 % amintilsetning. Benyttet vedheftningsmiddel (amin) var Wetfix AP17 fra AkzoNobel (Nouryon).

For PMB ble det gjort et forsøk med to utstøpingstemperaturer (180 °C og 160 °C) til mykningspunkt, for å undersøke effekt av redusert utstøpingstemperatur. PMB skal iht. prøvingsstandardene støpes ut ved 180 °C.

### 3.2. Prøvingsplan - hva skulle undersøkes

Første trinn var å lage prøveblandinger for 70/100 og PMB uten og med tilsetning.

Tabell 4 gir en oversikt over prøvingene.

Tabell 4. Prøvingsplan bindemiddeltesting for 70/100 og PMB 40/100-75.

Prøving på ferske prøver	70/100 (ref.)	70/100 + produkt	PMB 40/100-75 (ref.)	PMB 40/100-75 + produkt
Viskositetskurve	x	x	x	x
Mykningspunkt	x	x	x	x
Kohesjon, kraftduktilitet	-	-	x	x
Kompleksmodul * DSR (G*og δ): 0 - 60 °C 0 - 80 °C	x	x	x	x
DSR MSCRT (Jnr og R%)	x	x	x	x
DSR temperaturfølsomhet, temperatur der G*= 15 kPa og 50 kPa G*= 5,0 MPa og 50 MPa	x x	x x	x x	x x
Prøving etter RTFOT korttidsaldring				
Mykningspunkt	x	x	x	x
DSR (G*og δ): 0 - 60 °C 0 - 80 °C	x x	x x	x x	x x
DSR MSCRT (Jnr og R%)	x	x	x	x
DSR temperaturfølsomhet, temperaturer der G*= 15 kPa og 50 kPa G*= 5,0 MPa og 50 MPa	x x	x x	x x	x x

\* DSR er Dynamisk Skjær-Reometer

### 3.3. Prøvmingsmetoder

Benyttede prøvmingsmetoder er vist tabell 5.

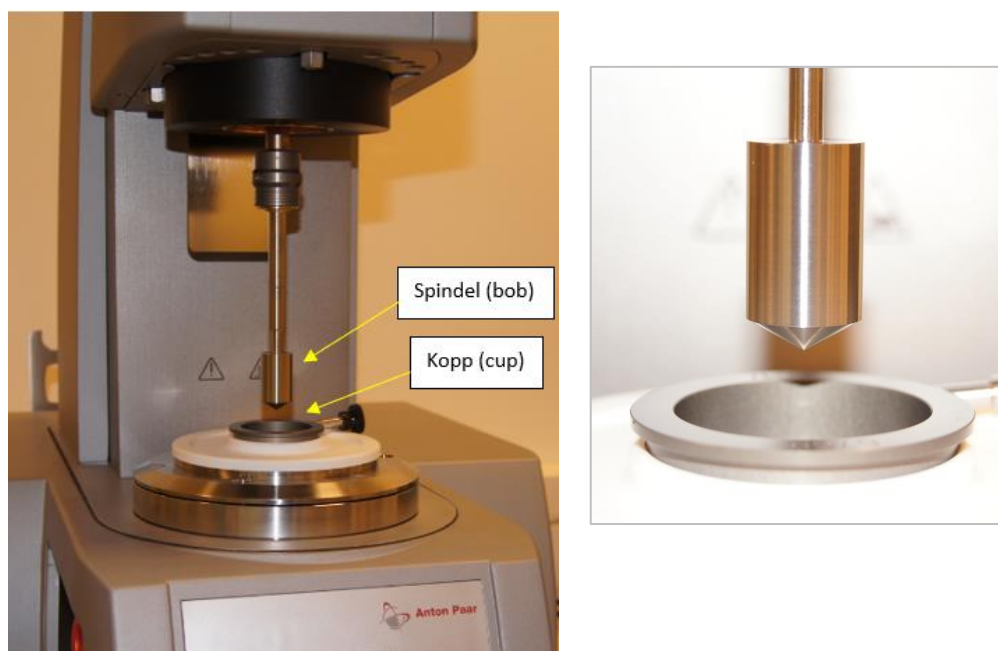
Tabell 5. Prøvmingsmetoder i undersøkelsen

Standard	Prøvmingsmetode
NS-EN 13032:2016	Dynamisk viskositet med rotasjonsviskosimeter
NS-EN 12607-1: 2014	Rolling Thin Film Oven Test, RTFOT @ 163 °C
NS-EN 1427:2015	Mykningspunkt (MP)
NS-EN 14770:2012	DSR $G^*$ og $\delta$ , temperaturområde (40 °C – 0 °C) og (40 °C – 80 °C)
NS-EN 16659:2015	Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT) @ 50°C, Jnr og R%
NS-EN 13589:2018	Kohesjon målt med ved kraftduktilitet
NS-EN 12697-11: 2012	Dynamisk vedheft med rulleflaskemetoden

Syretall til bindemidlene ble bestemt av eksternt laboratorium. Bitumen 70/100 hadde syretall 3,1 mg KOH/g. PMB Nypol 73 hadde syretall 2,4 mg KOH/g.

#### Viskositetskurve

Dynamisk viskositet ble målt med rotasjons-viskosimeter i temperaturområdet 120-160 °C for 70/100 og 140-180 °C for PMB 40/100-75. Viskositetsmodulen til reometeret ble benyttet (figur 10).



Figur 10 Viskositetsmodul til DSR (foto: W. Hovin)

#### DSR kompleksmodul - Temperaturkurve

Reometeret ble programmert til å måle ved innstilte temperaturer («temp-ramp») med trinn på 10 °C. Til temp-ramp 30-60 °C og 40-80 °C benyttes 25 mm plategeometri. Til temp-ramp

40–0 °C benyttes 8 mm plategeometri. Det lineære viskoelastiske området avtar ved lavere prøvingsstemperatur (prøvens tøyning blir mindre).

DSR-målingene ble gjort på ferske og RTFOT-aldrede prøveblandinger. Middelerverdi av to bestemmelser av kompleks skjærmodul ( $G^*$ ) og fasevinkel ( $\delta$ ) rapporteres.

#### Temperaturfølsomhet for kompleksmodulen ( $G^*$ )

På grunnlag av temperaturkurvens  $G^*$ -verdier, ved 30-60 °C (70/100) og 40-80 °C (PMB), beregnes temperaturene der  $G^*$  er 2 kPa, 15 kPa og 50 kPa.

Temperaturen der  $G^*= 2,2$  kPa etter RTFOT-herding, benyttes i den amerikanske PG-spesifikasjonen. Temperaturen der  $G^*= 15$  kPa er tatt inn i forslag til ny europeisk PMB-standard (2021). For umodifisert bitumen benyttes temperaturen for  $G^*= 15$  kPa i stedet for mykningspunkt i tyske bindemiddelspesifikasjoner.

På grunnlag av  $G^*$ -verdiene i 40-0 °C målingene, beregnes temperaturer der  $G^*$  er 5 MPa og 50 MPa. Temperaturen der  $G^*= 5$  MPa etter RTFOT-herding og PAV-aldring, kreves dokumentert i utkast til ny europeisk PMB-standard (2021).

Temperaturen der  $G^*= 50$  MPa gir informasjon om bindemiddelstivheten i området -10 °C til +10°C.

#### DSR Multiple Stress Creep Recovery Test (MSCRT)

Ble utført ved 50 °C (70/100) og 60 °C (PMB) på ferske og aldrede prøveblandinger. Prøvens deformasjonsmotstand bestemmes ved å gjennomføre 10 krypsykluser ved tre spenningsnivåer. I en krypsyklus belastes prøven i ett sekund og avlastes i 9 sekunder.

Deformasjonen under belastning vil under avlastningstrinnet gå tilbake avhengig av hvor elastisk prøven er. Etter ti sykluser beregner reometeret den gjenværende tøyningen (middelerverdi for ti sykluser). Tøyning delt på skjærspenning gir verdien  $J_{nr}$  (1/kPa).  $J_{nr}$  står for «non-recoverable creep-compliance». På norsk kan dette oversettes til: «ikke-gjenvinnbar krypføyelighet». I tillegg bestemmes elastisk tilbakegang i prosent (R%).

Jo lavere  $J_{nr}$ -verdi, jo lavere er gjenværende tøyning (indikerer lav permanent deformasjon). I amerikansk og europeisk PMB-standard (høringsutgave) bestemmes  $J_{nr}$ -verdien ved 3,2 kPa skjærspenning på RTFOT-herdet bindemiddel. Metoden er laget spesielt for PMB, men kan også brukes for vanlig bitumen.

For umodifisert bitumen er det bindemiddelstivheten som bidrar til lav  $J_{nr}$ -verdi. For polymermodifisert bitumen bidrar elastisk tilbakegang i stor grad til lav  $J_{nr}$ -verdi.

#### Dynamisk vedheft med rulleflaskemetoden

Prosedyren i metode NS-EN 12697-11 ble fulgt. Tabell 6 og 7 gir en oversikt over prøveblandingene. Steinmateriale til forsøkene var 8-11,2 mm Ottersbo, som ble varmet opp til samme temperatur som bindemiddelet i prøveblandingen.

Prøven med 70/100 tilsatt 0,3 % amin ble brukt som referanse til rulleflaskeforsøkene. PMB med 0 %, 0,3 % og 0,5 % amin ble også undersøkt. Prøving av tilsatt ArOptimal i 2021 ble bare utført på 70/100 bitumen.

Tabell 6. Prøveblandinger til rulleflaskeprøving med bitumen 70/100.

Blandinger med 70/100 (blandetemperatur)	Uten amin	0,3 % amin	0,5 % amin
70/100 (160 °C)	x	x (referanse)	x
70/100 + 0,5 % Cecabase RT 945 (130 °C)	x	x	x
70/100 + 0,5 % Cecabase BIO 10 (130 °C)	x	x	x
70/100 + 0,4 % Zycotherm (130 °C)	x	x	x
70/100 + 0,5 % Rediset LQ (130 °C)	x	x	x
70/100 + 1,5 % Sasobit Redux (130 °C)	x	x	x
70/100 + 1,5 % Sasobit (130 °C)	x	x	x
70/100 + 0,5 % ArOptimal (130 °C)	x	x	-

Tabell 7. Prøveblandinger til rulleflaskeprøving. Blandetemperatur i parentes.

Blandinger med PMB 40/100-75	Uten amin	0,3 % amin	0,5 % amin
PMB (180 °C)	x	x	x
PMB + 0,5 % Cecabase RT 945 (150 °C)	x	x	x
PMB + 0,5 % Cecabase BIO 10 (150 °C)	x	x	x
PMB + 0,4 % Zycotherm (150 °C)	x	x	x
PMB + 0,5 % Rediset LQ (150 °C)	x	x	x
PMB + 1,5 % Sasobit Redux (150 °C)	x	x	x
PMB + 1,5 % Sasobit (150 °C)	x	x	x

## 4. Laboratorieanalyser – Resultater

### 4.1. Dynamisk viskositet

Tabell 8 viser analyseverdier på blandinger av 70/100 bitumen og PMB uten og med tilsetninger. Viskositetskurver for blandinger med 70/100 bitumen og med PMB 40/100-75 er vist i figur 11 og 12.

I figurene er teoretisk blande- og utleggingstemperatur angitt, henholdsvis 200 mPas og 800 mPas. Disse verdiene benyttes for bitumen og er ikke nødvendigvis riktige for PMB.

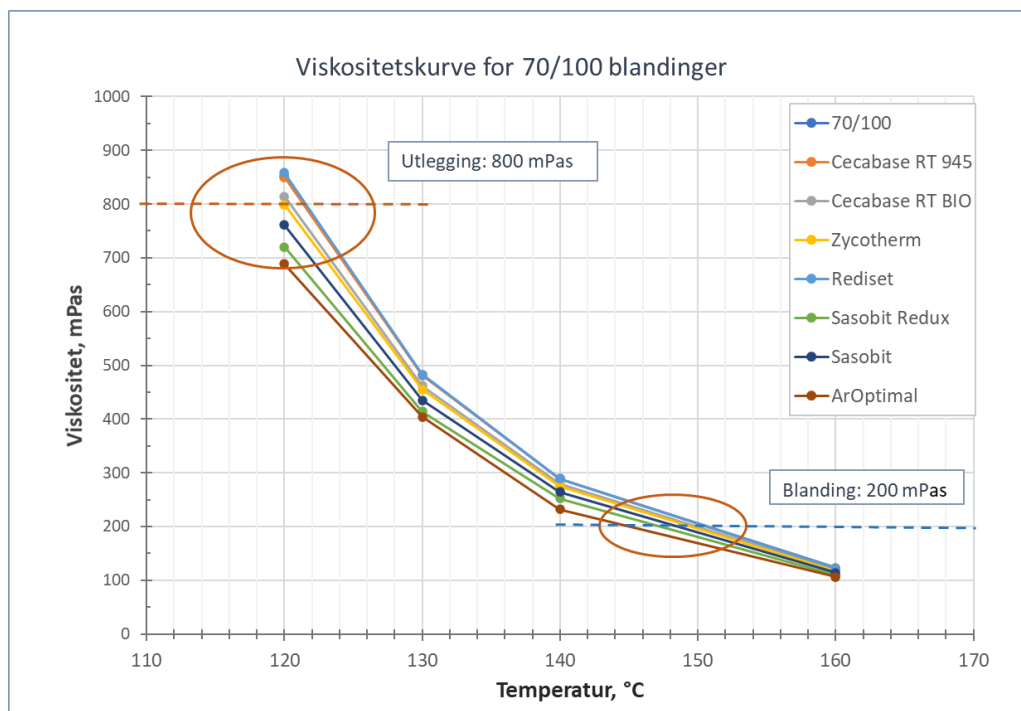
Viskositetskurvene til 70/100-blandingene viser at for *blandetemperatur* lå seks av produktblandingene mindre enn 3 °C fra referansen. Blandingen med Sasobit Redux hadde 4 °C, og blandingen med ArOptimal hadde 6 °C lavere blandetemperatur enn referansen.

For *utleggingstemperatur* lå seks produktblandingene mindre enn 3 °C fra referansen. Blandingen med Sasobit Redux hadde 4 °C, og blandingen med ArOptimal hadde 5 °C lavere utleggingstemperatur enn referansen.

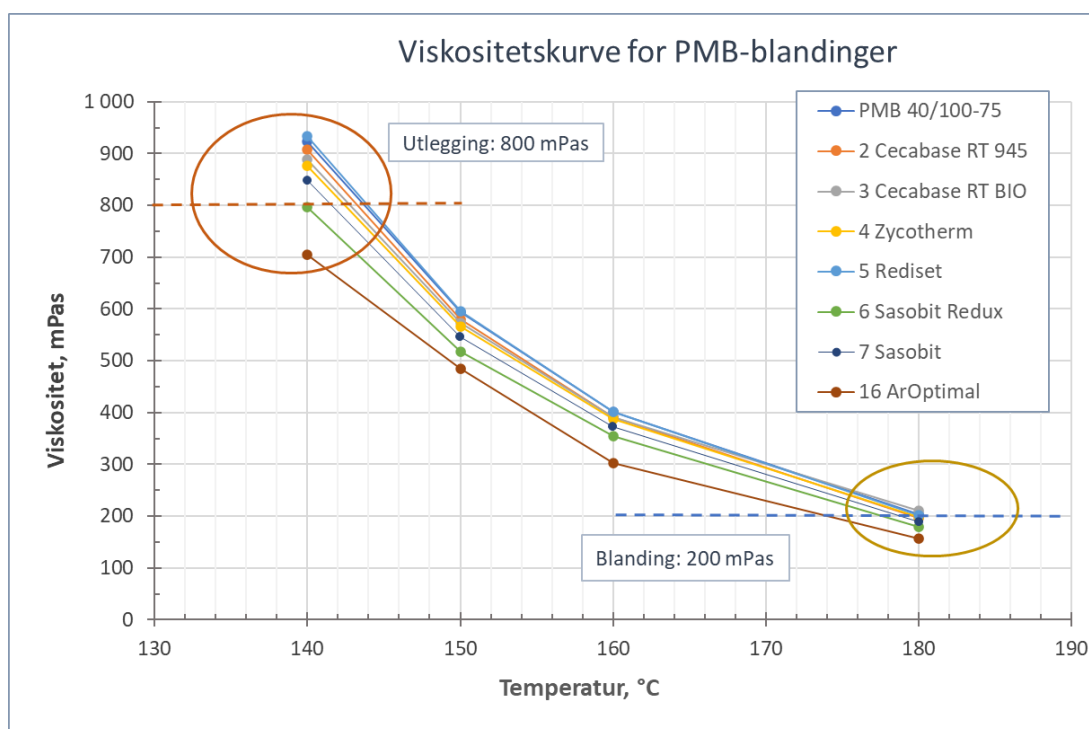
Tabell 8. Viskositet ved aktuelle blandetemperaturer.

Blandinger av 70/100	Rotasjonsviskositet, mPa·s			
	120°C	130°C	140°C	160°C
70/100 ref	852	483	289	123
+ 0,5 % Cecabase RT 945	850	481	288	122
+ 0,5 % Cecabase RT BIO	814	462	279	119
+ 0,4 % Zycotherm	799	455	275	118
+ 0,5 % Rediset	858	483	289	122
+ 1,5 % Sasobit Redux	720	414	252	109
+ 0,5 % Sasobit	761	435	264	114
+ 0,5 % ArOptimal	689	404	232	106
Blandinger av PMB	Rotasjonsviskositet, mPa·s			
	140°C	150°C	160°C	180°C
PMB 40/100-75 ref	924	594	402	204
+ 0,5 % Cecabase RT 945	908	579	390	196
+ 0,5 % Cecabase RT BIO	888	573	391	210
+ 0,4 % Zycotherm	877	566	387	198
+ 0,5 % Rediset	934	596	401	202
+ 1,5 % Sasobit Redux	797	518	354	180
+ 0,5 % Sasobit	848	546	373	189
+ 0,5 % ArOptimal	704	485	303	156

*Kommentar: ArOptimal-blandingene hadde lavere viskositet enn ventet*



Figur 11. Viskositetskurver for blandinger av 70/100 bitumen



Figur 12. Viskositetskurver for blandinger av PMB 40/100-75

Viskositetskurvene til PMB-blandingene viser at for *blandetemperatur* lå sju av produktblandingene mindre enn 2,5 °C fra referansen. ArOptimal-blandingene hadde 6 °C lavere blandetemperatur enn referansen.

For teoretisk *utleggingstemperatur* lå seks produktblandinger mindre enn 3 °C fra referansen. Blandingen med Sasobit Redux hadde 4 °C lavere, og blandingen med ArOptimal 8 °C lavere utleggingstemperatur enn referansen.

PMB-er er mer skjærfølsom enn umodifisert bitumen. Optimal blandeviskositet for PMB kan påvirkes av blandeintensiteten i asfaltfabrikkens blander.

Viskositetsmålingene viser at 20-30 °C temperaturreduksjon ikke kan forklares med redusert viskositet aleine. Tilsetningen som gir laveste utleggingstemperatur, får bare 4 °C lavere teoretisk blandetemperatur enn referansen, og 5-8 °C lavere teoretisk utleggingstemperatur enn referansen.

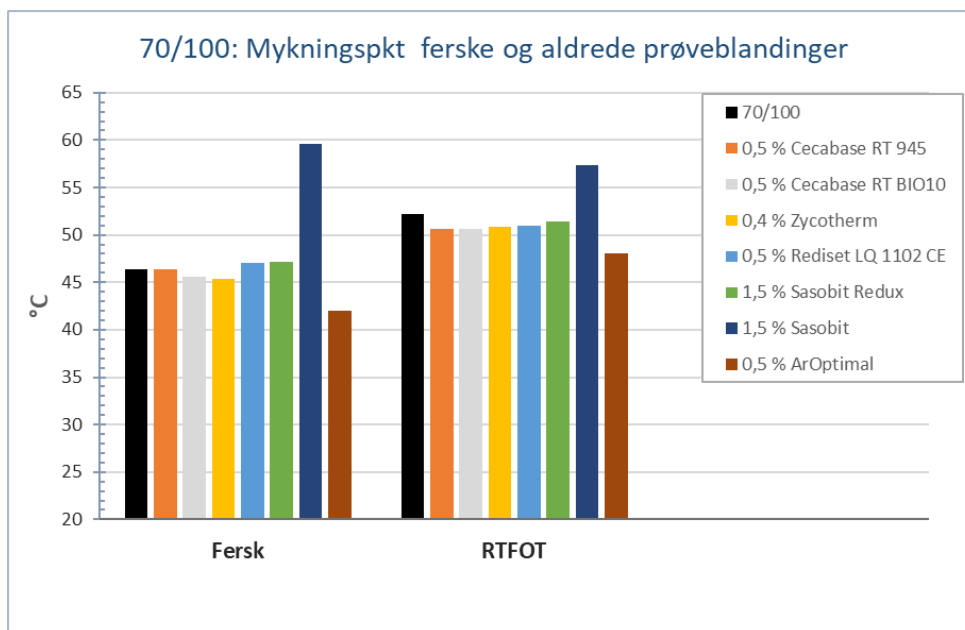
#### 4.2. Mykningspunkt

Mykningspunkt for ferske og RTFOT korttidsaldrede prøveblandinger er vist i tabell 9 og i figur 13.

Tabell 9 Mykningspunkt til ferske og RTFOT-aldrede prøveblandinger

Tilsetning	70/100		PMB 40/100-75	
	MP fersk, °C	MP RTFOT, °C	MP fersk, °C	MP RTFOT, °C
70/100 (Ref)	46,4	52,2	80,0	77,6
Cecabase RT 945	46,4	50,6	80,0	75,6
Cecabase RT BIO	45,6	50,6	85,0	82,0
Zycotherm	45,4	50,8	85,0	78,6
Rediset	47,0	51,0	86,0	77,8
Sasobit Redux	47,2	51,4	85,5	77,2
Sasobit	59,6	57,4	92,0	86,5
ArOptimal	42,0	48,0	85,5	79,0

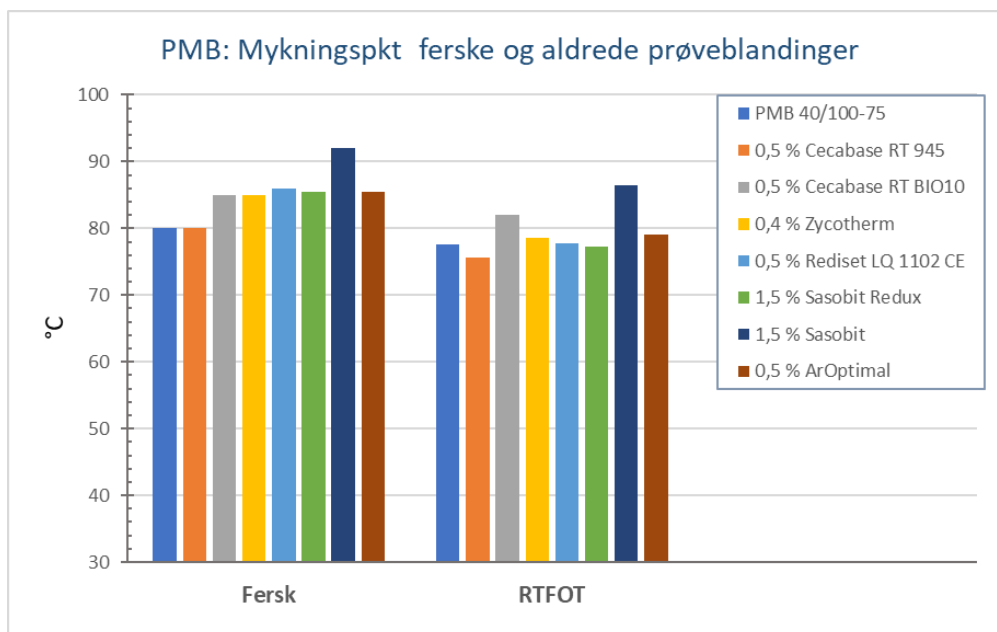




Figur 13 Mykningspunkt til ferske og korttidsaldrede 70/100-blandinger

For ferske 70/100 blandinger ga Sasobit en markert økning (13 °C), og etter RTFOT en økning på 4 °C, sammenlignet med referansen. ArOptimal får noe lavere mykningspunkt (-4,4 °C) og etter RTFOT (-4,2 °C) sammenlignet med referansen.

Figur 14 viser mykningspunkt for ferske og RTFOT-herdede prøveblandinger med PMB.



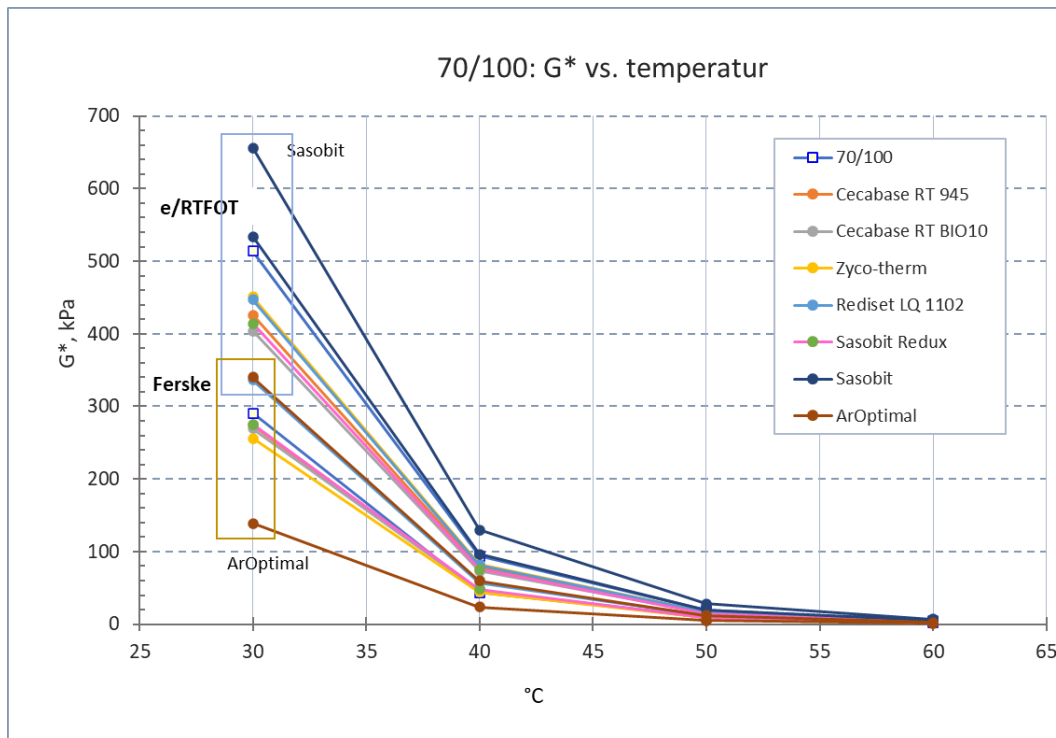
Figur 14 Mykningspunkt til PMB 40/100-75 blandinger

For PMB blandingene ga Sasobit en markert økning på fersk blanding (12 °C) og etter RTFOT (6,5 °C). De øvrige blandingene hadde mykningspunkt på samme nivå etter RTFOT som referansen (innenfor metodens usikkerhet).

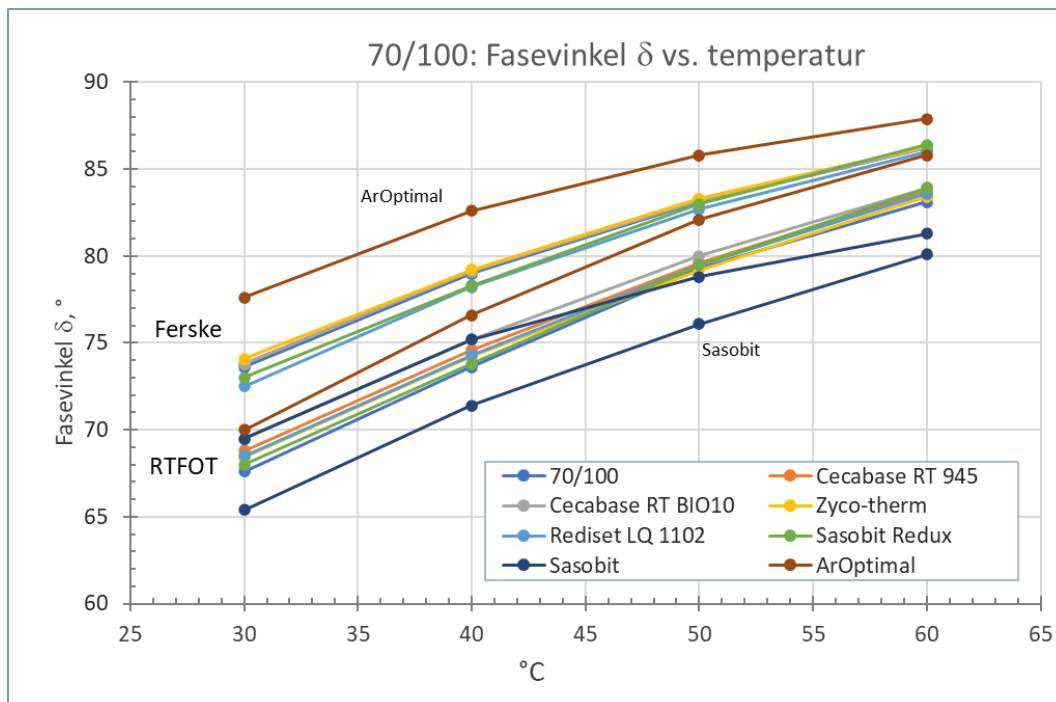
### 4.3. DSR kompleksmodul ( $G^*$ ) og fasevinkel ( $\delta$ )

Resultatene fra DSR-målingene av kompleksmodul ( $G^*$ ) og fasevinkel ( $\delta$ ) er vist i vedlegg 8.

Figur 15 og 16 viser temperaturkurver for 70/100-blandingene.



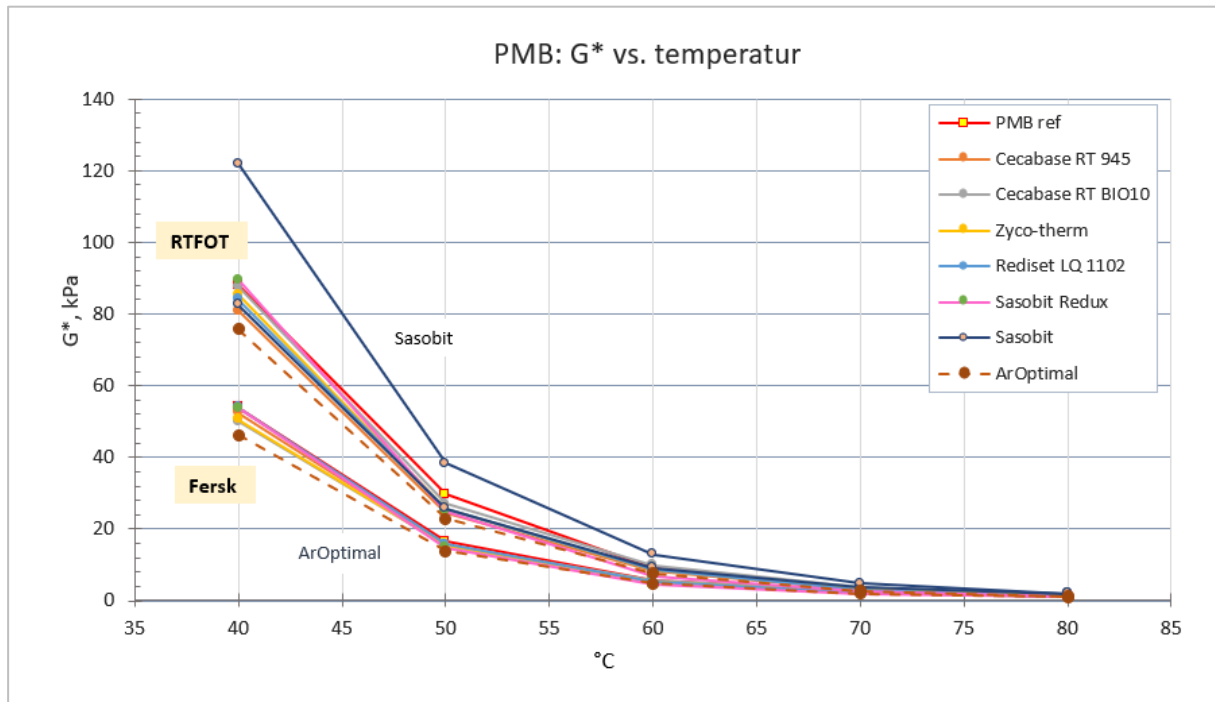
Figur 15 kompleksmodul ( $G^*$ ) for 70/100-blandingene



Figur 16 Fasevinkel i området 40 °C til 80 °C for 70/100-blandingene (ferske og RTFOT)

For 70/100-blandingene (ferske og etter RTFOT) hadde Sasobit de høyeste verdiene for kompleksmodul ( $G^*$ ), mens ArOptimal hadde de laveste. Fasevinkelverdiene i figur 16 viser at ArOptimal blandingen har minst indre struktur (høy fasevinkel), og at Sasobit-blandingene har mest indre struktur (lav fasevinkel).

Figur 17 og 18 viser temperaturkurver for PMB-blandingene.

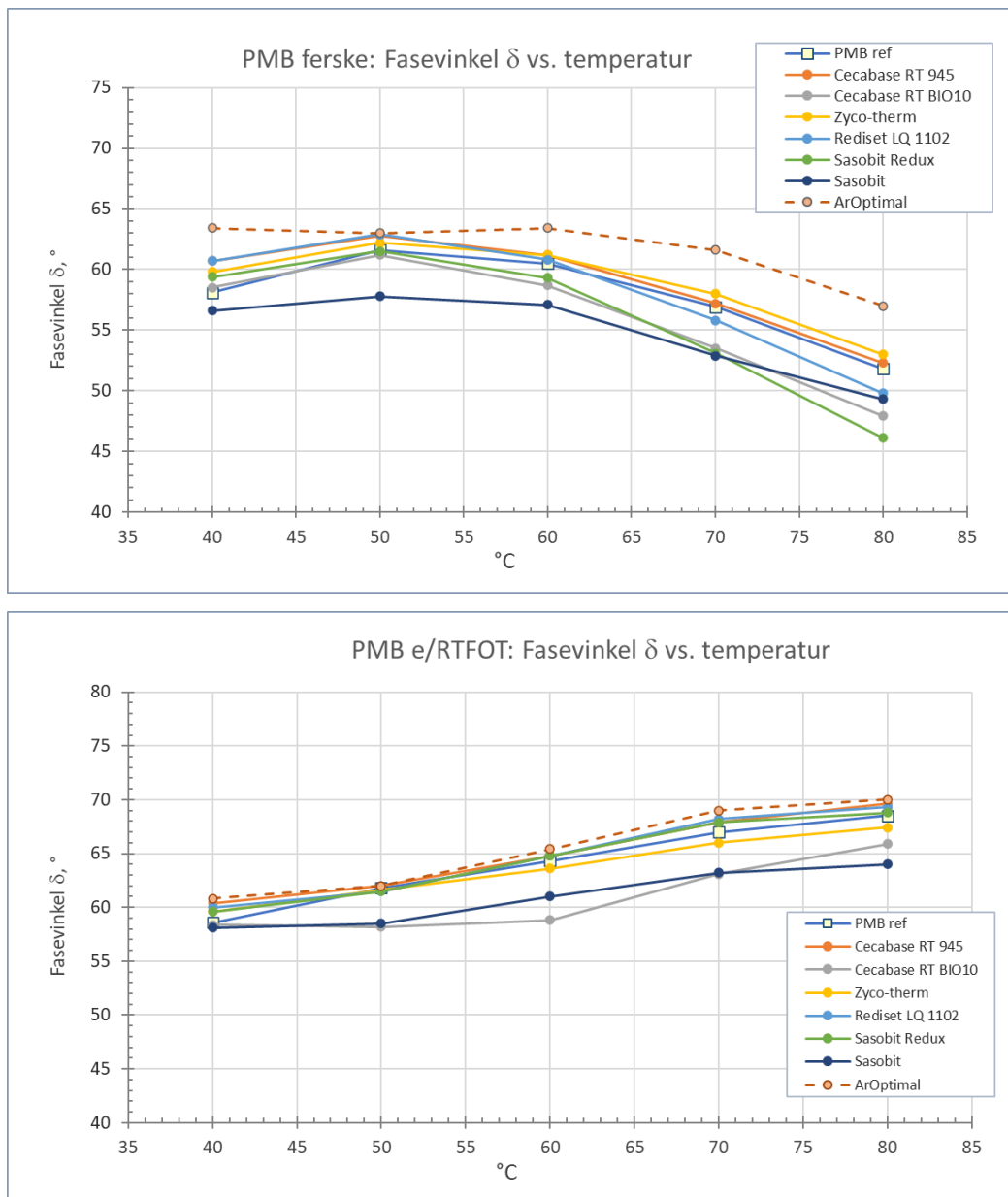


Figur 17 kompleksmodul ( $G^*$ ) for PMB-blandingene (ferske og kortidsaldrede)

Også for PMB-blandingene hadde Sasobit høyest verdi for kompleksmodul  $G^*$  (ca. 60 % høyere enn referansen). ArOptimal hadde lavest verdi (ca. 50 % lavere enn referanse). Etter RTFOT var det samme rangering med noe mindre forskjell fra referanse.

Fasevinkelverdiene for PMB-blandingene i figur 18 viser at ArOptimal blandingen har minst struktur, og at Sasobit- og Cecabase RT Bio10 har mest struktur.

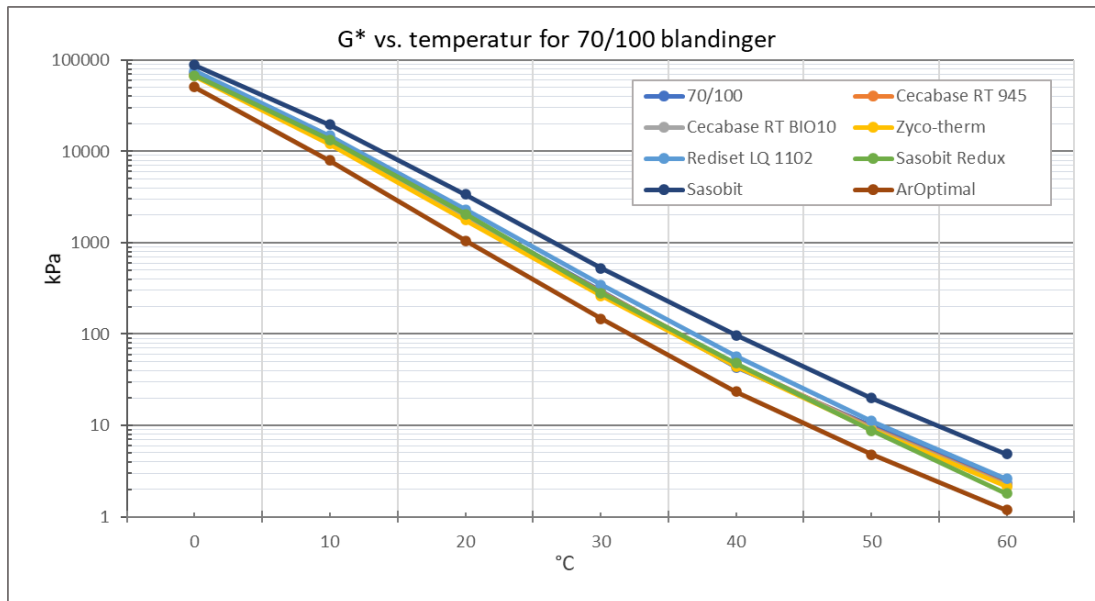
Fasevinkelen øker for alle blandingene etter RTFOT. Dette indikerer at polymerstrukturen (nettverket) har blitt svakere. ArOptimal skiller seg tydelig ut med høyest fasevinkel.



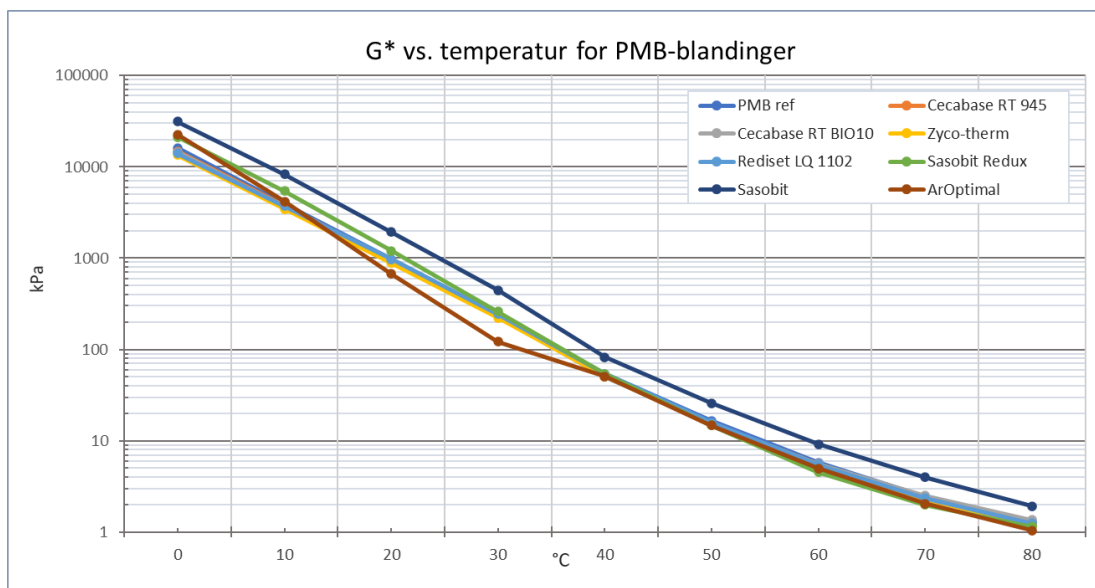
Figur 18 Fasevinkel ( $\delta$ ) for PMB-blandingene i området 40°C til 80 °C

#### 4.4. DSR $G^*$ temperaturfølsomhet og MSCRT Jnr og R%

Figur 19 og 20 viser temperaturkurver for  $G^*$  til ferske blandinger av 70/100 og PMB i logaritmisk skala. Også her ser man forskjell mellom myke og stive blandinger. For noen PMB-blandinger er det en liten knekk i kurven mellom 30 og 40 °C. Dette kan skyldes at kurven for 8 mm prøve og kurven for 25 mm prøve ikke treffer hverandre sømløst.



Figur 19 kompleksmodul ( $G^*$ ) for 70/100 blandinger

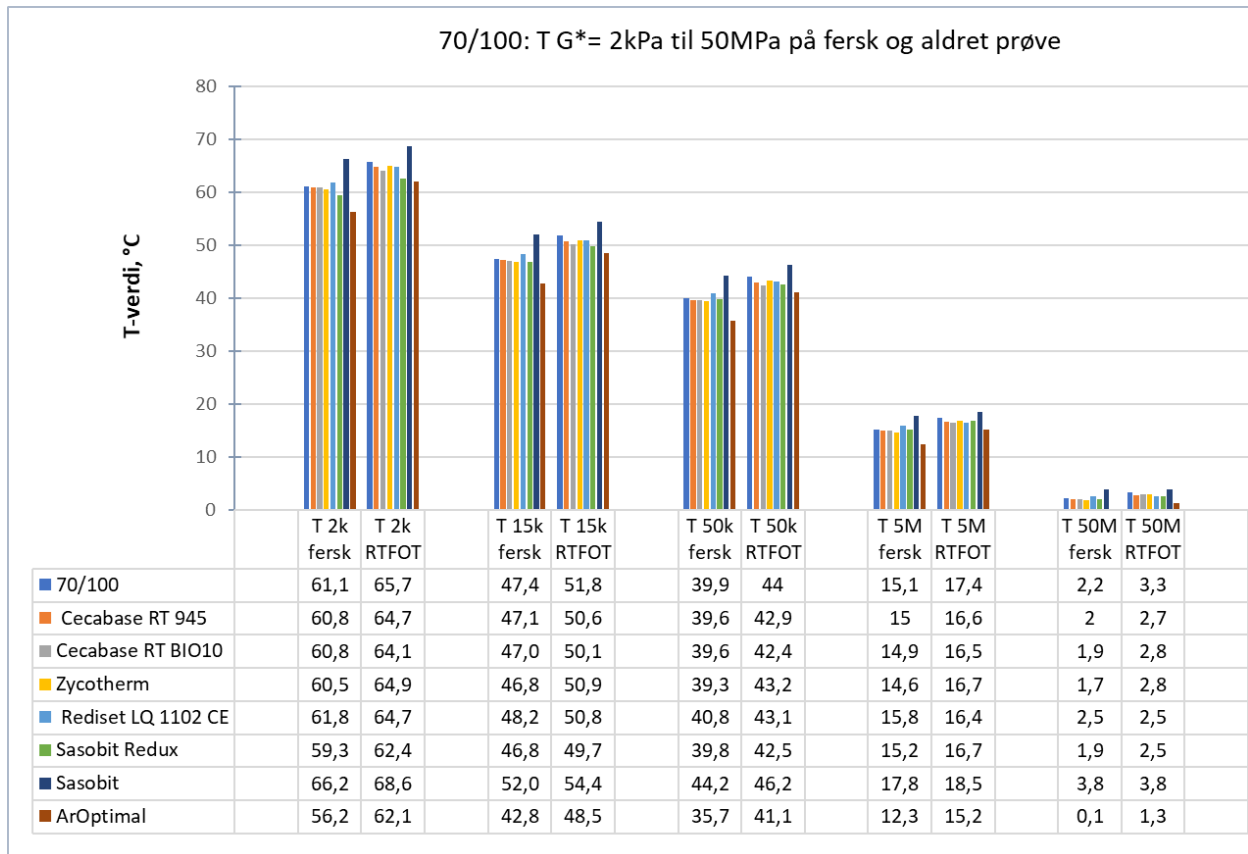


Figur 20 kompleksmodul ( $G^*$ ) for PMB blandinger

I figur 21 og 22 vises beregnede temperaturer for  $G^*$ -verdi: 2 kPa, 15 kPa, 5 MPa og 50 MPa. I den amerikanske PG-spesifikasjonen tilsvarer temperaturen for  $G^*/\sin \delta = 2,2$  kPa bindemiddelets høytemperaturklasse (prøve etter RTFOT).

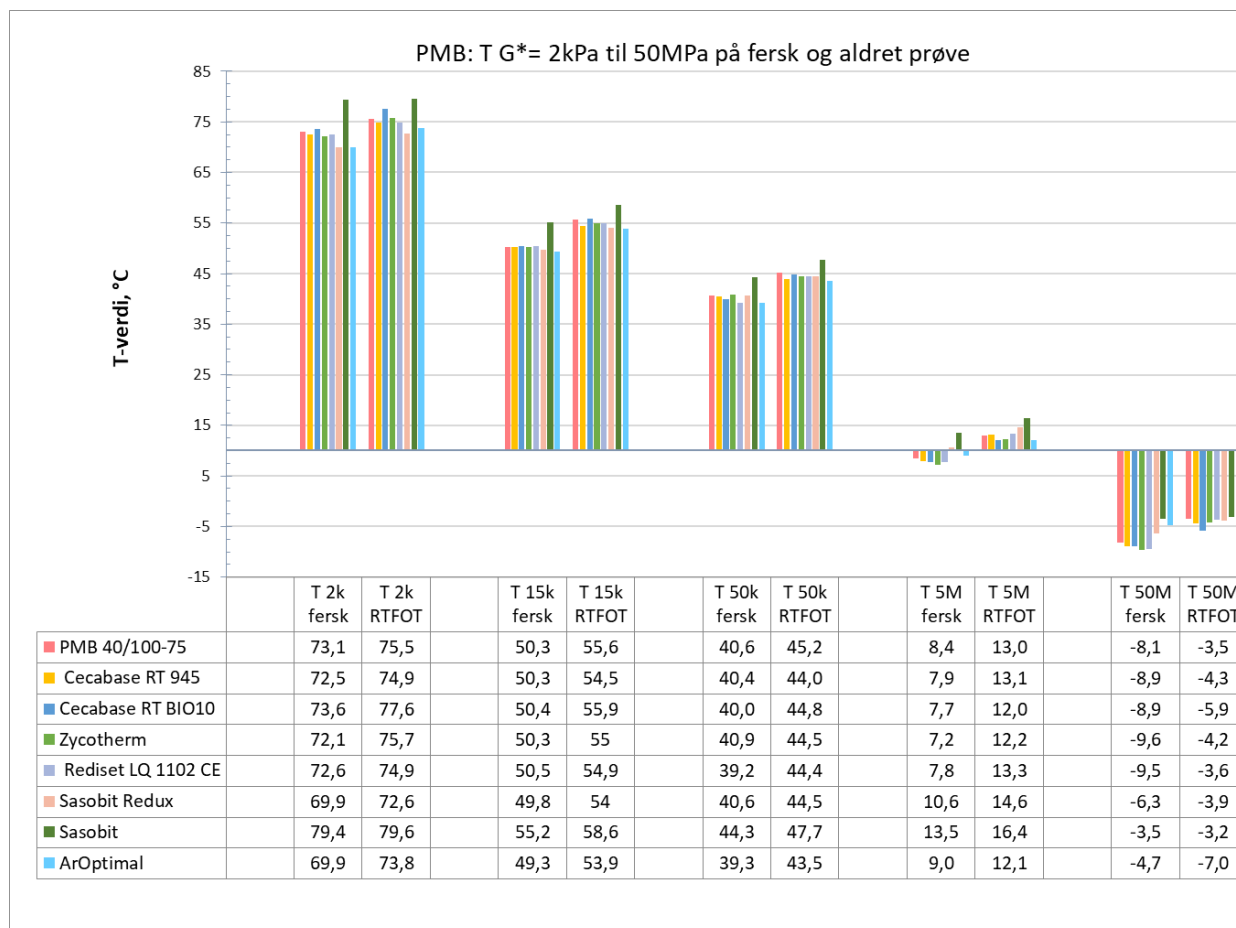
Temperatur for  $G^* = 15$  kPa samsvarer svært godt med mykningspunkt for umodifiserte bitumen. Differansen  $MP - T_{15kPa}$ , er mindre enn 1,5 °C på alle 70/100-blandingene unntatt for Sasobit. Sasobit virker modifierende og bidrar til økt mykningspunkt.

Tilsetningsstoffer til lavtemperaturasfalt - Laboratorieundersøkelser



Figur 21 Temperaturfølsomhet. Beregnet fra G\*-temperaturkurven til 70/100

Temperatur for G\* = 50 MPa indikerer lavtemperaturegenskaper ned til ca. -10 °C. DSR-måling med 8 mm plate ved 0 °C og lavere er vanskelig, og verdiene kan være usikre.



Figur 22 Temperaturfølsomhet. Beregnet fra G\*-temperaturkurven for PMB 40/100-75.

Resultatene viser at PMB 40/100-75 er mykere enn 70/100 ved temperaturer under 15 °C.

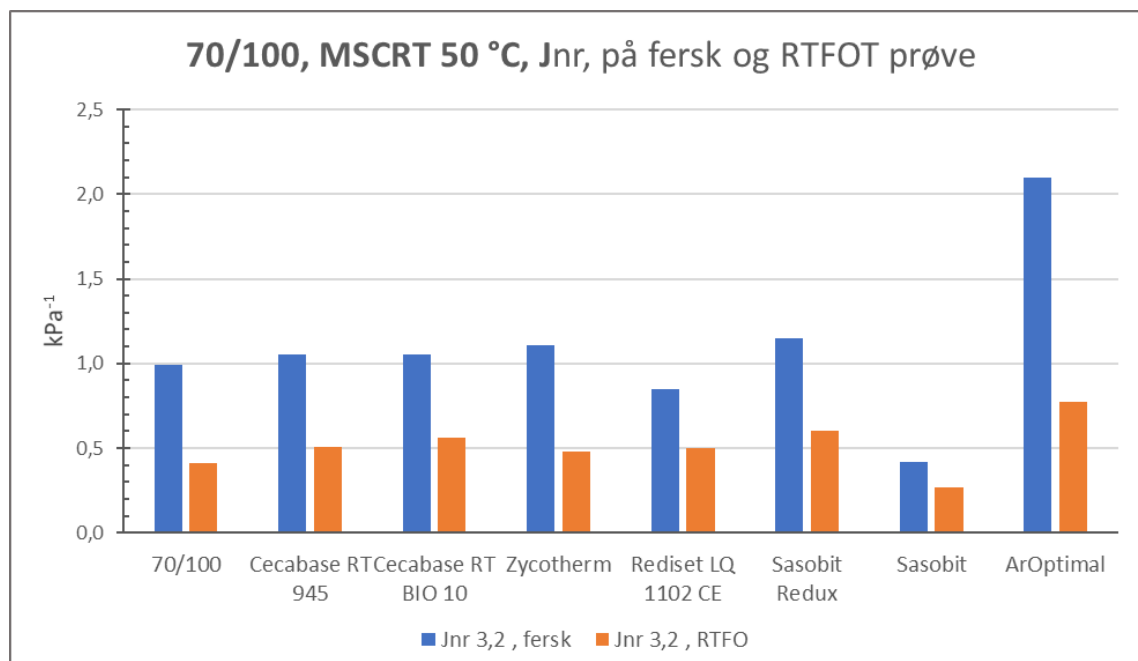
#### 4.5. DSR MSCRT Jnr og R%

Det ble utført MCSRT-prøving på både ferske og RTFOT-aldrede prøveblandinger for å se i hvilken grad tilsetningen virker modifierende både på 70/100 og på PMB 40/100-75.

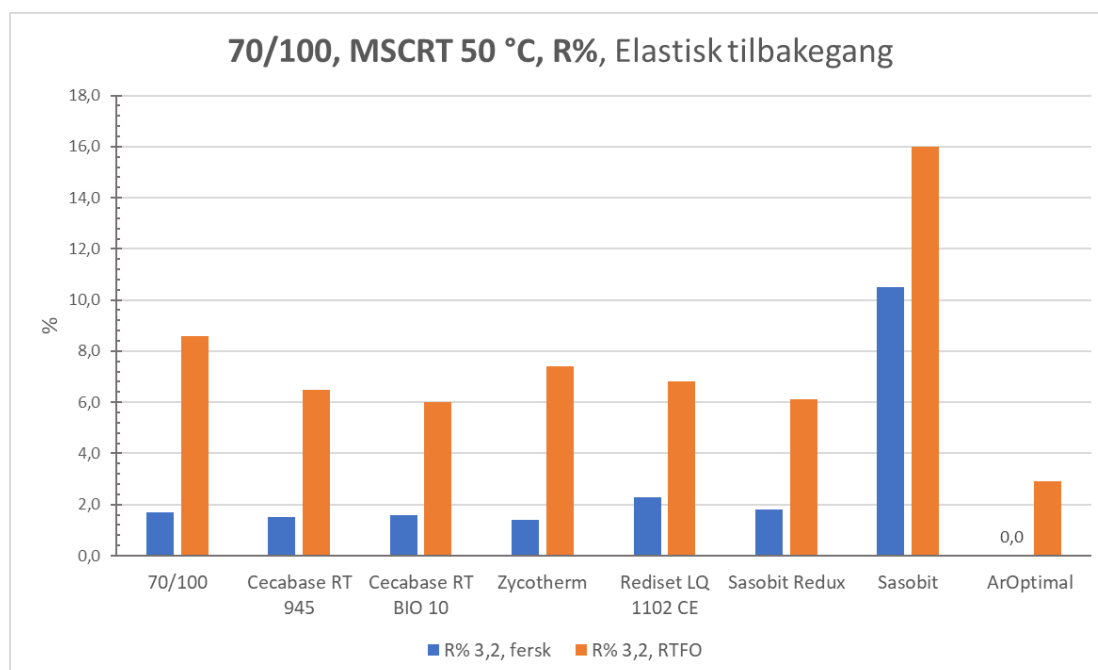
Resultater for MCSRT-prøvingen er vist i vedlegg 8. Resultater for Jnr og R% for 70/100 er vist i figur 23-24.

Også her skiller Sasobit og ArOptimal seg ut fra de andre blandingene. Sasobit har lavest Jnr-verdi og ArOptimal har høyest Jnr-verdi.

Spenningsfølsomheten (Jnr-diff) for 70/100-blandingene var høyest for Sasobit-blandingene. (fersk: 33 %, RTFOT: 25 %).



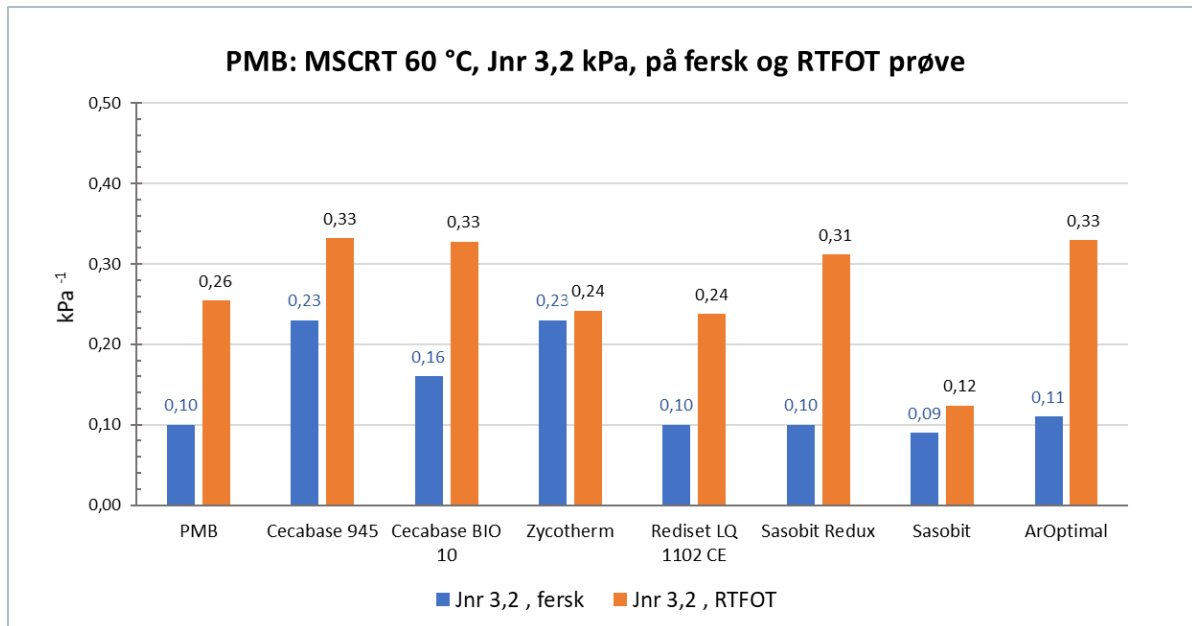
Figur 23. MSCRT-prøving på 70/100. Ikke-gjenvinnbar krypføyelighet (Jnr). Ferske prøver og prøver etter RTFOT



Figur 24. MSCRT på 70/100. Elastisk tilbakegang (R%). Ferske prøver og prøver etter RTFOT

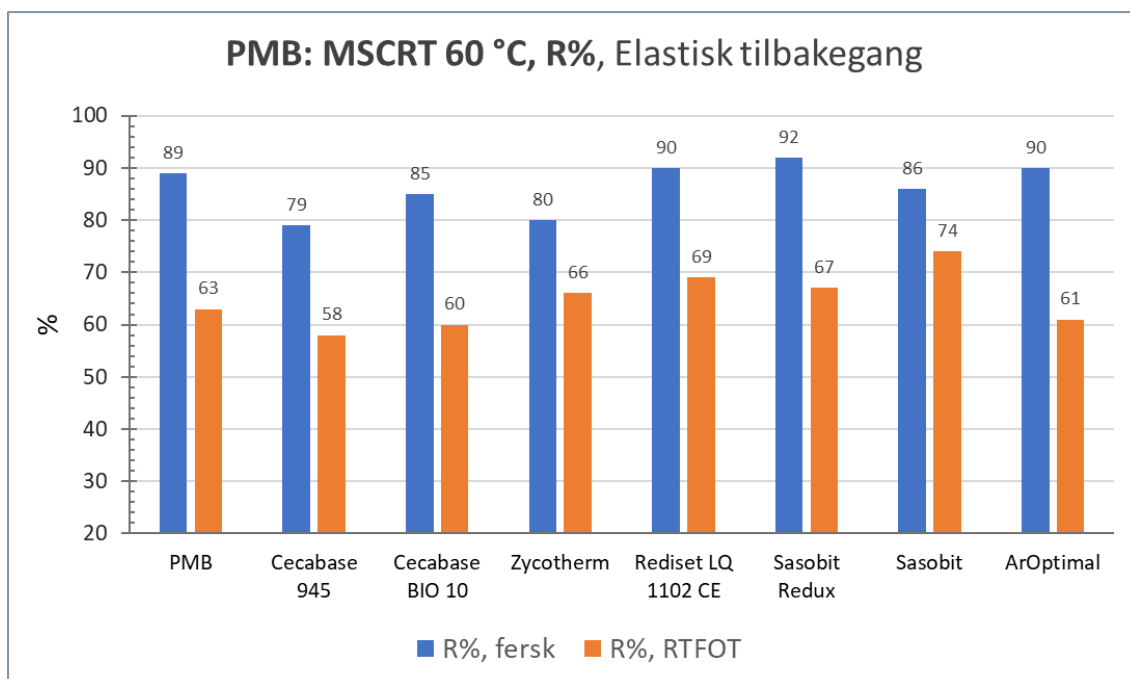
Resultater for Jnr og R% for PMB-blandingene er vist i figur 25 og 26. Figur 27 viser verdier for spenningsfølsomhet (Jnr-diff). Det er verdiene etter RTFOT det stilles krav til i den amerikanske PMB-standarden.



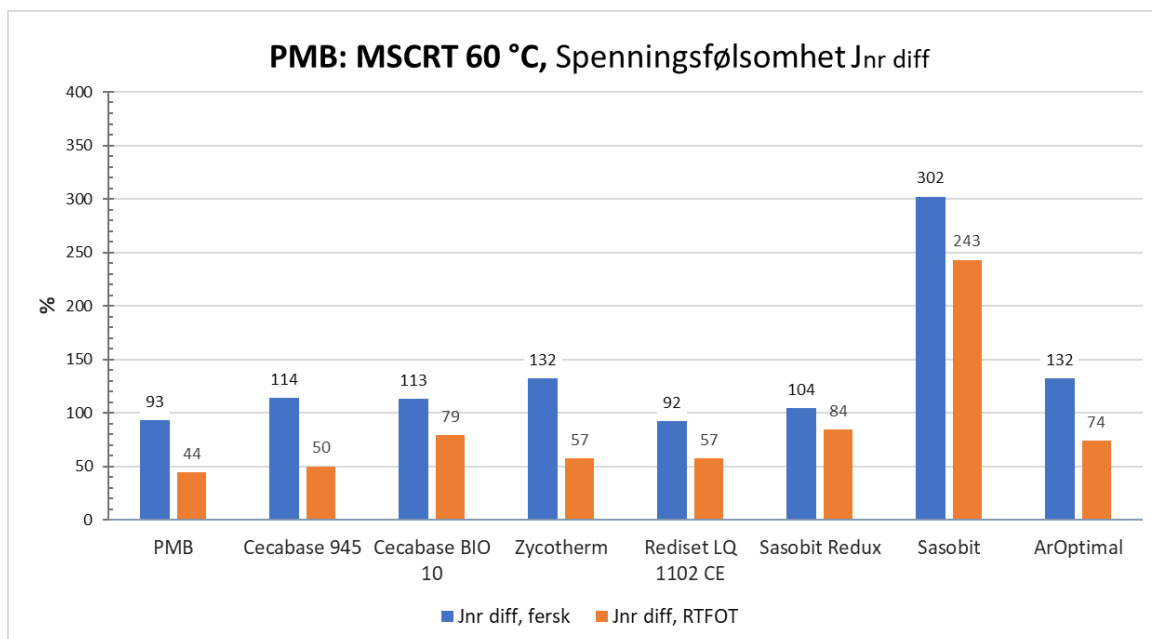


Figur 25. MSCRT-prøving på PMB. Ikke-gjenvinnbar krypføyelighet (Jnr). Ferske prøver og prøver etter RTFOT

Sasobit skiller seg klart ut fra de andre blandingene med laveste Jnr-verdi.



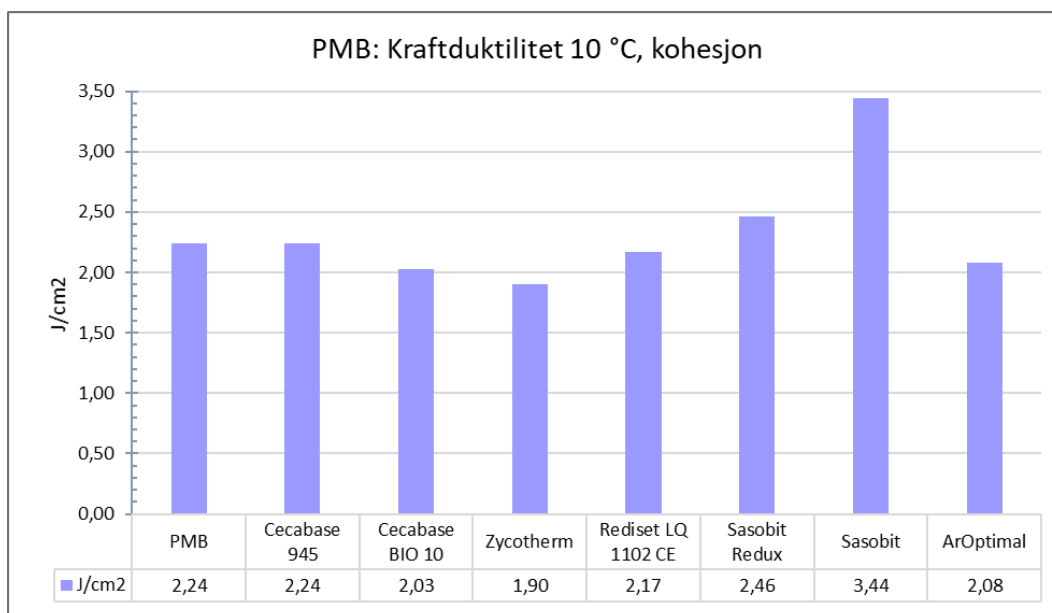
Figur 26. MSCRT på PMB. Elastisk tilbakegang (R%). Ferske prøver og prøver etter RTFOT



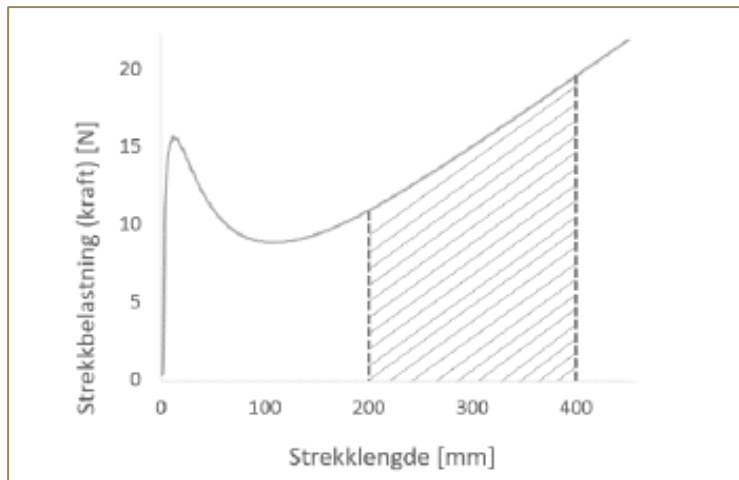
Figur 27. MSCRT på PMB. Spenningsfølsomhet (J<sub>nr</sub>-diff) for PMB-blandingene

#### 4.6. PMB: Kohesjon med kraftduktilitet

Figur 28 viser kohesjon ved prøving av kraftduktilitet på ferske blandinger. Figur 29 viser hvordan kohesjon beregnes.



Figur 28. Kraftduktilitet på ferske blandinger. Kohesjon ved 10 °C

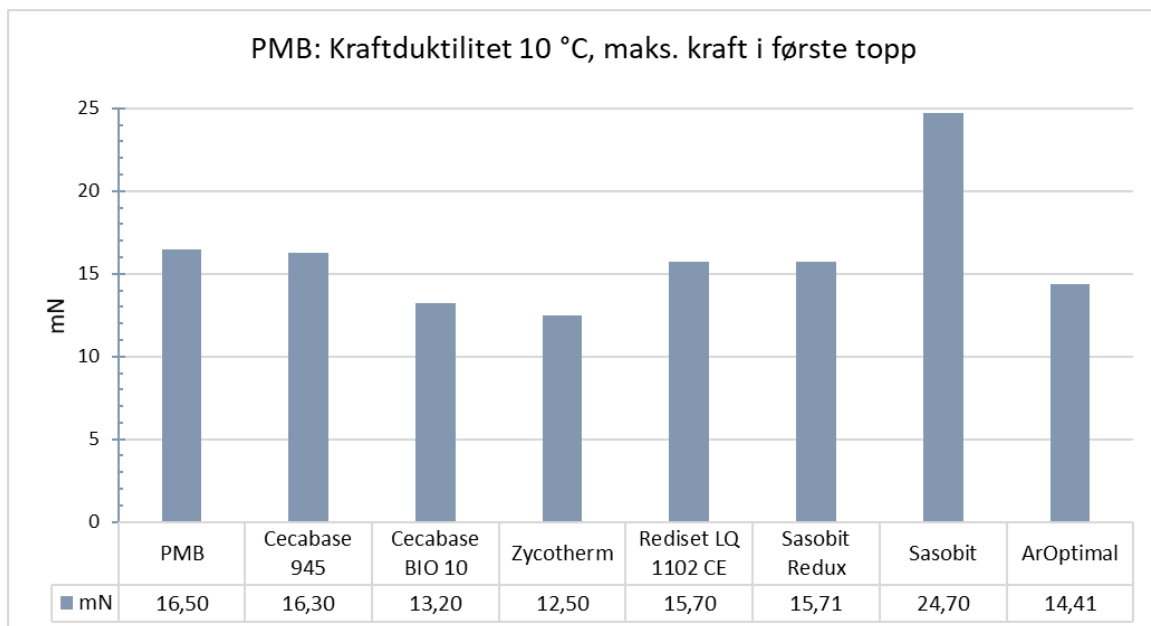


Deformasjonsenergien,  $E_{0,2-0,4}$ , gitt i  $\text{Joule}/\text{cm}^2$ , er integralet av kraftkurven fra 200 mm til 400 mm strekk lengde.

Maksimalkrafta (N) for begynnende tøyning uttrykker prøvens stivhet.

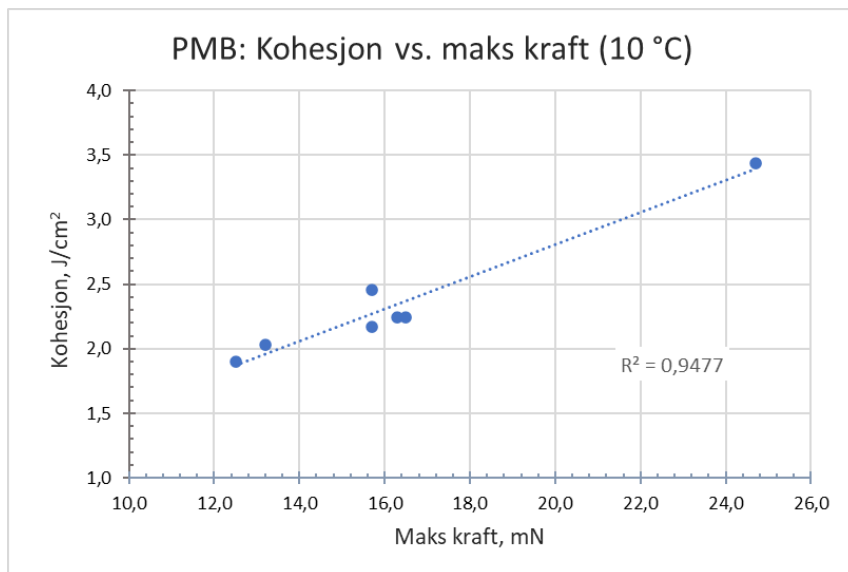
Figur 29. Kraftduktilitet, beregning av kohesjon (deformasjonsenergi)

I prøvingen bestemmes også maksimalkraft i begynnelsen av tøyningen, se figur 30. Maksimalkraft uttrykker prøvens stivhet.



Figur 30. Kraftduktilitet på ferske blandinger. Maksimalkraft i begynnelsen av tøyningen

I målingene hadde Sasobit høyest kohesjon og maksimalkraft. Målingene viser god korrelasjon mellom kohesjon og maksimalkraft, se figur 31.

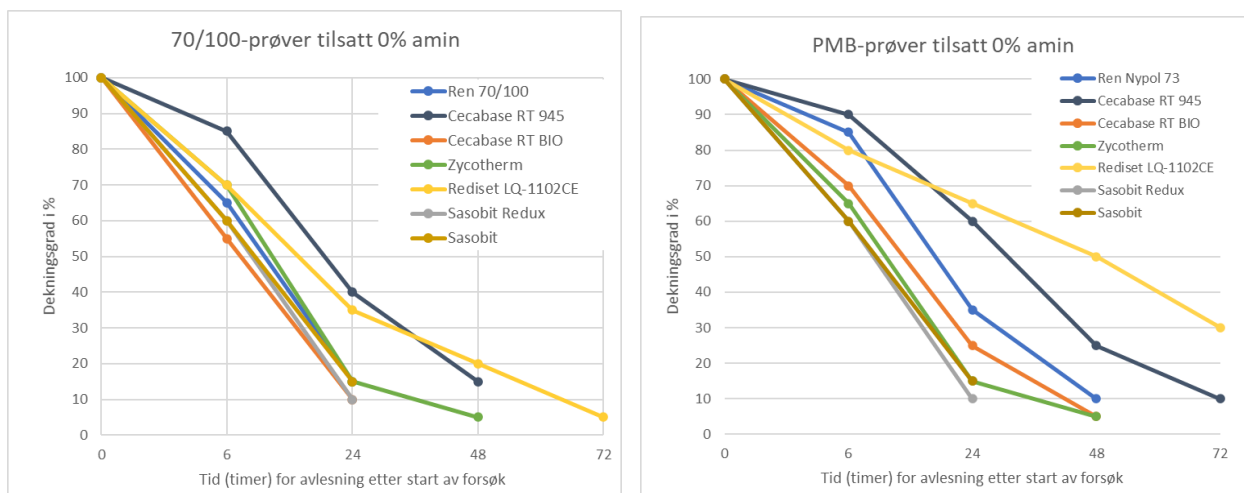


Figur 31. Korrelasjon mellom kohesjon og maksimalkraft

#### 4.7. Vedheft med rulleflaskemetoden

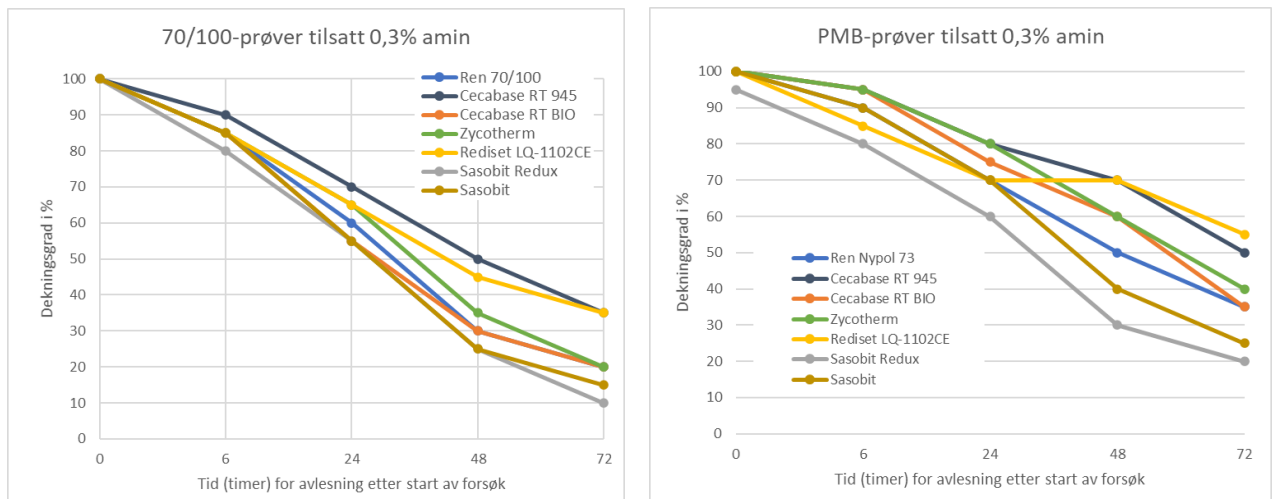
Resultater fra rulleflaskeprøving er vist i figurene 32 - 34. Prøving uten amintilsetning viser at Rediset og Cecabase RT945 delvis fungerer som vedheftningsmiddel, men ikke tilstrekkelig til å utelate amin. Tilsetning av 0,3 % amin synes å være tilstrekkelig til å sikre god vedheft.

ArOptimal er eneste LTA-tilsetning som også fungerer som vedheftningsmiddel (0,5 % ArOptimal i 70/100 uten tilsatt amin), se figur 35.

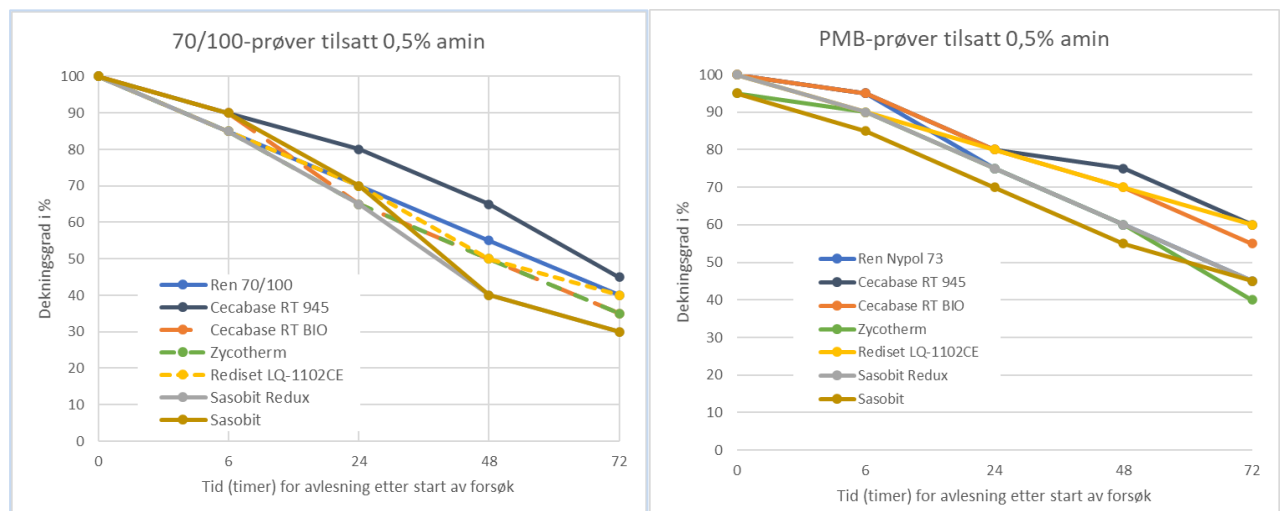


Figur 32. Rulleflaskeprøving. 70/100- og PMB prøver uten amin

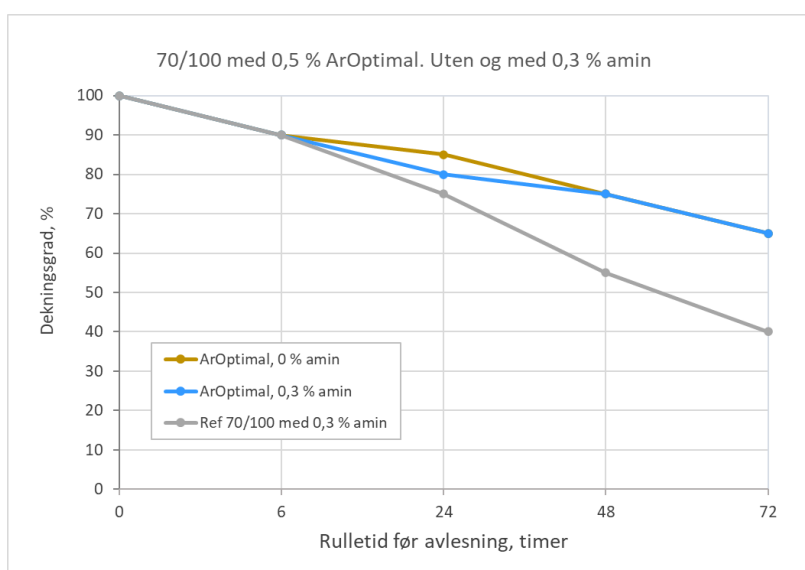
## Tilsetningsstoffer til lavtemperatursfalt - Laboratorieundersøkelser



Figur 33. Rulleflaskeprøving. Prøver med 0,3 % amintilsetning



Figur 34. Rulleflaskeprøving. Prøver med 0,5 % amintilsetning



Figur 35. Rulleflaskeprøving. 70/100 med ArOptimal med og uten amin

## 5. Konklusjoner og videre arbeid

I denne undersøkelsen ble det utført omfattende bindemiddelprøving samt prøving av vedheft på blandinger av bindemiddel og sju LTA-tilsetninger. Alle produktene markedsføres som LTA-tilsetning.

Målsetningen var om mulig å forklare hvordan tilsetningene fungerer og om de har positiv eller negativ effekt på bindemiddelet, på fysiske egenskaper eller på vedheftning.

En innledende litteraturstudie viser at det anbefales å utføre blandeforsøk på asfalt med normal og redusert temperatur, og undersøke blandingsevne og kompakteringsenergi. Målt densitet, hulrom og stabilitet til asfaltprøver, kan dokumentere at LTA-tilsetningen fungerer ved lav blandetemperatur. Gyratorisk kompaktering anbefales til slike undersøkelser.

Bindemiddeltesting kan skille mellom «ekte» LTA-kjemikalier og andre produkter, som tillater lavere blandetemperatur fordi bindemiddelet er gjort betraktelig mykere. En ønsker ikke produkter som gjør asfalten mykere, eller som fordamper fra blandingen – og bidrar til dårlig arbeidsmiljø.

Det er også ønskelig å vite om produktet modifierer bindemiddelet, f.eks. gjør det stivere.

Litteraturstudien viser at smørende effekt av tilsetninger kan påvises med tribologisk testing (metoder til å undersøke smøreoljer mv.). Slike metoder var ikke tilgjengelig i denne studien.

Våre viskositetsmålinger indikerer ikke at 20-30 °C temperaturreduksjon skulle være mulig pga. redusert viskositet. Tilsetningene gir bare ca. 4-5 °C lavere teoretisk blande-temperatur, og 5-8 °C lavere utleggingstemperatur i forhold til referansen. ArOptimal, produktet som ga mest oppmykning, ga bare 6 °C lavere teoretisk blandetemperatur.

Sannsynligvis er det en samvirkning med redusert viskositet og smørende effekt.

### Bindemiddelprøving

De to produktene som skilte seg ut i blandingene med 70/100 og PMB 40/100-75 var Sasobit og ArOptimal.

*Sasobit* er et voksprodukt med et forholdsvis skarpt smeltepunktområde. Ved temperaturer over smeltepunktet har Sasobit en fortynnende effekt. Ved temperaturer under smeltepunktet har produktet en avstivende effekt. Dette gjenspeiles i bindemiddeltestene.

*ArOptimal* fungerer i større grad som en mykner. For 70/100 er blandingen med ArOptimal mykest. For PMB-blandingene får ArOptimal lavest viskositet og G\*-verdi. For PMB-blandingenes Jnr-verdier (MSCRT) er det lite som skiller.

### Undersøkelse av vedheft

Tilsetning av 0,3 % amin synes å være nødvendig for å sikre god vedheft for seks av de sju tilsetningene. Tilsetning av 0,5 % ArOptimal til 70/100 bitumen fungerer godt alene som vedheftningsmiddel.

### Vurdering av LTA-tilsetninger

Det er trolig tilstrekkelig å utføre prøveblanding i laboratoriet med normal og redusert temperatur. Asfaltblandingen kompakteres (med gyratorisk kompaktor) og dokumenteres i ht. gjeldende krav. med. En fullskala prøveproduksjon vil så verifisere at utlagt asfalt tilfredsstillende gjeldende krav.

Produktinformasjon fra LTA-kjemikalieleverandøren bør være tilgjengelig også for byggherren. Målsetningen er å oppnå tilfredsstillende kvalitet og levetid på utlagt asfaltdekke.

Svært få norske laboratorier benytter gyratorisk kompaktor. Det bør være tilstrekkelig at leverandøren dokumenterer at LTA-tilsetningen fungerer med aktuelt bindemiddel, samt at egnet temperaturområde for blanding og kompaktering oppgis. Proporsjoneringen bør utføres med redusert blande- og kompakteringstemperatur.

### Videre arbeid

Vi har ikke vurdert feltforsøk i dette prosjektet, men det er mye erfaring og dokumentasjon fra LTA 2011 prosjektet. LTA med skummingsteknikk er dominerende i Norge.

I tilfelle nye LTA-tilsetninger kommer på markedet bør de følges opp med dokumentasjon på bindemiddelegenskaper og om de påvirker vedheft og vannfølsomhet. Det må spesielt undersøkes om de påvirker PMB-egenskapene (på fersk og RTFOT-aldret prøve).

### **Referanser**


- Anton-Paar. (2019). *Joe Flow - Stribeck curves: A powerful screening tool for tribology in a nutshell*. Retrieved from anton-paar.com.
- Baumgardner, G. L. (2012). Lubricity Properties of Asphalt Binders Used in Hot-Mix and Warm-Mix Asphalt Pavements. *5th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Istanbul.
- Bragstad, R. (2012). *Prosjekt LavTemperaturAsfalt 2011 - Hovedrapport*. Oslo: Foreningen for veiservice, FAV. (EBA).
- Buisson, P. (2021). Warm mix asphalt produced with liquid additive Increasing mix compactibility. *7th Eurasphalt and Eurobitume Congress*. E&E Congress 2021.
- Geisler, K., Lapalu L., & Kapsa. (2016). Tribological and wettability study of non foaming warm mix asphalt additives. *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague*. E&E Congress 2016.
- Gil, S., Herrero, & Sypt. (2021). The new step in the WMA production: use of green additives. *7th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Proceedings*. E&E Congress, 2021.
- Gonzalez-Leon, A. F. (2016). Evaluation methods of chemical additives used in warm and recycled. *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Prague: E&E Congress 2016.
- Jørgensen, T. (2017). *LTA 2011: Oppfølging av prøvestrekninger 2016. Rapport nr. 501*. Oslo: Statens vegvesen.
- Jørgensen, T., & Hovin, W. (2019). *LTA 2011: Oppfølging av prøvestrekninger. Laboratorieundersøkelser. Rapport nr. 684*. Oslo: Statens vegvesen.
- Lundberg, R. (2019). *Utredning av ArOptimal som vidhäftningsmedel och kompakteringsegenskaper för LTA asfalt*. Umeå: Arstec avd. Sverige.

- Smith, M., & James, A. (2016). New compactability parameter for comparing warm mix additives. *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Prague: E&E Congress 2016.
- SVV. (2019). *Retningslinjer asfalt 2019. Rapport nr 670*. Oslo: Statens vegvesen.
- Vondenhov, M. (2021). Assessing bitumen additives for temperature reduction of asphalt mixtures. *7th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. E&E Congress 2021.
- Wu, & Shen. (2021). Characterization of Long-term Performance of Warm Mix Asphalt in the. *7th Eurasphalt and Eurobitume Congress, Proceedings*. E&E Congress 2021.



## Vedlegg

### 1. Produktdatablad Cecabase RT 945

<b>CECABASE RT®945</b>		<b>TECHNICAL DATA SHEET</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>CECABASE®RT 945 is an additive used to reduce the temperature of hot mixes for the production and the application of 30 to 50°C while keeping the original mechanical properties of the hot mixes.</li> </ul>			
<b>SPECIFICATIONS</b>			
Aspect at 25°C	-	Liquid	CECA 213
Perchloric alkalinity	ml HClO <sub>4</sub> (N) / g	4.5 – 5.2	CECA 016
<b>INDICATIVE VALUES</b>			
Flash point	°C	178	CECA 197
Solidification point	°C	< 0	CECA 055
Viscosity at 25°C	cPs	< 1000	CECA 172
<b>USAGE RECOMMENDATIONS</b>		<b>ADVANTAGES AND BENEFITS</b>	
<p>The product CECABASE®RT 945 can be injected in the storage tank of bitumen, or directly in the mixing line at a dosage from 2 to 5 kg per ton of bitumen.</p> <p><b>CLP/GHS regulation :</b> In the dosage conditions as specified above, the product has no impact on the transportation and environmental classification of the final emulsion.</p> <p><b>STORAGE</b></p> <p>CECABASE®RT 945 needs a storage in its original closed packaging at ambient temperature. If the product is stored a long time in cold temperatures, we recommend to homogenize it before use.</p> <p><b>PACKAGING</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Drums 190 kg</li> <li>IBC 900 kg</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Good workability</b> As a warm mix additive, this product is used to increase transport time and distance, it is ideal for early and late-season.</li> <li><b>Excellent adhesion</b> Thanks to its chemical composition, this product CECABASE®RT 945 is very efficient for aggregates which need good adhesion in addition to good workability.</li> <li><b>Recycling</b> The CECABASE®RT 945 can be used to increase the rate of mixing aggregates in the recycling circle.</li> </ul>	
Revisions n°1 – Updated 17/03/2017			

## Vedlegg

### 2. Produktdatablad Cecabase RT BIO 10

# CECABASE®RT BIO10

## TECHNICAL DATA SHEET

---

- CECABASE®RT BIO 10 is an additive used to reduce the temperature of hot mixes for the production and the application of 30 to 50°C while keeping the original mechanical properties of the hot mixes.

### SPECIFICATIONS

	Unit	Values	Method
Aspect at 25°C	-	Liquid	CECA 213

### INDICATIVE VALUES

Flash point	°C	200	CECA 197
Solidification point	°C	0	CECA 055

### USAGE RECOMMENDATIONS

The product **CECABASE®RT BIO 10** can be injected in the storage tank of bitumen, or directly in the mixing line at a dosage from 2 to 5 kg per ton of bitumen.

**CLP/GHS regulation :** In the dosage conditions as specified above, the product has no impact on the transportation and environmental classification of the final emulsion.

### STORAGE

**CECABASE®RT BIO 10** needs to be stored in its original closed packaging at ambient temperature.


If the product is exposed during a long period in cold temperatures, a gelification phenomenon can appear, it is recommended to heat and homogenize the product, its performances are not affected.

### PACKAGING

- Drums** 200 kg
- IBC** 1000 kg
- Bulk** 10 to 20 tons

### ADVANTAGES AND BENEFITS

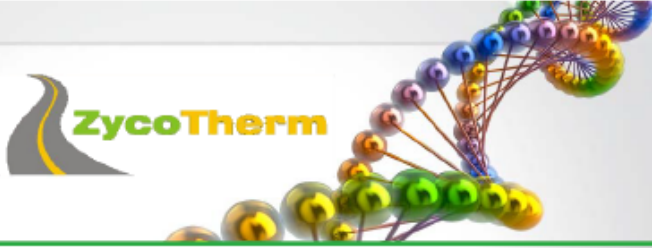
- Biodegradable**  
The product is easily biodegradable which means it degrades itself of more than 60% in 28 days.
- Excellent thermic stability**  
This product can keep its total mechanical performances in a 180°C bitumen during one week.
- Good workability**  
As a warm mix additive, this product is used to increase transport time and distance, it is ideal for early and late-season.
- Recycling**  
The **CECABASE®RT 935** can be used to increase the rate of mixing aggregates in the recycling circle.



Revisions n°1 – Updated 17/03/2017

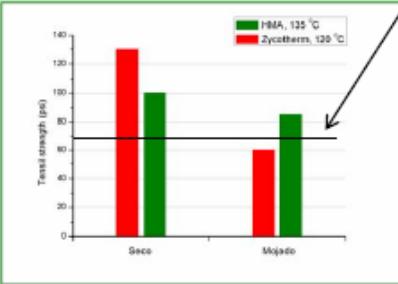
## Vedlegg

### 3. Produktdatablad Zycotherm



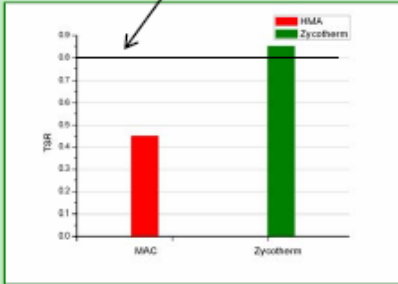
**Brief description:** Bitumen- and water-soluble organosilane that improves workability and decreases manufacturing and application temperatures.

**Min. TS**



Mixture	HMA, 125 °C	Zycotherm, 120 °C
Seco	~100	~130
Mojado	~85	~60

**Min. TSR**



Mixture	HMA	Zycotherm
MAC	~0.45	~0.85
Zycotherm	~0.85	~0.85

**Advantages:**

- ✓ Asphalt mix temperature reduction up to 20-30 °C
- ✓ Salt resistance 98%
- ✓ Low temperature compaction (> 90 °C)
- ✓ Improvement of water sensitivity
- ✓ Anti-stripping
- ✓ Improvement of mechanical properties (stability, module...)

**Application areas:**

- Road surface
- New bitumen mixtures for WMA
- Sea-side roads and water resistant asphalt
- Enlargement of asphalt season (prevents thermal shock)
- Thin asphalt(1,5-2 cm)

18

## Vedlegg

### 4. Produktdatablad Rediset LQ 1102 CE



## Rediset® LQ-1102C

Compaction aid for hot and warm mixes. Heat-stable adhesion promoter. Rediset LQ-1102C allows a reduction in mixing and paving temperatures while providing built in anti-stripping effect.

#### Benefits and features

- **Active adhesion:**  
Treated bitumen has the ability to coat damp aggregates, which ensures good coverage at lower mix temperatures
- **Heat stability:**  
The performance is maintained after storage in hot bitumen
- **Improved workability and easier compaction:**  
The mixes remain workable to lower temperatures and are easier to compact, which enables cool weather paving, longer haul distances and faster paving operations
- **Moisture resistance:**  
Treated bitumen shows exceptional adhesion and mixes meet requirements for moisture resistance. Additional adhesion promoter is not required.

#### Storage and handling

Rediset LQ-1102C may be stored in carbon steel tanks. Bulk stores should be maintained at 15-30°C (59-86°F). Rediset LQ-1102C contains amines and is corrosive to skin and eyes. Protective gloves and safety goggles must be worn when handling this product. For further information consult the Safety Data Sheet.

#### Packaging information

Rediset LQ-1102C is available in bulk delivery, in tight-head steel drums of 425 b (193 kg) net weight or in one-way totes (IBC)s of 2100 lbs (953 kg) net weight.

#### Dosage

Hot and warm mix	0.3-1.0%	basis binder
------------------	----------	--------------

#### Specification

Amine value, mg KOH/g	540-640	SMA CL002
Water, %	max 1	SMA CL007

#### Physical properties

Appearance at 25°C	liquid
Flash point, °C	165 (329°F)
Pour point, °C	0 (32°F)

	10	20	30	40	°C
	50	68	86	104	°F
Density, g/cc	1.00	1.00	0.99	0.98	
Density, lbs/U.S. gal	8.37	8.34	8.29	8.21	
Viscosity, mPa s (cP)	8120	1703	843	393	

Physical properties are typical data based on our own measurements or derived from the literature. They do not constitute part of the delivery specification.

#### Notes

For more information see the technical bulletin: Rediset LQ.

## Vedlegg

### 5. Produktinformasjon Sasobit Redux

## Sasobit REDUX

Sasobit, the versatile additive for asphalt mixes, has been used successfully worldwide since 1997. Today Sasol is pleased to present another member of the Sasobit family: **Sasobit REDUX**

Sasobit REDUX consists of synthetic Fischer-Tropsch (FT) wax and other petroleum-based waxes and has a congealing point between 72 and 83°C and a penetration of 16 – 30 dmm at 25°C, making it softer than Sasobit.

#### Comparison of Sasobit and Sasobit REDUX specifications

Parameter	Sasobit REDUX	Sasobit
Congealing point [°C]	72 – 83	100 – 110
Penetration (25°C) [dmm]	16 – 30	0 – 2

The average dosage of Sasobit REDUX is 1 – 1.5 wt% related to the bitumen content. Ideally, the product is added to the bitumen but can also be added into the pugmill.

Sasobit REDUX is available in pastilles and can be added in the same way as Sasobit.

### Advantages at a glance

- Reduced viscosity
- Reduced temperatures
- Reduced compaction resistance
- Reduced ageing
- Almost no impact on binder characteristics

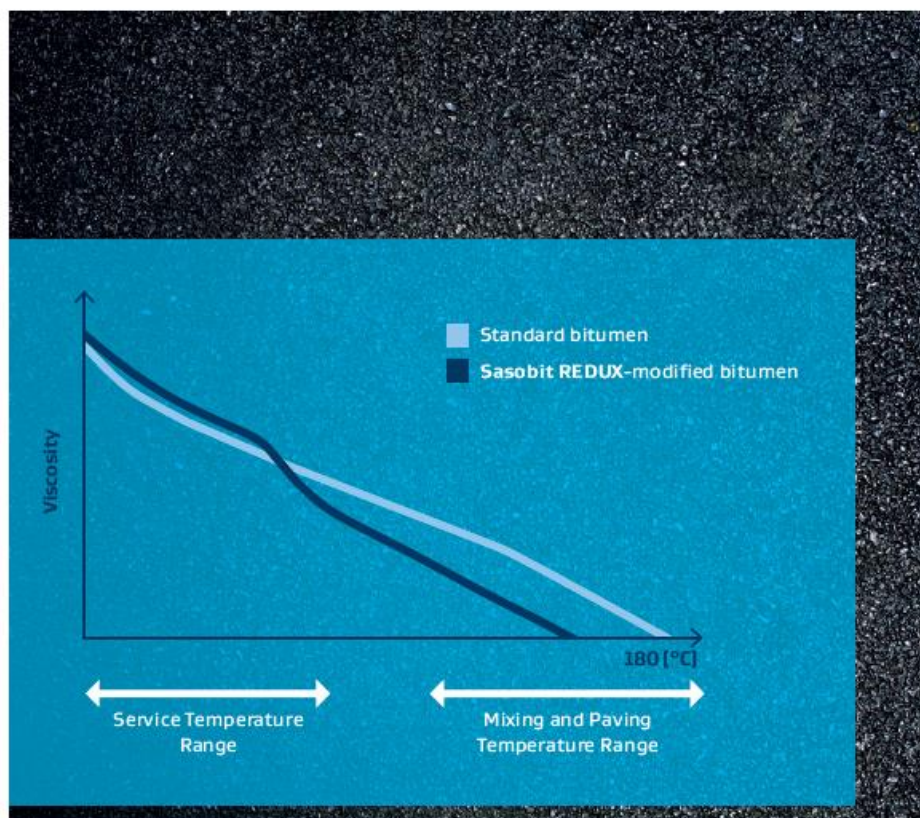
## Working principle: the effect of **Sasobit REDUX** on bitumen viscosity

Temperatures can be reduced by as much as 30 K when using **Sasobit REDUX**, because at temperatures above 85°C **Sasobit REDUX** is completely soluble in bitumen and significantly reduces viscosity.

Reduced viscosity at standard temperatures improves the workability of the asphalt mix. **Sasobit REDUX** increases process reliability and significantly reduces the risk of improper paving operations.

During the cooling phase, **Sasobit REDUX** begins to crystallise at 60°C, which makes it possible to widen the compaction window. The above-mentioned congealing point of 72–80 °C relates to the pure wax.

**Sasobit REDUX** has a negligible impact on the stiffness of the binder at service temperatures. The actual increase is determined by the base binder.



## Vedlegg

### 6. Produktinformasjon Sasobit

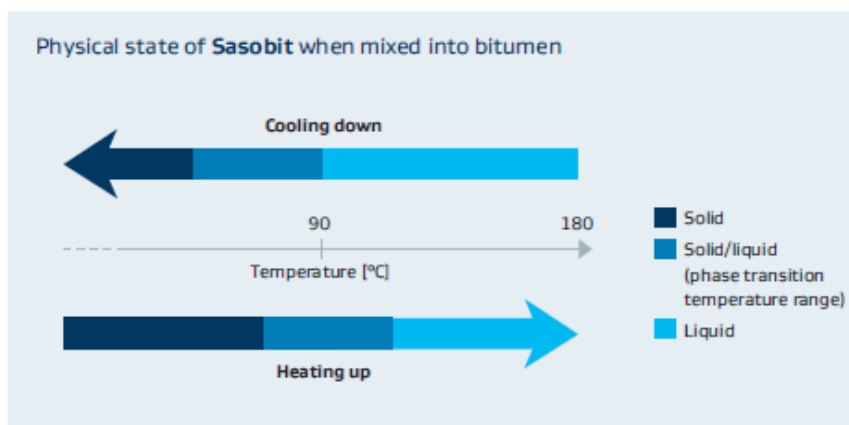
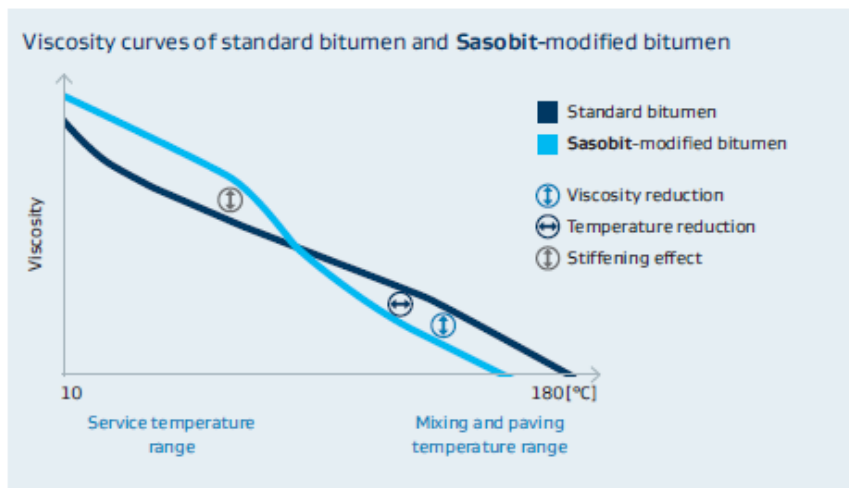
#### Working principle: Sasobit's effect on bitumen viscosity


Mixing and paving temperatures can be reduced by as much as 30 K when using **Sasobit**, because at temperatures above 115 °C **Sasobit** is completely soluble in bitumen and reduces viscosity significantly.

Reduced viscosity at standard temperatures enhances the workability of the asphalt mix. **Sasobit** increases process reliability and significantly reduces the risk of improper paving operations.

During the cooling phase **Sasobit** starts to crystallize at 90 °C and forms a lattice structure in the bitumen which has a stiffening effect (the frequently cited congealing point of 100 to 105 °C refers to pure **Sasobit**).

Deformation resistance increases significantly when adding the appropriate quantity of **Sasobit**, without impairing low-temperature performance.



PRODUCT INFORMATION


## Recommended Dosage of Sasobit

Issue: February 2016

**Sasobit** is a versatile additive in the field of asphalt road-building. It has been used globally and successfully since 1997. When adding **Sasobit** to bitumen, quality of asphalt mixes improve significantly, even when admixing reclaimed asphalt pavements. The use of **Sasobit** in asphalt mixes is approved and recommended by road authorities in Europe and the world.

Application	Recommended dosage for Sasobit in M. - % by weight of bitumen								Examples
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0		
Improved Workability									<ul style="list-style-type: none"> <li>Hard bitumen</li> <li>Rubber-modified bitumen</li> <li>Highly polymer-modified bitumen</li> <li>Difficult to compact asphalt mixes</li> </ul>
Temperature Reduction									<ul style="list-style-type: none"> <li>Resource conservation, environmental compliance</li> <li>Reduction in CO<sub>2</sub> emissions</li> <li>Reduced wear and tear on machinery</li> <li>Less bitumen fumes / aerosols</li> <li>Occupational health and safety</li> <li>Reduced bitumen ageing</li> </ul>
Process Reliability/ Risk Minimization									<ul style="list-style-type: none"> <li>Paving asphalt mixes during poor weather conditions</li> <li>Thin layers</li> <li>No compaction failures</li> <li>Extended period of use</li> <li>Manual application</li> </ul>
Stability									<ul style="list-style-type: none"> <li>Faster reopening to traffic</li> <li>Optimized asphalt mix design</li> <li>Improved deformation resistance</li> </ul>
Heavy Duty Asphalt Mixes									<ul style="list-style-type: none"> <li>Pavements for industrial premises and logistics centres</li> <li>Container terminals</li> <li>Airports</li> <li>Highly trafficked roads</li> <li>Bus stops</li> <li>Race tracks</li> </ul>

Keep in mind that softening point ring and ball, the needle penetration, or the bitumen viscosity etc. change according to the quantity of **Sasobit** added or the type of bitumen used. Hence the quantity of **Sasobit** to be added needs to be determined in lab tests.



## Vedlegg

### 7. Produktdatablad ArOptimal (Warmgrip N1)



## ArOptimal

Aminbasert vedheftingsmiddel, utviklet for å gi både ypperlig vedheft og komprimeringsegenskaper. Benyttes ved lange transportavstander eller til produksjon av LTA uten skumbitumen.

#### Egenskaper:

Ny generasjon viskositetsforbedrende vedheftingsmiddel.

Passivt og aktivt vedheftingsmiddel.

Muliggjør temperatursenking på 15-30° C uten skumming av bitumen.

Spesielt tilpasset sure tilslag og skandinaviske forhold.

Øker bestandigheten i asfaltmassen

Ekstra bra for høytrafikkerte veier.

Minde røyk og lukt.

Pumpbar fra 25°C

#### Bruksområder:

For alle typer asfaltmasser (Hotmix, LTA og PMB masser)

For halvvarme asfaltmasser med høy andel asfaltgranulat.

Høy inngående fukttinnhold i tilslag og asfaltgranulat (>3% fukt)

Ved lange transportavstander.

Basiske, intermedieære og sure bergarter (Kalksten, basalt, diorit, granit, kvartsit, dolomit og porfyr)

For økt bearbeidbarhet og komprimeringsegenskaper også på lavere temperaturer.

#### Brukerveiledning:

0,2-0,6% av bitumenmengde i hotmix og LTA

0,6-1,2% av bitumenmengde i halvvarme asfaltmasser.

Tilsetningsmengde beroende på grad av temperatursenking.

Tilsettes ved depot, bitumenbil, bitumenledning eller i bitumenvekten

#### Forpakninger:

1000L IBC container



## WARMGRIP® N1

Asphalt Mix Performance-Improving Additive

**TECHNICAL DATA SHEET**

**COMPACTION AID AND LIQUID ANTI-STRIP IN ONE**

WarmGrip N1 is an asphalt additive that allows for easier field compaction and stronger adhesion of the asphalt binder to aggregate. It safeguards pavements against destructive forces such as traffic loading, water intrusion and oxidation, leading to reduced pothole formation, cracking and rutting for safer, smoother and longer-lasting roads. WarmGrip N1 is formulated to minimize smoke and odor for better plant personnel and paving crew comfort, and is used to design mixes that conform to typical specifications including AASHTO T283: *Method of Test for Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage*, AASHTO T324: *Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)* and AASHTO R35: *Standard Practice for Superpave Volumetric Design*.

---

<b>APPLICATIONS</b>	<b>FEATURES</b>	<b>COMPATIBILITY</b>
<p>Asphalt Paving</p> <div style="background-color: #D3D3D3; padding: 10px; margin-top: 10px;"><p><b>USE WARMGRIP N1 WHEN YOU NEED:</b></p><ul style="list-style-type: none"><li>• Faster and easier compaction</li><li>• To pass TSR and Hamburg tests with challenging asphalt and aggregate combinations</li><li>• Reduced smoke and odor at the terminal, mix plant or jobsite</li></ul></div>	<p><b>EASIER FIELD COMPACTION</b> Enables increased mat density with fewer roller passes, even with high recycled asphalt pavement (RAP) mixes</p> <p><b>RELIABLE ANTI-STRIPPING EFFECTIVENESS</b> Passes tensile strength ratio (TSR) and Hamburg Wheel Tracking tests with wide variety of asphalt and aggregate combinations</p> <p><b>LOW ODOR AND LOW SMOKE</b> Improves plant personnel and paving crew comfort</p> <p><b>BETTER MIX WORKABILITY</b> Enables easier hand-work in paving applications</p> <p><b>HEAT STABILITY</b> Remains effective several weeks in hot asphalt</p>	<p><b>ASPHALT</b> Compatible with most asphalts including those modified with styrene-butadiene-styrene (SBS), styrene-butadiene rubber (SBR), ethylene-vinyl acetate (EVA) polymers, ground tire rubber (GTR) and recycled asphalt shingles (RAS)</p> <p><b>AGGREGATES</b> Compatible with various aggregate types including granite, diabase, diorite, basalt, gabbro, rhyolite, andesite, dacite, chert, quartzite, gneiss, limestone, dolomite, marble, sandstone, natural sand and gravel, slag and RAP</p>



**ArrMaz**  
THIS IS WHAT BETTER PAVING LOOKS LIKE

6502 South Yale Avenue, Suite 100, Tulsa, OK 74136 USA  
+1-918-960-3800 | [www.roadscience.net](http://www.roadscience.net)



**Road Science\***  
Division of ArrMaz

## USAGE RECOMMENDATIONS

### NEAT AND MODIFIED ASPHALTS:

- 0.25 – 0.75% by weight of total asphalt in mix
- Usage rate should be determined by user based on degree of aggregate coating and moisture sensitivity testing at desired production temperature

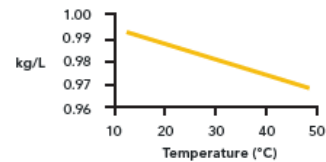
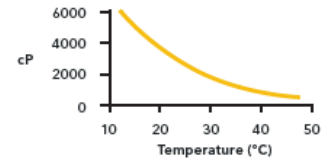
### OPTIONS FOR ADDING WARMGRIP N1 TO ASPHALT:

1. Add to asphalt storage tank and agitate mechanically or through pump circulation
2. Add at asphalt terminal by injecting into asphalt line as transport tanker is being charged
3. Add at asphalt mix plant by in-line injecting into the asphalt line (continuous plant) or weigh hopper (batch plant)

## PHYSICAL CHARACTERISTICS

Property	Description
Appearance, 25 °C	Dark Colored Liquid
Odor	Amine
Density, 25 °C	1.0 kg/L
Viscosity, 25 °C	1,650 cP
TSCA Inventory	Listed
C.A.S. Number	Proprietary

The density and viscosity data reported are typical and not specifications. Typical ranges for density and viscosity values are  $\pm 2$  and  $\pm 20\%$ .



## HANDLING AND STORAGE

Always handle WarmGrip N1 in accordance with Safety Data Sheet (SDS) and Road Science Asphalt Additives Handling and Storage Guidelines document. Avoid product contamination with other materials. Do not store product in excess of 60 °C for prolonged periods. Recommended product handling temperature range is 27 – 50 °C.

## AVAILABILITY

WarmGrip N1 is available outside of the US only.

WarmGrip N1 is available for shipment in bulk by rail car and tank truck. Packaged quantities are available in 1,000 L IBC totes (952.5 kg net weight) and 208 L steel drums (190.5 kg net weight).

Tilsetningsstoffer til lavtemperaturasfalt - Laboratorieundersøkelser

Vedlegg

8. Resultater DSR-testing

G\* og fasevinkel på prøveblandinger av 70/100 og PMB 40/100-75

Prøve.nr	LTA-tilsetning i 70/100	G*(30°C) G*(40°C) G*(50°C) G*(60°C)				δ(30°C) δ(40°C) δ(50°C) δ(60°C)				G*(40°C) G*(30°C) G*(20°C) G*(10°C) G*(0°C)					δ(40°C) δ(30°C) δ(20°C) δ(10°C) δ(0°C)					(G*/sin δ)/10 DV 60°C, Pa·s		
1	70/100	290	43,4	9,88	2,34	73,6	79,0	83,1	86,2	50,5	294	1983	13324	71847	78,8	73,7	65,7	53,1	37,3	235		
2	0,5 % Cecabase RT 945	275	46,9	9,41	2,24	73,8	79,2	83,3	86,3	49,8	288	1924	12887	69604	79,0	73,8	66,0	53,5	37,9	224		
3	0,5 % Cecabase RT BIO10	270	46,3	9,30	2,22	73,8	79,1	83,2	86,2	49,0	283	1902	12787	69219	79,0	73,9	66,1	53,6	37,9	222		
4	0,4 % Zycotherm	256	44,1	8,95	2,14	74,1	79,2	83,3	86,3	45,4	262	1765	12059	66757	79,2	74,2	66,6	54,3	38,5	214		
5	0,5 % Rediset LQ 1102 CE	336	56,9	11,2	2,59	72,5	78,2	82,7	86,0	59,0	346	2302	14850	75706	78,2	72,5	64,2	51,5	36,1	260		
6	1,5 % Sasobit Redux	275	48,0	8,78	1,80	73,0	78,3	83,0	86,4	47,4	281	2049	13384	67580	77,3	72,7	64,0	50,9	36,1	180		
7	1,5 % Sasobit	534	96,7	20,0	4,84	69,5	75,2	78,8	81,3	94	528	3365	19625	88356	75,9	70,5	61,2	47,3	33,3	490		
15	0,5 % ArOptimal	139	23,4	4,78	1,18	77,6	82,6	85,8	87,9	25	148	1052	8007	50531	82,3	77,6	70,4	58,4	41,6	118		
e/RTFOT		G*(30°C)	G*(40°C)	G*(50°C)	G*(60°C)	δ(30°C)	δ(40°C)	δ(50°C)	δ(60°C)	G*(40°C)	G*(30°C)	G*(20°C)	G*(10°C)	G*(0°C)	δ(40°C)	δ(30°C)	δ(20°C)	δ(10°C)	δ(0°C)	DV 60°C, Pa·s		
1	70/100	514	94,0	19,4	4,58	67,6	73,6	79,3	83,1	99,1	536	3186	18000	82400	73,6	67,8	59,5	47,8	34,4	461		
2	0,5 % Cecabase RT 945	426	78,2	16,3	3,9	68,8	74,6	79,6	83,7	83,0	453	2730	16000	76800	74,6	69,0	61,0	49,4	36,6	392		
3	0,5 % Cecabase RT BIO10	404	73,2	15,2	3,6	69,5	75,2	80,0	83,9	77,7	428	2644	16000	78200	75,2	69,8	61,6	49,7	35,6	362		
4	0,4 % Zycotherm	451	82,5	17,1	4,07	68,4	74,2	79,2	83,4	87,8	474	2822	16300	77500	74,1	68,5	60,5	48,9	35,2	410		
5	0,5 % Rediset LQ 1102 CE	447	81,5	16,8	3,96	68,5	74,3	79,5	83,6	81,9	445	2672	15600	74300	74,3	68,7	60,6	49,0	35,2	398		
6	1,5 % Sasobit Redux	414	76,1	14,2	2,94	68,0	73,8	79,5	83,9	76,9	440	2812	16100	72600	73,4	67,9	59,2	47,4	35,2	296		
7	1,5 % Sasobit	656	130,0	28	6,8	65,4	71,4	76,1	80,1	128,0	471	3878	20500	87300	73,3	67,9	57,4	44,9	32,6	690		
15	0,5 % ArOptimal	340	59,6	11,8	2,71	70,0	76,6	82,1	85,8	60,8	340	2102	12600	61700	76,5	70,2	61,8	50,2	36,6	272		
Prøve.nr	LTA-tilsetning i PMB	G*(40°C)	G*(50°C)	G*(60°C)	G*(70°C)	G*(80°C)	δ(40°C)	δ(50°C)	δ(60°C)	δ(70°C)	δ(80°C)	G*(40°C)	G*(30°C)	G*(20°C)	G*(10°C)	G*(0°C)	δ(40°C)	δ(30°C)	δ(20°C)	δ(10°C)	δ(0°C)	(G*/sin δ)/10 DV 60°C, Pa·s
8	PMB 40/100-75	54	16,5	5,74	2,46	1,27	58,1	61,6	60,5	56,9	51,8	60,6	238	968	3980	16100	62,3	58,1	51,9	46,7	40,8	660
9	0,5 % Cecabase RT 945	52,5	15,5	5,41	2,35	1,22	60,7	62,8	61,2	57,2	52,3	59,0	233	944	3751	14790	62,9	59,0	51,8	46,4	41,2	617
10	0,5 % Cecabase RT BIO10	50	15,6	5,55	2,49	1,36	58,5	61,2	58,7	53,5	47,9	56,6	234	906	3636	14520	62,5	58,8	51,6	46,4	41,2	650
11	0,4 % Zycotherm	50,6	15,4	5,41	2,31	1,18	59,8	62,2	61,2	58,0	53,0	55,9	221	886	3434	13450	62,7	58,9	51,3	45,8	41,8	617
12	0,5 % Rediset LQ 1102 CE	53,9	15,8	5,44	2,35	1,25	60,7	62,9	60,8	55,8	49,8	61,2	243	969	3721	14080	63,2	58,4	50,6	44,8	40,7	623
13	1,5 % Sasobit Redux	53,8	14,7	4,50	1,99	1,15	59,4	61,5	59,3	53,1	46,1	65,3	259	1207	5443	21200	61,2	58,8	53,5	46,2	38,2	523
14	1,5 % Sasobit	82,6	25,8	9,17	3,96	1,92	56,6	57,8	57,1	52,9	49,3	115	444	1931	8326	31500	59,6	58,2	53,4	44,8	35,1	1092
16	0,5 % ArOptimal	50,7	14,7	4,98	2,05	1,04	62,9	64,6	64	60,4	57,0	27,8	121	675	4164	22546	67,0	67,4	63,6	54,3	40,6	554
e/RTFOT		G*(40°C)	G*(50°C)	G*(60°C)	G*(70°C)	G*(80°C)	δ(40°C)	δ(50°C)	δ(60°C)	δ(70°C)	δ(80°C)	G*(40°C)	G*(30°C)	G*(20°C)	G*(10°C)	G*(0°C)	δ(40°C)	δ(30°C)	δ(20°C)	δ(10°C)	δ(0°C)	DV 60°C, Pa·s
8	PMB 40/100-75	88	29,6	8,86	3,28	1,34	58,6	61,8	64,3	67,0	68,5	96,4	391	1740	7823	30939	61,2	57,8	52,2	44,1	34,9	983
9	0,5 % Cecabase RT 945	80,9	24,4	8,31	3,1	1,26	60,4	62,0	64,8	67,9	69,6	87,4	361	1698	8058	28779	61,6	59,4	54,3	45,6	36,6	918
10	0,5 % Cecabase RT BIO10	87,7	27,0	9,94	3,94	1,62	58,4	58,2	58,8	63,1	65,9	93,8	377	1595	6604	23586	59,9	56,6	49,9	42,5	35,5	1162
11	0,4 % Zycotherm	85,4	25,8	8,72	3,3	1,38	59,6	61,6	63,6	66,0	67,4	91,7	368	1584	6966	27864	61,3	57,1	51,5	44,2	35,4	974
12	0,5 % Rediset LQ 1102 CE	84,1	25,5	8,55	3,12	1,26	60,0	61,5	64,8	68,2	69,3	90,7	376	1767	8351	31129	61,5	59,4	54,1	45,2	35,7	945
13	1,5 % Sasobit Redux	89,6	24,8	6,96	2,52	1,05	59,6	61,5	64,8	67,9	68,8	98,3	459	2207	9906	31802	60,6	57,4	50,8	41,4	33,4	769
14	1,5 % Sasobit	122	38,3	12,9	4,75	1,93	58,1	58,5	61,0	63,2	64,0	156	651	2951	12762	36010	59,2	56,6	50,2	40,6	33,2	1475
16	0,5 % ArOptimal	52,4	14,7	4,47	1,5	0,568	66,1	68,6	73,9	77,8	78,8	55,3	246	1359	7141	22400	66,1	65,1	59,5	49,3	40,8	465

Resultater MCSRT-testing på prøveblandinger av 70/100 og PMB 40/100-75

MSCRT 50°C	Jnr 3,2	R% 3,2	Jnr diff %	Jnr 6,4	R% 6,4
<b>70/100 m. LTA-tilsetning</b>	kPa <sup>-1</sup>	%	%	kPa <sup>-1</sup>	%
70/100	0,99	1,7	7,4	1,0	0,6
0,5 % Cecabase RT 945	1,05	1,5	7,3	1,1	0,5
0,5 % Cecabase RT BIO10	1,05	1,6	7,7	1,1	0,5
0,4 % Zycotherm	1,11	1,4	7,8	1,2	0,4
0,5 % Rediset LQ 1102 CE	0,85	2,3	7,3	0,9	0,9
1,5 % Sasobit Redux	1,15	1,8	12,6	1,3	0,4
1,5 % Sasobit	0,42	10,5	33	0,6	3,3
0,5 % ArOptimal	2,10	0,00	5,7	2,2	0,0
<b>e/RTFOT</b>	kPa <sup>-1</sup>	%	%	kPa <sup>-1</sup>	%
70/100	0,41	8,6	7,5	0,44	4,3
0,5 % Cecabase RT 945	0,51	6,5	8,2	0,55	2,9
0,5 % Cecabase RT BIO10	0,56	6,0	8,8	0,60	2,6
0,4 % Zycotherm	0,48	7,4	8,2	0,51	3,4
0,5 % Rediset LQ 1102 CE	0,50	6,8	7,9	0,54	3,1
1,5 % Sasobit Redux	0,60	6,1	11	0,67	2,5
1,5 % Sasobit	0,27	16	25	0,35	6,6
0,5 % ArOptimal	0,77	2,9	7,0	0,82	1,2

MSCRT 60°C	Jnr 3,2	R% 3,2	Jnr diff %	Jnr 6,4	R% 6,4
<b>PMB m. tilsetning</b>	kPa <sup>-1</sup>	%	%	kPa <sup>-1</sup>	%
PMB 40/100-75	0,10	89	93	0,15	85
0,5 % Cecabase RT 945	0,23	79	114	0,32	72
0,5 % Cecabase RT BIO10	0,16	85	113	0,18	81
0,4 % Zycotherm	0,23	80	132	0,30	74
0,5 % Rediset LQ 1102 CE	0,10	90	92	0,16	86
1,5 % Sasobit Redux	0,10	92	104	0,18	88
1,5 % Sasobit	0,09	86	302	0,14	84
0,5 % ArOptimal	0,11	90	132	0,28	77
<b>e/RTFOT</b>	kPa <sup>-1</sup>	%	%	kPa <sup>-1</sup>	%
PMB 40/100-75	0,26	63	44	0,27	61
0,5 % Cecabase RT 945	0,33	58	50	0,39	52
0,5 % Cecabase RT BIO10	0,33	60	79	0,25	59
0,4 % Zycotherm	0,24	66	57	0,27	62
0,5 % Rediset LQ 1102 CE	0,24	69	57	0,28	62
1,5 % Sasobit Redux	0,31	67	84	0,41	57
1,5 % Sasobit	0,12	74	243	0,20	64
0,5 % ArOptimal	0,33	61	74	0,39	54



Statens vegvesen  
Pb. 1010 Nordre Ål  
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

[firmapost@vegvesen.no](mailto:firmapost@vegvesen.no)

ISSN: 1893-1162

[vegvesen.no](http://vegvesen.no)

**Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag**