



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp

Fakultetet for Realfag og Teknologi

Hovedveileder: Tatek F. Yideti

Tilleggsveiledere: Torbjørn Jørgensen, Vegdirektoratet
Roar Telle, Veiteknisk Institutt

Effekten av rejuvenatorer på aldret bitumen

The Effect of Rejuvenators on aged Bitumen

Omaad Aslam

Byggeteknikk og arkitektur

Monir Yousef

Byggeteknikk og arkitektur



EFFEKTEN AV REJUVENATOR PÅ ALDRET BITUMEN – HVORDAN DE KAN BRUKES I GJENBRUKSASFALT

Fakultet for realfag og teknologi



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

15. MAI 2019

NORGES MILJØ- OG BIOVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
Statens Vegvesen & Kontrollordningen for asfaltgjenvinning

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2019 i forbindelse med avsluttende utdanning ved Fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Vi har i oppgaven tatt for oss et omfattende tema, med begrenset kunnskap fra før. Det har vært utfordrende, men minst like lærerikt og spennende.

Vi vil først og fremst rette en stor takk til våre veiledere Torbjørn Jørgensen, Sjefingeniør ved Vegdirektoratet – Statens vegvesen, Roar Telle, Seniorrådgiver ved Veiteknisk Institutt og Tatek Fekadu Yideti, Førsteamanuensis ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Dere har under hele prosessen vært hjelpsomme med mange gode råd og tilbakemeldinger på hva som kan forbedres. Dette har vært motiverende og avgjørende for vår oppgave.

For øvrig rettes det en stor takk til Thomas Haukli, Kjersti Solstad og Wenche Hovin ved Statens vegvesens Sentrallaboratoriet i Trondheim. Vi setter pris på deres tid som dere har disponert til oss.

Vi ønsker også å benytte muligheten til å takke alle våre medstudenter og spesielt Zeshan Chaudhry for god konstruktiv tilbakemelding. Dere har alle vært en god motivasjon og vi takker for et godt samarbeid under hele prosessen.

Sist men ikke minst ønsker vi å takke familie og venner for deres forståelse, tålmodighet og engasjement under hele denne krevende perioden.

Oslo, Mai 2019

Omaad Aslam & Monir Yousef

Sammendrag

Fokuset har blitt rettet mot en mer miljøvennlig og bærekraftig framtid, derfor er gjenbruk og gjenvinning av asfaltdekke ganske utbredt i Europa. Bruk av resirkulert asfalt har bidratt til store reduksjoner i miljøutslipp og byggekostnader, ved å øke prosentandelen av returafalt i nye blandinger. Aldring av bituminøse bindemidler er en av de viktigste faktorene som påvirker ytelsen, levetiden og holdbarheten til asfaltdekke. Vanligvis gjør aldring bindemiddelet stivere og sprøtt, og øker dermed risikoen for overbyggningsfeil, slik som spordeformasjoner og krakelering.

Denne studien har fokusert på effekten av rejuvenator på resirkulert asfalt, og hvordan de kan brukes i returafalt.

Hovedproblemstillingen denne oppgaven tar for seg:

- Analysere effekten av rejuvenator blandet i en 50/50-blanding med gjenvunnet bindemiddel fra granulater og ferskt bindemiddel 160/220.
- Analysere effekten av et mykere bindemiddel 250/330 i en 50/50-blanding med gjenvunnet bindemiddel fra granulater og ferskt bindemiddel 160/220.

Tre ulike typer rejuvenatorer ble undersøkt i studien. De reologiske testene som ble utført på bindemiddelet var mykningspunkt, Fraass bruddpunkt, MSCRT og DSR før og etter korttidsaldring simulering, RTFOT, for å måle deformasjonsmotstanden til de ulike blandinger. For å teste dynamisk vedheftningsforsøk ble rulleflaske og vendskak test utført med og uten amin.

Rejuvenatorer modifierer bitumens kjemiske egenskaper og gjenoppretter de reologiske egenskapene til returafalt ved å øke bitumens viskøse respons. Rejuvenatorer forseglar asfaltkonstruksjonen mot inntrenging av vann og luft, noe som reduserer oksidasjon og øker holdbarheten og gir en god vedheft på de bindemiddeldekte steinene.

Rejuvenatorer har blitt studert og brukt i over 50 år, men likevel er det veldig få som har en god forståelse for produktbruken og hva en rejuvenator er. Oppførselen til et bindemiddel med tilsetning av rejuvenator er avhengig av rejuvenator innholdet, derfor er det viktig å bestemme de optimale mengdene av de forskjellige rejuvenatorene for de ulike bindemiddelene.

Abstract

The main focus has been directed towards the environmental and sustainable development for the future, therefore the reuse and recycling of asphalt pavement has widely spread in Europe. The use of recycled asphalt has contributed to a large reduction in environmental emissions and building costs by increasing the percentage of recycled asphalt in new mixtures. The ageing of bituminous binders is one of the most significant factors, which affects the performance, lifespan and durability of asphalt pavement. Usually the ageing makes the binders become stiff and brittle and therefore increases the risk of default in superstructure, such as deformation and crackling.

This study has investigated the effects of rejuvenators on recycled asphalt and how they can be used in recycled asphalt.

The main problem statements of the thesis are:

- Analysing the effect of rejuvenators mixed in a 50/50-mixture with recycled binder from granulate and virgin binder 160/220.
- Analysing the effect of a softer binder 250/330 in a 50/50-mixture with recycled binder from granulate and virgin binder 160/220.

Three different types of rejuvenators were investigated in this study. The rheological tests were completed on the binders at softening point, Fraass breaking point, MSCRT and DSR. The tests were done before and after short-term ageing simulation, RTFOT, to measure the deformation resistance to the different mixtures. To test the dynamic adhesion, roller bottle method and the reversing shackle method were completed, with and without amine.

Rejuvenators modifies bitumen chemical properties and recovers the rheological properties of the recycled asphalt by increasing bitumen viscous response. Rejuvenators seal the asphalt construction against intrusion of water and air, which reduces the oxidation, increases the durability, and gives good adhesion to the binding covered stones.

Rejuvenators have been studied and used for more than 50 years, but nevertheless there are very few researchers who have a good understanding of the product use and what a rejuvenator is. The behaviour of the binders with addition of a rejuvenator is dependent on rejuvenator concentration, therefore it is very important to determine the optimal amounts of the different rejuvenators for the different binders.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn	2
1.2	Rejuvenator og nåværende forskning	3
1.3	Problemstilling.....	4
1.4	Mål.....	4
2	Litteraturstudie.....	6
2.1	Veikonstruksjoner	6
2.1.1	Krav til overbygning.....	6
2.1.2	Veidekke	7
2.1.3	Viktige dekkeegenskaper.....	13
2.1.4	Kvalitetskontroll av asfaltdekke og veimaterialer	18
2.2	Bitumen	19
2.2.1	Bindemidler	19
2.2.2	Bruk av bitumen og terminologien.....	19
2.2.3	De forskjellige typene av bitumen og bitumenstandarder	23
2.2.4	Holdbarheten til bitumen og asfalten	27
2.2.5	Bitumen test data diagram.....	33
2.3	Gjenbruk av asfalt.....	35
2.3.1	Oversikt over bruksområder for returafalt.....	35
2.3.2	Produksjon av asfalt	39
2.3.3	Miljøpåvirkninger fra asfalt gjenbruk	41
2.4	Rejuvenatorer.....	43
2.4.1	Introduksjon av rejuvenatorer	43
2.4.2	Effektiviteten av rejuvenatorer	46
2.4.3	Bruksområder for asfalt rejuvenatorer	49
3	Teori.....	51
3.1	Bituminøse bindemidler	51
3.1.1	Penetrasjon	52
3.1.2	Mykningspunkt.....	53
3.2	Viskositet	54
3.2.1	Kinematisk viskositet.....	55
3.2.2	Dynamisk viskositet.....	56
3.3	Analyse av bitumen og modifisert bitumen	59

EFFEKTEN AV REJUVENATOR PÅ ALDRET BITUMEN – HVORDAN DE KAN BRUKES I GJENBRUKSASFALT

3.3.1	Fraass bruddpunkt.....	59
3.3.2	Aldringsforsøk.....	60
3.3.3	Vedheft.....	63
4	Eksperimentelt arbeid	66
4.1	Beskrivelse av produkter og leverandører	66
4.2	Beskrivelse av bindemiddelbehov	67
4.3	Beskrivelse av penetrasjon og mykningspunkt på bindemidlene	68
4.4	Beskrivelse av viskositeten til rejuvenatorene	69
4.5	Forundersøkelser.....	70
4.6	Beregning av tilsetninger av de ulike rejuvenatorene	70
4.7	Blandingsforhold for bindemidlene og rejuvenatorene.....	71
4.7.1	Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i vendskakttest.....	72
4.7.2	Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i rulleflasketest	74
4.7.3	Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i DSR-, mykningspunkt-, og Fraass bruddpunktstest.....	75
4.7.4	Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i Rolling Thin Film Oven test (RTFOT)	76
5	Resultater	77
5.1	Bindemiddelanalyser	77
5.1.1	Mykningspunkt.....	77
5.1.2	Fraass bruddpunkt.....	78
5.1.3	MSCRT testing av deformasjonsmotstand	79
5.1.4	Kompleks modulus og fasevinkelen til de ulike prøvene	82
5.2	Analyse av vedheft	84
5.2.1	Dynamisk vedheftningsforsøk – rulleflaske.....	84
5.3	Analyse av bindemiddelaldring	86
5.3.1	Simulering av korttidsaldring – RTFOT	86
6	Diskusjon	91
6.1	Bindemiddelanalyse før aldringssimulering	91
6.1.1	Deformasjonsmotstand med MSCRT-metoden	91
6.1.2	Dynamisk vedheftningsforsøk	94
6.2	Bindemiddelanalyse etter aldringssimulering	95
7	Konklusjon	99
8	Anbefalinger for fremtidige undersøkelser	101
9	Referanser	102
	Vedlegg A.....	105
A.1	Arbeidsskjema Mykningspunkt	105

EFFEKTEN AV REJUVENATOR PÅ ALDRET BITUMEN – HVORDAN DE KAN BRUKES I GJENBRUKSASFALT

A.2	Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt	115
A.3	Analyserapporter fra MSCRT-testing.....	125
Vedlegg B.....		135
B.1	Rulleflaske	135
Vedlegg C.....		139
C.1	Bilder av Vendskak-prøvene.....	139
Vedlegg D.....		143
D.1	Figur liste	143
D.2	Tabelliste	145
D.3	Symbolliste	147
D.4	Forkortelsesliste	149

1 Introduksjon

Asfaltindustrien fortsetter å fokusere mot en mer bærekraftig og miljøvennlig fremtid. Hovedfokuset er å redusere energiforbruket og redusere karbonutslippet under produksjon. Gjenbruk og gjenvinning av asfaltdekke er nå godt etablert og brukes generelt i Europa, siden asfalt er et høyverdig materiale som egner seg godt for gjenbruk (Radenberg, Flottmann, Koenig, & Hilfert, 2016). Gjenvinning bidrar til ulike økologiske og økonomiske fordeler, da det brukes mindre ferskt bindemiddel og høyere gjenvunnet bindemiddel (Tanghe, Lemoine, Nosler, & Kloet, 2012). For å redusere behovet for å bruke ikke-fornybare materialer og redusere utslipp av klimagasser kan man øke andelen av gjenvunnet asfalt. Denne asfalten kan brukes i produksjon av ny asfaltmasse og som ubundet materialet til erstatning for nytt steinmateriale (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019). EUs rammedirektiv for avfall i 2008, har som et mål at innen 2020 skal minimum 70 % av bygg- og riveavfall gjenbrukes eller materialgjenvinnes, noe Norge slutter seg til gjennom EØS-avtalen. I Norge har vi en høy gjenvinningsprosent for retur-asfalt, mens retur-asfalten som brukes i varm produksjon er mye lavere (Mirochnikova, 2015).



Figur 1-1: Oversikt over hvordan sirkulær økonomi kan bidra til klima nøytralitet (Olsson, 2018)

Målene for å oppnå en klimanøytral verdikjede i bygge- og anleggsbransjen er lagt opp slik at i 2045 skal det være nullutslipp av klimagasser. I 2030 skal det være 50 % reduksjon i klimagasser enn det var i 2015. Målene skal oppnås ved å benytte seg av sirkulær økonomi som

er illustrert i Figur 1-1. Det forskes stadig på nye bruksområder for returasfalt, og hvordan man kan optimalisere potensialet til komponentene i returasfalten (Olsson, 2018).

1.1 Bakgrunn

Bitumen, som er en av basismaterialene i asfaltproduksjon spiller en viktig rolle i sammensetningen av bituminøse dekker og deres ytelse. Det er en høy etterspørsel etter bitumen i hele verdenen og den øker stadig. Store mengder energi og penger brukes årlig på bygging, renovering, drift og vedlikehold samt bevaring av bituminøse asfaltdekker. I tillegg til den høye prisen på bitumen og mangel på tilstrekkelige ressurser av ferskt bitumen (Asli, Ahmadinia, Zargar, & Karim, 2012). I de siste årene har ikke veiens holdbarhet vært tilstrekkelig som forventet. Påvirkning av vær, økende trafikkmengde og aldring av bindemiddelet er ulike faktorer som påvirker holdbarheten til asfaltdekket. Aldring fører til økt stivhet og viskositet av bindemiddelet og redusert duktilitet (Radenberg, Flottmann, Koenig, & Hilfert, 2016).

Som en av nøkkelfaktorene som påvirker ytelsen og holdbarheten til asfaltdekket, har bitumens aldringsatferd blitt undersøkt i lang tid. Vanligvis gjør aldring bindemiddelet hardere og mer sprøtt, og øker risikoen for feil i asfaltkonstruksjonen, slik som krakelering, sprekker og deformasjoner og minker levetiden til veidekke (Lu, Soenen, & Laukkanen, 2017). Graden av aldring er avhengig av mange faktorer, slik som temperatur, lufttrommets innhold i blandingen og den kjemiske sammensetningen av bindemiddelet (Chen, Huang, Chu, & Lin, 2007).

I asfaltgjenvinningsoperasjoner blandes nytt bindemiddel og aggregat sammen med gjenvunnet asfaltmateriale for å redusere den negative påvirkningen av aldring til ett minimum. Det nye bindemiddelet bør være et resirkuleringsvirkemiddel slik at den endelige blandingen av det gamle og det nye bindemiddelet oppnår en akseptabel konsistens og en akseptabel kjemisk sammensetning. Resirkuleringsvirkemiddelet som kan velges for blanding med det gamle bindemiddelet kan kategoriseres i to hovedtyper, mykningsmiddel og rejuvenator. Mykningsmiddelet senker viskositeten til det gamle bindemiddelet, mens rejuvenator har som mål å gjenopprette de fysiske og kjemiske egenskapene til det aldrete bindemiddelet (Chen, Huang, Chu, & Lin, 2007).

1.2 Rejuvenator og nåværende forskning

I de siste et par tiår har utgiftene til forskning og utvikling av gjenvunnet asfalt økt drastisk. Det blir testet og brukt i flere land med tilsetninger av ulike typer rejuvenatorer og mykningsmidler. Rejuvenatorer er på vei for å bli revolusjonerende for bygg- og anleggsbransjen.

For tiden er det en rekke prosesser og produkter som blir diskutert og testet for å finne de mest optimaliserende og lønnsomme rejuvenatorene. Alle teknikkene som brukes nå til dags har som formål å fornye det gamle bindemiddelet fra gjenvunnet asfalt og gjenopprette egenskapene til det gamle bindemiddelet for å få den i en tilstand som er egnet for gjenbruk (Tanghe, Lemoine, Nosler, & Kloet, 2012).

Undersøkelser gjort i 1997 foreslo at opptil 15 % gjenvunnet asfalt kunne brukes i asfaltblandinger, mens 25 % gjenvunnet asfalt, en rejuvenator og et mykere bindemiddel kunne brukes for å oppnå de samme egenskapene som nyttbindemiddel. Undersøkelsene viste også at ved bruk av 19 % rejuvenator (i vekt i forhold til bitumen), gjorde anvendelsen av resirkulerte blandinger som inneholdt 80 % gjenvunnet asfalt mulig. Konklusjonen ble da at rejuvenatoren spiller en nøkkelrolle og gir mulighet for å bruke en større prosentandel av gjenvunnet asfaltmateriale (Asli, Ahmadinia, Zargar, & Karim, 2012).

En annen studie ble utført av EMPA- sveitsiske føderale laboratorier for Materialvitenskap og teknologi hvor formålet var å evaluere effekten av rejuvenatorer på aldringsegenskapene til 100 % gjenvunnet asfalt og sammenligne den med ferskt bitumen. Det ble brukt bitumen med penetrasjonsgrad 70/100 og tre forskjellige rejuvenatorer ble undersøkt. Denne og mange andre studier evaluerte effekten av ulike rejuvenatorer på de tekniske egenskapene og ytelsen til bitumen. De har vist at rejuvenatorer reduserer stivheten betydelig og forbedrer sprekkmotstanden. Det er derfor mulig å oppnå de samme reologiske egenskapene som et ferskt bindemiddel har ved å blande gammelt bindemiddel med en rejuvenator. Den kjemiske sammensetningen til det aldrete bindemiddelet er vesentlig forskjellig fra det ferske bindemiddelet som kan påvirke gjenvunnet asfaltblandingens langsiktige ytelse. Oppførselen til et bindemiddel med tilsetning av rejuvenator er avhengig av rejuvenator innholdet, derfor er det viktig å bestemme de optimale mengdene av de forskjellige rejuvenatorene for de forskjellige bindemiddelene (Ongel & Hugener, 2015).

1.3 Problemstilling

Vurdere effekten av tre ulike rejuvenatorer på aldret bitumen og hvordan de kan brukes i gjenbruksasfalt. Denne oppgaven er utformet for å studere:

- Effekten av rejuvenator blandet i en 50/50-blanding med gjenvunnet bindemiddel fra granulat og ferskt bindemiddel 160/220.
- Effekten av et mykere bindemiddel 250/330 i en 50/50-blanding med gjenvunnet bindemiddel fra granulat ferskt bindemiddel 160/220.
- Effekten av amin på dynamisk vedheftningsforsøk på de bindemiddeldekte steinene.

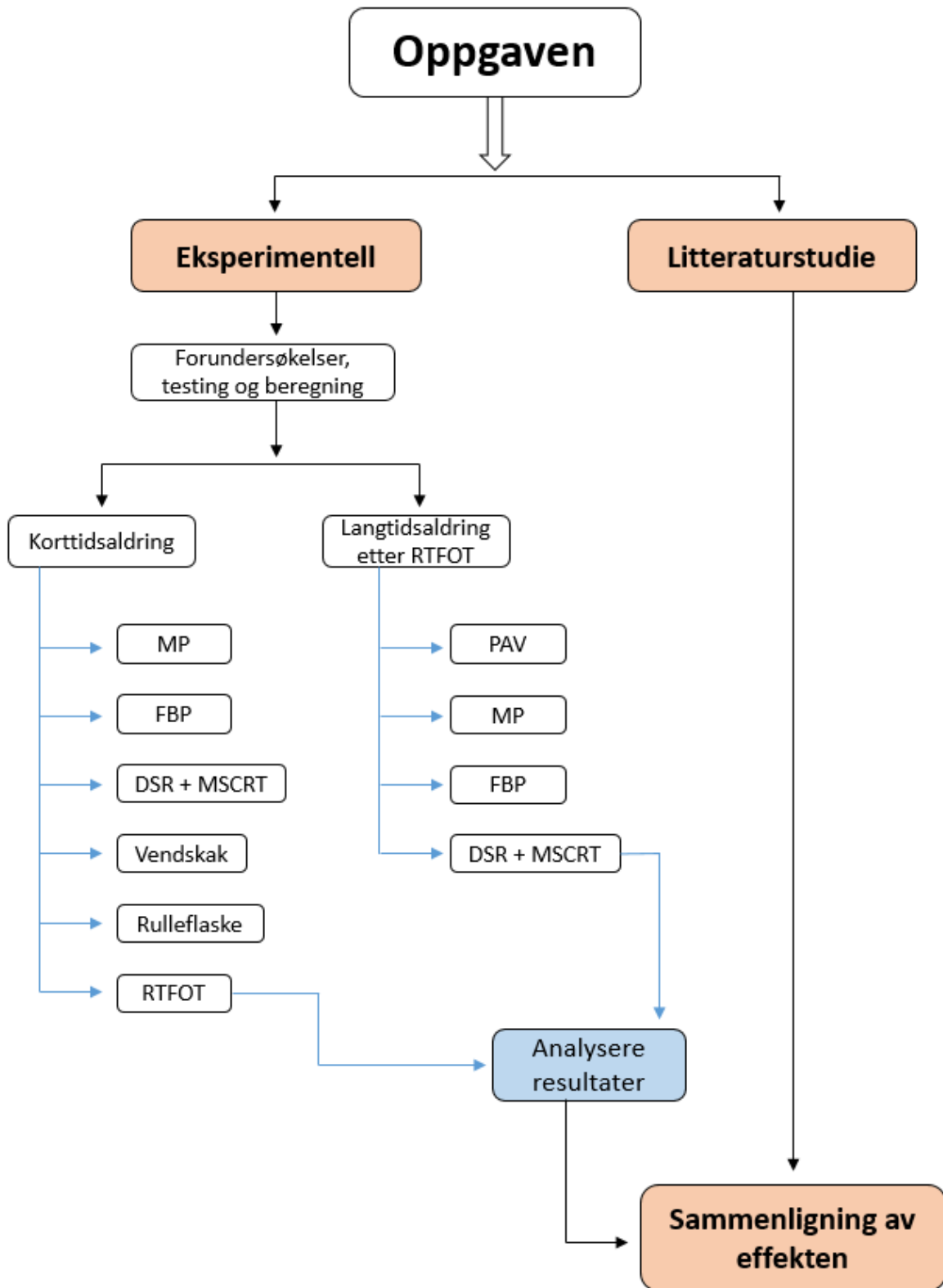
1.4 Mål

Målet for oppgaven er basert på å kontrollere om gjenvunnet bindemiddel fungerer eller oppfører seg på samme måte som et ferskt bindemiddel etter blanding med rejuvenator.

Mål for oppgaven:

En gjennomgang av rejuvenatorer anvendt i gjenbruksasfalt og utføre en uavhengig eksperimentell undersøkelse av deformasjonsmotstand, vedheft og en simulering av kortidsaldring for bindemiddelet, og undersøke vannbestandigheten til mørteldelen i asfaltblandingen.

Forskningsmetoden vedtatt i denne oppgaven er presentert i Figur 1-2.



Figur 1-2: Prøvsplan

2 Litteraturstudie

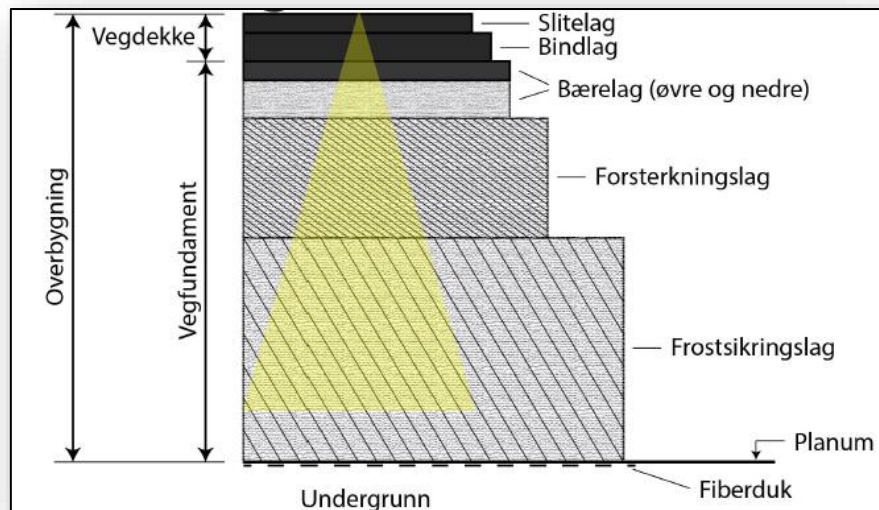
Dette kapitlet presenterer litteraturstudien om egenskapene til veikonstruksjoner, bitumen, gjenbruk av asfalt og beskrivelsen av rejuvenatorene som brukes i denne oppgaven.

2.1 Veikonstruksjoner

I dette delkapitlet gjøres det en kort gjennomgang av de grunnleggende teorier om veikonstruksjoner, krav til overbygninger, dimensjoneringsprinsipper, konsekvenser ved feildimensjonering og kvalitetskontroll på asfaltdekke. Noen av de viktigste parametrene for å opprettholde tilstrekkelig trafiksikkerhet ved dimensjonering er undergrunnsforholdene, trafikkbelastningen og klimapåkjenningene. Derfor er det viktig med geotekniske undersøkelser for å unngå at det oppstår sprekker, krakeleringer og skadelige deformasjoner. For at veien skal ha tilstrekkelig bæreevne gjennom hele året, er det viktig at veioverbygningen i tillegg tåler de ulike klimatiske påkjenningene.

2.1.1 Krav til overbygning

For å unngå dannelse av sprekker, ujevnheter og deformasjoner på veidekke stilles det strenge krav til overbygningen av veikonstruksjonen. De forskjellige lagene i veioverbygningen må klare å fordele spenninger og laster fra trafikken til undergrunnen for å oppfylle sikkerhetskravene for overbygningen. For at veien skal ha tilstrekkelig bæreevne året rundt er det viktig å ta hensyn til hvordan veien kommer til å oppføre seg under de ulike klimatiske påkjenningene når man konstruerer veien. For å unngå telehiv og frostproblemer om vinteren er det nødvendig med et frostsikringslag (Adib & Adib, 2018).



Figur 2-1: Lagene i en veioverbygning samt fordeling av trafikklasten gjennom lagene (Yideti, Vegens oppbygning, 2018)

I figur 2-1 kan vi se hvordan en veioverbygning ser ut. Over undergrunnen er det først en fiberduk som skal sørge for at lagene holder seg stabile og ikke flytter seg. Et frostsikringslag er kun nødvendig hvis de geotekniske undersøkelsene viser at det er telefarlige materialer i undergrunnen, hvis ikke holder det med et forsterkningslag. Deretter skal man ha et bærelag, etterfulgt av veidekke som består av et bindlag og et slitelag (Adib & Adib, 2018).

2.1.2 Veidekke

Det øverste laget i veikonstruksjonen kalles veidekke og inneholder et slitelag og et bindlag. For at veien skal ha god friksjon og overflaten skal være jevn og god å kjøre på for trafikantene under alle klimatiske forhold er det viktig at veidekke oppfyller kravene. (Yousef, 2018)

Dekketype	ADT (i åpningsåret)			
	0 - 1500	1500 - 3000	3000 - 5000	> 5000
Myke dekketyper	4,0	4,0		
Stive dekketyper	3,0 over 3,0	3,5 over 3,0	4,0 over 3,0	4,5 over 3,5

Tabell 2-1: Dekketyper og krav til minimum lagtykkelser (Yousef, 2018)

Tabell 2-1 ovenfor viser hvordan dekketype blir bestemt ut ifra årstdøgnetrafikk (heretter ÅDT) i åpningsåret. Lagtykkelsene er oppgitt i cm og avhenger om det er myke eller stive dekketyper. (Aurstad, et al., 2016)

Kaldblandet eller varmblandet asfalt og overflatebehandling er de tre hovedgruppene av bituminøse materialer som hovedsakelig benyttes på norske veier. Fra Tabell 2-1 kan vi se at myke dekketyper kun benyttes for ÅDT mellom 0 og 3000, mens stive dekketyper derimot kan benyttes for alle ÅDT men må ha et bindlag med slitelag på toppen. Noen eksempler på stive dekketyper er Agb, Ab, Ska, mens Ma, Egt Asg og Gja er noen eksempler på myke dekketyper. Myke dekketyper brukes på veier med svakt dekkfundament og teleproblemer, mens stive dekketyper brukes i alle trafikklasser siden de bidrar til å forsterke den totale styrken til veikonstruksjonen (Yousef, 2018).

2.1.2.1 Bærelag

Det blir stilt strenge krav til bærelagsmaterialer siden dette laget skal fordele de tunge trafikklastene med høye spenninger best mulig samt hjul med høyt ringtrykk. Hovedfunksjonen til bærelaget er å fordele trafikklastene i veikonstruksjonen nedover til de resterende lagene uten at steinmaterialer blir knust eller at det oppstår deformasjoner. Bærelaget gjengis enten som «bundne» eller «ubundne» materialer avhengig av om bærelaget er stabilisert med bitumen eller om de kun har vært igjennom en knuseprosess uten tilsetning av bitumen (Statens Vegvesen, 2018).

BÆRELAG						
Anbefalte materialer:	Tykkelse (cm), bærelag					
Ag	9	10	11	12	13	14
Ag over Ap	5 over 6	6 over 7	6 over 8	7 over 8	7 over 9	7 over 10
Ag over Ak	5 over 10	6 over 10	7 over 10	8 over 10		
Ag over Gja	6 over 5	6 over 7	6 over 9	6 over 10		
Ag over Fk	5 over 10	6 over 10	7 over 10			
Fk	20					

Tabell 2-2: Dimensjonering av veger med bituminøst dekke, lagtykkelser i cm (Statens Vegvesen, 2018)

For å få en god veioverbygning er kvalitetssikring av materialene og riktig utførelse vitalt, da det er dyrt og krevende å få reparert et bærelag som ikke tilfredsstillter kravene etter at dekket er lagt. Bærelaget er delt inn i et øvre og nedre bærelag som vist i figur 2-1 for hoved-, samle-

og adkomstveier. Fra Tabell 2-2 kan vi se at det mest brukte materialet i det øvre bærelaget er asfaltert grus, Ag, mens i det nedre bærelaget har vi flere alternativer som Ap, Ak, Gja og Fk. Knust fjell kan også brukes i bærelaget på lavtrafikkerte veier men det stilles strenge krav til korngradering og mekanisk styrke. Bærelaget har en total tykkelse på mellom 10-20 cm (Aurstad, et al., 2016).

2.1.2.2 Forsterkningslag

Forsterkningslaget er laget som er under bærelaget og har to hovedfunksjoner. Den skal forhindre høyt vanninnhold i lagene som ligger over og unngå overbelastning av undergrunnen ved å fordele lasten slik vi kan se i Figur 2-1. Knuste steinmaterialer er det mest brukte materialet i forsterkningslag. Standard sortering er:

- Kult 22/120, 22/180
- Pukk 22/90
- Samfengt pukk 0/63, 0/90

Kult, pukk og samfengt knust berg kan benyttes i alle trafikkgruppene fra A-F som forsterkningslag (Aurstad, et al., 2016). På veier i trafikkgruppe A-C kan grus brukes i forsterkningslaget med en øvre siktstørrelse på 90 mm. For trafikkgruppe A kan uknust grus benyttes, men for trafikkgruppe B og C må grusen være knust med knusningsgrad krav på $C_{50/30}$. Grus ble mye brukt i forsterkningslag før men forekommer sjeldent nå, grunnet begrenset tilgang på god grusforekomst til veibygging. Tykkelsen på forsterkningslaget varierer mellom 20-100 cm. I trafikkgruppe A, B, C og D kan knust betong (Gjb) eller blandet masse (Bm) som resirkulerte materialer benyttes (Statens Vegvesen, 2018).

2.1.2.3 Frostsikringslag

Under forsterkningslaget finner vi et frostsikringslag med hovedfunksjon å sørge for at frost ikke trenger ned i undergrunnen og fører til telehiv (Adib & Adib, 2018). Nye krav til frostsikring innebærer at vei på telefarlig undergrunn (T3/T4) skal bygges med et frostsikringslag. Frostsikringslaget vil normalt bestå av steinmaterialer, men grus, sand og isolasjonsmaterialer kan forekomme (Yideti, Vegens oppbygning, 2018).

ÅDT i åpningsåret	Antall kjørefelt	Overbygningstype ³⁾	Telefarlighetsklasse	Frostsikring	
				Dimensjonerende frostmengde	Maksimal ¹⁾ tykkelse overbygning
> 8 000	4 eller flere	Fleksibel	T3, T4	F ₁₀₀	2,4 m
> 8 000	< 4	Fleksibel	T3, T4	F ₁₀	2,4 m
1 501 – 8 000		Fleksibel	T3, T4	F ₁₀	1,8 m
≤ 1 500 G/S-veg		Fleksibel	T3, T4	Tiltak for å unngå ujevnt telehiv skal vurderes ²⁾	1,8 m
Alle trafikkgrupper		Stiv	T3, T4	F ₁₀	2,4 m

Tabell 2-3: Dimensjonerende frostmengde og maksimal tykkelse på overbygning (Statens Vegvesen, 2018)

Tykkelsen på frostsikringslaget er avhengig av dimensjonerende frostmengde som vi kan se i Tabell 2-3 (Yideti, Vegens oppbygning, 2018). Alle veier med ÅDT over 1500 skal frostsikres etter frostmengden F₁₀ eller F₁₀₀. Fra tabellen kan vi lese at for kjørefelt under 4 benyttes det frostmengde F₁₀ og for 4 eller flere kjørefelt benyttes frostmengde F₁₀₀. Frostmengden F₁₀ og F₁₀₀ forteller oss om frostmengden oppstår hver 10 eller 100 år. Den maksimale tykkelsen på overbygningen er som oftest 2,4 m for ÅDT > 8000.

De vanligste metodene for frostsikringstiltak er masseutskiftning av telefarlige materialer med ikke-telefarlige materialer og isolering med lettklinker, skumglass eller ekstrudert polystyren (XPS) (Aurstad, et al., 2016).

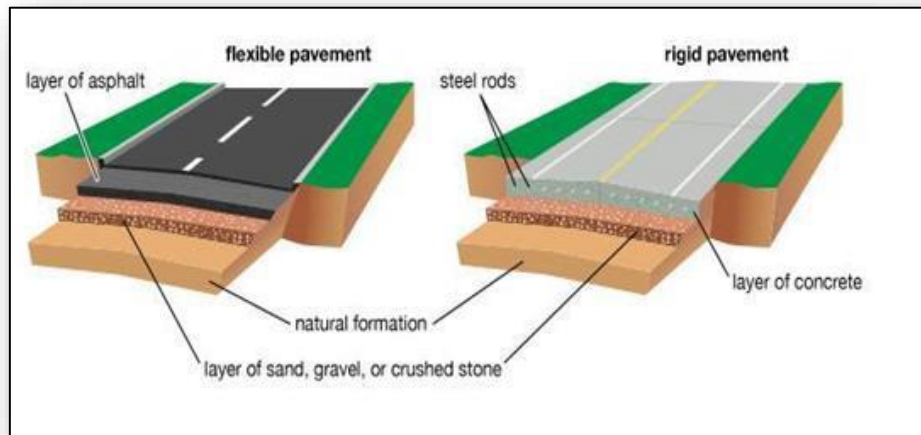
2.1.2.4 Dimensjoneringsprinsipper

«Formålet med dimensjonering av en vegoverbygning er å komme fram til en oppbygging og utforming som gjør at vegen tåler de klima- og trafikkpåkjenninger den blir utsatt for i løpet av levetiden på en teknisk og økonomisk optimal måte» (Aurstad, et al., 2016).

Som tidligere nevnt er hovedfunksjonen til veioverbygningen å sørge for at det ikke oppstår skadelige eller uakseptable deformasjoner ved å fordele laster fra trafikken til undergrunnen. Overbygningen må dimensjoneres slik at den klarer å bevare sin funksjon gjennom hele dimensjoneringsperioden, samt ha tilstrekkelig bæreevne hele året. God drenering av overflatevann, god jevnhet og friksjon er noen av kravene som stilles når en vei skal bygges (Aurstad, et al., 2016).

Veioverbygninger kan deles inn i to hovedtyper:

1. Fleksible – bygd av granulære og bituminøse materialer
2. Stive – består av granulære lag og betong (Yideti, Vegens oppbygning, 2018)



Figur 2-2: Eksempel på fleksible og stive veioverbygninger (Yideti, Vegens oppbygning, 2018)

På Figur 2-2 kan vi til venstre se et eksempel på hvordan en fleksibel veioverbygning ser ut, og til høyre kan vi se hvordan en stiv veioverbygning ser ut. Fra figuren kan vi observere at de to nederste lagene er like for begge typene, mens det øverste laget består av asfaltlag for fleksible veioverbygninger og betonglag med stålstenger i midten for stive veioverbygninger.

Dimensjoneringsprinsipper for veioverbygninger kan deles inn i to hovedgrupper:

1. Empirisk metode
2. Mekanistisk-empirisk (ME)

Empirisk metode er en erfaringsbasert metode som er bygget opp av tidligere erfaringer og er lettere å bruke enn mekanistisk-empirisk. Empirisk metode er katalogbasert og har begrensinger på lokale forhold som ulike jordtyper og klimaer. Mekanistisk-empirisk metode er en mer komplisert metode hvor det er nødvendig med mer grunnlagsdata som materialtyper, klima og trafikkforhold enn ved empirisk dimensjonering i tillegg til at den ikke er like kjent. Dette gjør at det er mer skepsis til denne metoden enn empirisk metode. Dog er en bedre dimensjoneringsmetode etablert ved å kombinere disse to metodene (Yideti, Vegens oppbygning, 2018) (Trangen, 2016).

Det er flere faktorer man må ta hensyn til når man skal dimensjonere en veioverbygning. Noen av de viktigste faktorene som må ivaretas er trafikken, klimaet og grunnforholdene. Det er både statisk og dynamisk belastning på veien og et spredt omfang av kjøretøy. De tunge kjøretøyene står fortrinnsvis for den strukturelle nedbrytingen av veien, mens de andre kjøretøyene i mindre grad bidrar til nedbryting og skadeutvikling på veien. For å beregne antall ekvivalente aksler (N) trenger man informasjon om mengde og sammensetningen til trafikken. Utregningen av N baserer seg på fjerdepotensregel som lyder følgende:

$$\left(\frac{\text{Aksellast}}{\text{Referanse aksellast}} \right)^4 \rightarrow E = \left(\frac{P}{10} \right)^4 \quad 1$$

Ekvivalensfaktoren E, uttrykker akselens nedbrytbare effekt i forhold til referanseakselen, P er vekten til hver enkel aksel, i Norge er referanseaksellasten 10 tonn (Aurstad, et al., 2016).

En annen viktig variabel når man skal dimensjonere en veioverbygning er klimaet. Regn, snø, is, lufttemperatur, stråling og frost er alle klimafaktorer som har innvirkning på veikonstruksjonens tilstand. Avkjøling, oppvarming, frost og opptining har direkte innvirkning på veikonstruksjonen (Aurstad, et al., 2016).

En annen avgjørende naturgitt faktor som påvirker dimensjoneringen er grunnforholdene. For at veikonstruksjonen skal oppfylle funksjonen sin, er grunnens bæreevne et viktig element. Undergrunnen kan deles inn i sju bæreevnegrupper, disse bæreevnegruppene sammen med trafikklassen er bestemmende for kravet til tykkelsen. (Yideti, Dimensjonering av vegoverbygninger i Norge, 2018).

Arbeidsprosessen ved dimensjonering av en veioverbygning kan kort forklares slik:

1. Bestemmelse av dekketype og tykkelse
2. Beregning av dimensjonerende trafikkbelastning
3. Valg av bærelag og kontroll av bærelagsindeks
4. Valg av materiale og bestemmelse av tykkelse på forsterkningslaget
5. Valg av frostsikringsmateriale og bestemmelse av lagtykkelser (Yideti, Dimensjonering av vegoverbygninger i Norge, 2018)

2.1.2.5 Dimensjonerende levetid

Hvis man dimensjonerer en veioverbygning med grunnlag i vegnormalen Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2018) kan man forvente at veien skal kunne tåle trafikkbelastningen gjennom 20 år. Først etter de første 20 årene vil det være behov for å forsterke veien for at den skal klare å opprettholde sin funksjon i 20 år til. Men vegoverbygningens dimensjoneringsperiode er ikke det samme som dekkets levetid. Typisk levetid for et dekke er 5-15 år avhengig av trafikkbelastning, dekktype og ikke minst overlast (Aurstad, et al., 2016).

2.1.3 Viktige dekkeegenskaper

Følgende krav til fast dekke på veibanen er utarbeidet i Statens vegvesens Håndbok R610 (Statens Vegvesen, 2014) slik at veidekket skal opprettholde sin motstand mot deformasjon og være slitesterk under alle klimatiske påkjenninger:

- God fremkommelighet for trafikantene med en sikker og komfortabel reise
- Redusere nedbrytning av veikroppen påstrøket av trafikale- og klimatiske forhold
- Miljøet på veien og i veiens omgivelser skal ikke avkortes i fordel for veidekke
- Veidekket skal oppfylle alle sikkerhetskravene, jevn overflate, god friksjon, god slitestand, frostsikker og ha en god vanntetningsevne
- Veidekket skal beskytte brudekket mot underliggende fuktisolering og mekanisk påkjenning fra bruplate

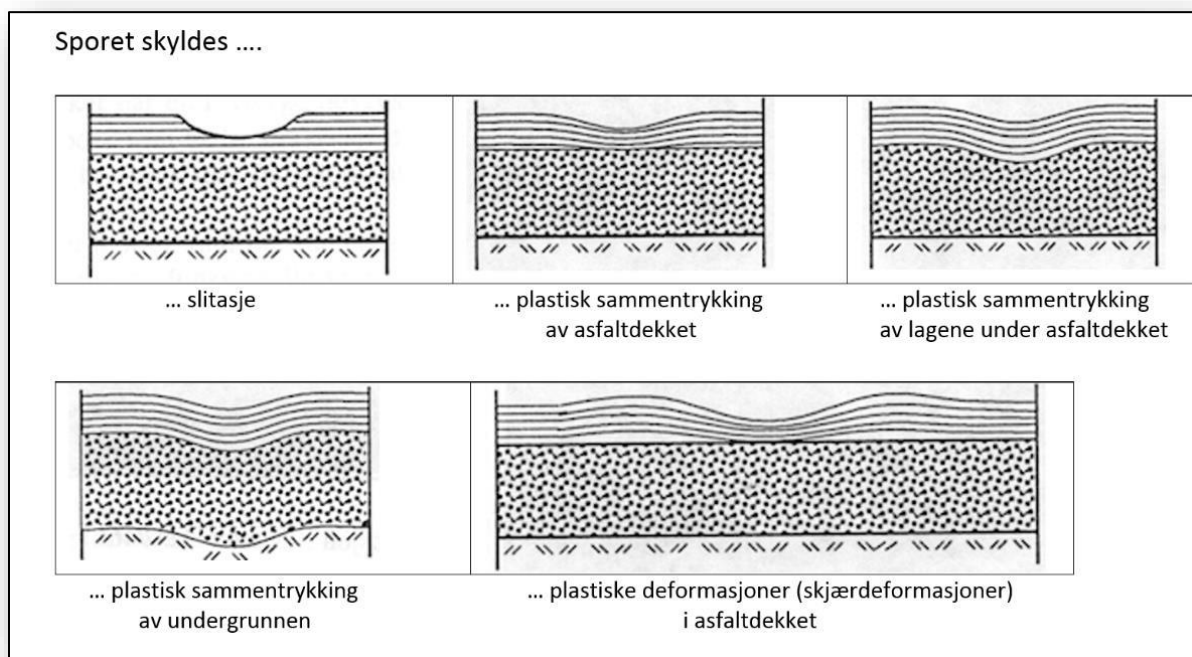
Veidekket skal altså ikke bli påvirket av trafikkforhold, værforhold eller veiundergrunn og skal opprettholde sin motstand mot deformasjon samt ha en jevn og slitesterk overflate slik at trafikantene kan ferdes trygt. Man må balansere ut egenskapene for å få et optimalt resultat, samt oppfylle kravene nevnt ovenfor (Aurstad, et al., 2016).

2.1.3.1 Spor og deformasjoner

Spordannelser og deformasjoner fører til at trafiksikkerheten blir redusert, og er den viktigste årsaken til at asfaltdekkene må fornyes. Det stilles strenge krav til spordybden på riksveier, hhv. 25 mm dybde for ÅDT 0-5000 og 20 mm for ÅDT > 5000 (Yousef, 2018). De strenge kravene for spordybde på veier kommer av at det kan oppstå trafikkfarlige situasjoner ved regn slik som vannplaning eller vannsprut, i tillegg til at spordybde på veibanen vanskeliggjør vedlikehold (Aurstad, et al., 2016).

Vanligvis skilles det mellom tre hovedtyper spordannelse:

- Slitasjespor, hovedsakelig påført av piggdekk
- Spor forårsaket av sammentrykking (etterkomprimering)
- Spor forårsaket av skjærdeformasjoner, altså at massen forskyver seg sideveis



Figur 2-3: Former for spordannelse (Aurstad, et al., 2016)

Figur 2-3 viser slitasjemekanismen og hvordan spordannelsen på veidekket ofte vil være sammensatt. Spordannelsen kan skyldes slitasje fra piggdekk, men også skyldes en kombinasjon av sammentrykking og deformasjon av underlaget (Aurstad, et al., 2016).

Siden 80-tallet har levetiden for asfaltdekke økt betydelig som følge av reduksjon i bruk av piggdekk. På nylagt asfalt er slitasjen fra piggdekk og kjettinger stor, men blir mindre når det grove steinmaterialet i mørtelen blottlegges. Mørtelens og steinens egenskaper og samdriften mellom disse er ikke de eneste faktorene som bestemmer slitestyrken til et asfaltdekke, klimaforhold har også en betydning. Bindemidlet kan bli sprøtt og stein kan bli revet løs fra veidekket ved lave temperaturer (Aurstad, et al., 2016). Hvis man bruker større steinmateriale kan man redusere slitasjen, men dette må balanseres med mykheten i mørtelen slik at det ikke oppstår ustabilitet ved høye temperaturer. Man kan unngå dette ved å bruke polymermodifiserte bindemidler som vil gi lengre dekkelevetid samt redusering av drifts- og vedlikeholdskostnader, men det til en høyere kostnad. Deformasjon av asfaltdekket har tidligere vært nedprioritert fordi man har konsentrert seg om piggdekksslitasje. Erfaring viser at 25 % av tillatt spordybde i verste fall kan forsvinne samme dag som veien åpnes for trafikk (Yousef, 2018).

2.1.3.2 Sprekker og krakelering

Sprekkdannelse er resultatet av hyppige belastninger på et asfaltdekke. Sprekker kan enten forekomme av klimaet slik som telesprekker, eller fra trafikken i form av utmatting. Formen på sprekkdannelsen, og om sprekken er langsgående eller på tvers, gir som regel en pekepinn på hva årsaken kan være (Aurstad, et al., 2016).

Langsgående sprekker kommer som regel av:

- Telesprekker
- Dårlige skjøter mellom asfaltdekker
- Sprekker mellom svak konstruksjon, svak kant

Tversgående sprekker kan komme av:

- Lavtemperatursprekker
- Underliggende stikkrenne
- Telebevegelser
- Underliggende bærelag eller betongdekke med sementstabilisering



Figur 2-4: Langsgående og tversgående sprekker på veibanen (Aurstad, Litt om vedlikehold av vegdekker 1, 2018)

I Figur 2-4 ovenfor kan vi se hvordan langsgående og tversgående sprekker kan utvikle seg i veidekket. Standardkravene i håndbok R610 (Statens Vegvesen, 2014) sier at sprekker med bredde over 20 mm skal tettes igjen i løpet av syv dager, mens sprekker med bredde mellom 10 og 20 mm skal tettes igjen i løpet av fire uker (Aurstad, et al., 2016).

Tettmønstret oppsprekking av veibanen kalles krakelering og ligner litt på overflaten til en krokodille. Årsakene til krakelering kan være:

- Dårlig bærelag
- For liten overbygningstykkelse
- Utmatting
- Aldring, forvitring og uttørking

En god pekepinn på hvor feilen kan ligge kan man se i mønsteret til selve oppsprekkingen. Desto finrutet oppsprekkingsmønsteret er, dess høyere oppe i konstruksjonen ligger materialet som svikter. Svakt underlag i kombinasjon med tynt, aldret og sprøtt asfaltdekke kan føre til krakeleringssprekker. I de fleste tilfeller kan dårlig bærelag være grunnen til krakeleringen (Aurstad, et al., 2016).

2.1.3.3 Friksjon

Friksjon er en viktig faktor i trafikksikkerheten, god friksjon er viktig for å ha kontroll på kjøretøyet. Friksjon er motstanden mot glidning mellom to flater som berører hverandre, derfor vil dårlig friksjon resultere i dårlig veigrep (Larsen, 2018). Friksjonskravet på asfaltdekker er en friksjonskoeffisient μ større enn 0,40, og 0,50 på veier med tillatt hastighet høyere enn 80 km/t (Aurstad, et al., 2016). Friksjonskoeffisienten, μ kan beregnes fra denne formelen:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad 2$$

hvor

- F = Friksjonskraft
- N = Normalkraft

Noen av faktorene friksjon kan bli påvirket av er bildekk, hastigheten, bremsemåten, veidekke og kjøretøyet. Friksjonen avhenger mye av de klimatiske forholdene. På tørr bar asfalt ligger μ mellom 0,90-1,00, mens på våt veibane kan den ligge mellom 0,40-0,90 og på snø kan μ ligge på 0,20-0,30. På tørre veidekker varierer nivået lite fra dekketype til dekketype, og friksjonskravet vil være oppfylt. Ved våt veibane kan enkelte dekketyper føre til større tap av friksjon og variasjonen er derfor større under våte forhold. Friksjonen kan måles på ulike måter med forskjellig utstyr, men retardasjonsmålere og kontinuerlige etterhengende målere er de mest vanlige metodene. Det er en rekke faktorer som har en innvirkning på friksjonen, derfor vil målinger over tid kunne variere avhengig av sesongen (Larsen, 2018).

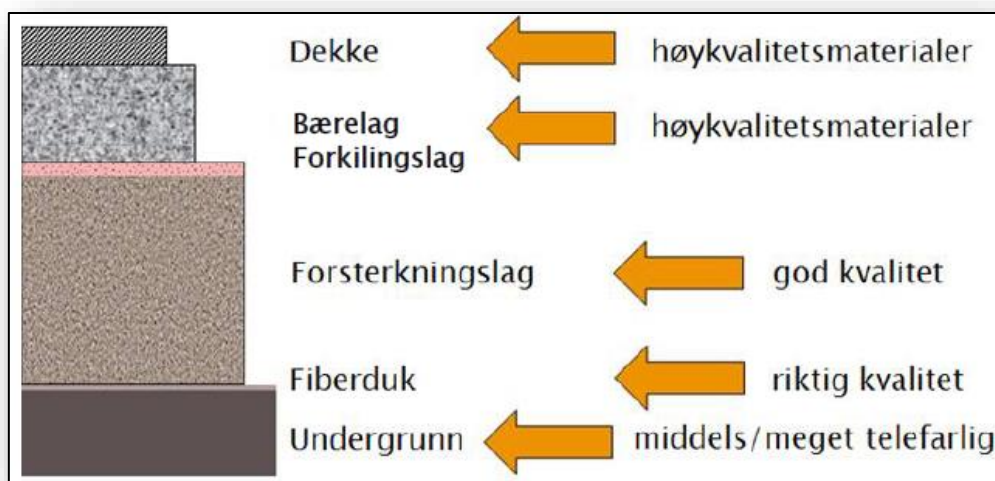
2.1.3.4 Aldring

Utvikling av overflateskader og forvitring til oppsprekking av asfaltdekket betegnes av begrepet aldring. Endringer i bindemidlets egenskaper kan i store trekk bindes til aldringsprosessen. De ulike aldringsegenskapene for de ulike bindemidlene kan oppdages ved hjelp av forskjellige laboriemetoder (Aurstad, et al., 2016). Allerede under produksjon i fabrikken starter aldringsprosessen av asfalten og kan føre til redusert dekkelevetid, til tross for at det har blitt tatt hensyn til lokale faktorer ved valg av bindemiddel (Yousef, 2018).

2.1.4 Kvalitetskontroll av asfaltdekke og veimaterialer

«Materialene i overbygningen skal ha en slik kvalitet og lagtykkelse at det ikke oppstår uakseptable deformasjoner, sprekker eller andre skader i vegdekket i løpet av vegens dimensjoneringsperiode. Entreprenørens kontrollomfang skal være så stort at kvaliteten blir dokumentert på en tilfredsstillende måte» (Statens Vegvesen, 2018).

Man må alltid forsikre seg at sluttproduktet og utførelsen samt den spesifikke materialkvaliteten oppfyller funksjonskravet ovenfor fra N200 (Statens Vegvesen, 2018). Alle kravene til materialkvalitet gjelder for ferdig utlagt og komprimert materiale i vei og ikke for andre faser i prosessen (Wivelstad, 2017).



Figur 2-5: Materialelegenskaper og krav (Moen, 2018)

I Figur 2-5 ovenfor kan vi se hvilke krav som blir stilt til kvaliteten for de forskjellige lagene i veioverbygningen. Man kan se at for de to øverste lagene blir det stilt høyere krav til materialer enn lagene under. Noen andre momenter som er viktige for egnethet og som gir lastfordelende egenskaper er:

- Mekanisk styrke (slitasje og nedknusing)
- Korngradering og kornform (kornfordeling, graderingstall og finstoff)
- Humusinnhold (planterester, røtter, og bark)
- Renhet (homogent mineral- og bergartsinnhold)
- Belegg (som hindrer vedheft i betong og asfalt) (Moen, 2018)

2.2 Bitumen

I dette delkapitlet går vi gjennom bruken og terminologien av bitumen i tillegg til fremstillingen, sammensetningen og spesifikasjonene til bitumen. Videre skal vi se på forskjellige typer bindemidler og hva som skiller disse fra hverandre. Bitumenherding, oksidasjon, tap av flyktige stoffer ved fordampning samt herding av bitumen under lagring, blanding og i drift er alle faktorer som påvirker holdbarheten til bitumen og asfalten. Avslutningsvis skal vi se på en aldringstest av bitumen og hva bitumen testdata diagram er og hvordan dette systemet ble utviklet samt dens formål.

2.2.1 Bindemidler

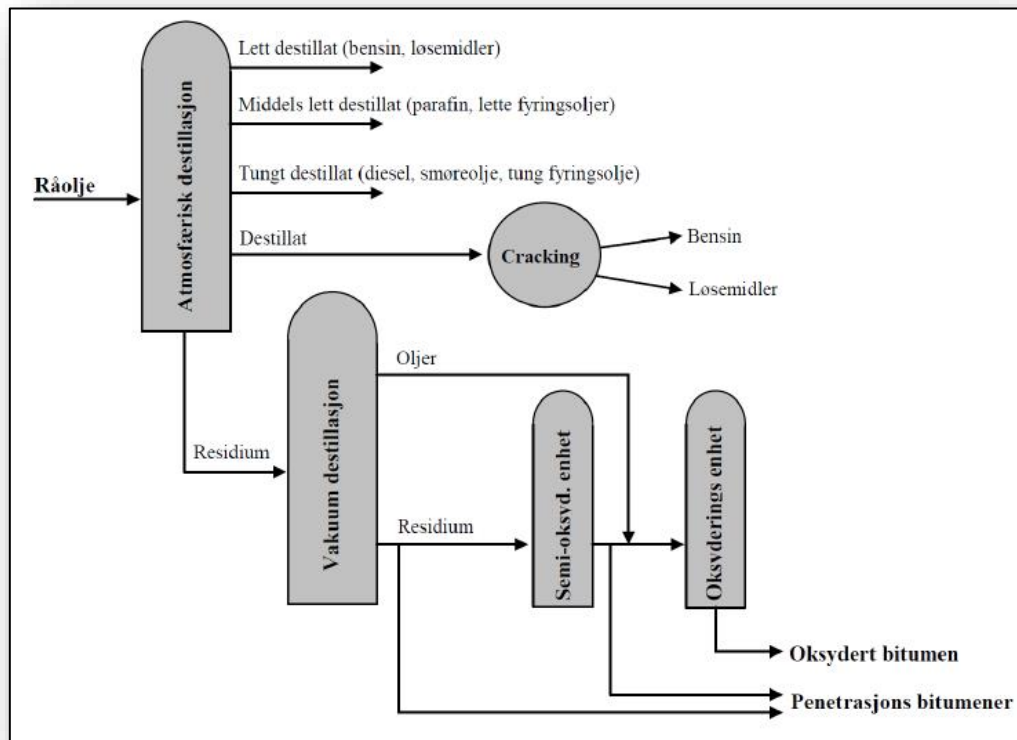
Bitumen har lang tradisjon som bindemiddelet som anvendes i asfaltdekker i tillegg til tetningsmasse og impregneringsmiddel i bygningsmaterialer. Ordet bitumen kommer fra latin og betyr «jordbek» eller «tjære». Bruken av bitumen strekker seg helt tilbake til år 6000 fvt., da man brukte bitumen som tetningsmiddel i båter. Bitumen inneholder i utgangspunktet store tunge hydrokarboner og rundt 5-10 % nitrogen, svovel og oksygen. De tyngste komponentene i råoljen kalles bitumen (Aurstad, et al., 2016).

2.2.2 Bruk av bitumen og terminologien

Store deler av bitumen brukes av bygg- og anleggsbransjen som en tilsetning i produkter som brukes i veikonstruksjonen eller til taktetting. Dens utmerkende vanntette egenskaper og termoplastiske oppførsel gjør den ideell for en rekke anvendelser. Bitumen virker som en viskøs væske for høye temperaturer mellom 100-200 °C og kan blandes med andre komponenter og formes etter behov. Når den er avkjølt vil den igjen bli et fast stoff med hydrofobe egenskaper. Et grovt estimat på bitumenbruk er 102 millioner tonn per år på verdensbasis, og 85 % av allbitumen som produseres brukes i asfalt for bygging av veier og asfalterte områder. I de fleste tilfeller vil asfalt inneholde 5-6 % bitumen, og resterende 94-95 % vil inneholde mineralsk materiale. Av de resterende 15 % av den produserte bitumen går 10 % til taktettingsprosjekter og 5 % går hovedsakelig til tetnings- og isolasjonsformål i en rekke andre bygningsmaterialer som maling, fugemasse og rørbelegg (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.2.1 Fremstilling av bitumen

All bitumen som anvendes i dag er raffinert, og det er i svært liten skala naturlig forekommende bitumen brukes. Det var først på 1900-tallet i USA de forskjellige raffineringsteknikkene ble utviklet og det første raffinerte bitumenet ble produsert. I Figur 2-6 nedenfor kan vi se hvordan bitumen fremstilles og hele prosessen ved destillering av råolje (Adib & Adib, 2018).

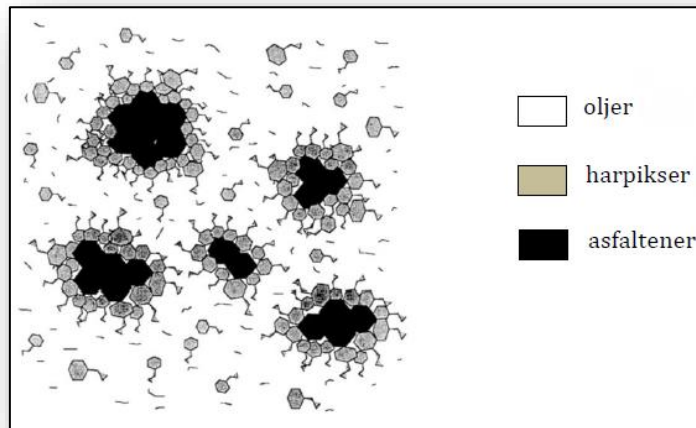


Figur 2-6: Fremstilling av bitumen ved destillering av råolje (Adib & Adib, 2018)

Første steget i denne prosessen er når råoljen går gjennom en atmosfærisk destillasjon der den skiller ut lett-, middels-, og tungdestillat samt kun destillat. Fra lettdestillatet får vi bensin og løsemidler, fra middels destillatet får vi parafiner og lette fyringsoljer, fra tungt destillatet får vi diesel og tung fyringsolje, mens fra kun destillat får vi "cracking" som videre danner bensin og løsemidler. Helt nederst blir de tyngste komponentene i råoljen liggende, residiumet, som går videre gjennom en vakuum-destillasjon for å skille ut de lette destillatene. Etter dette trinnet blir penetrasjons-bitumener fremstilt mens resten av residiumet går gjennom en semi-oksyderingsenhet og oksyderingsenhet for å få fremstilt oksidert bitumen (Yousef, 2018).

2.2.2.2 *Sammensetning av bitumen*

Bitumen er sammensatt av mange, nærmest ukjent antall ulike typer molekyler, som gjør bitumen til et komplekst materiale både kjemisk og fysisk. Molekylene i bitumen er under forandring til enhver tid, avhengig av tiden og temperaturen (Yousef, 2018).



Figur 2-7: Modell av sammensetningen til bitumen (Yousef, 2018)

Det er tre ulike molekylklasser i bitumen som et system består av og som kan virke som en modell for dens sammensetning er:

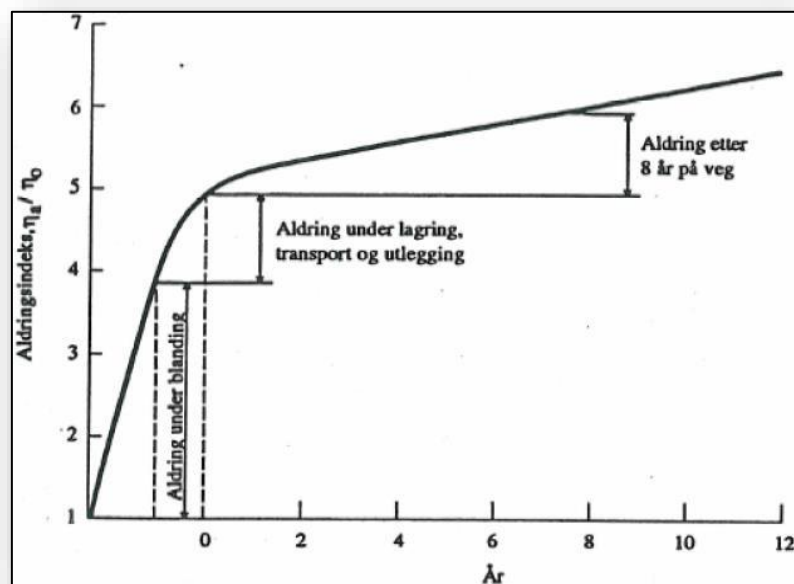
- Asfaltener som utgjør 10 % i et vanlig bitumen
- Harpikser som utgjør 20 % i et vanlig bitumen
- Oljer som oftest utgjør resten i vanlig bitumen

I Figur 2-7 kan vi se en modell for sammensetningen til bitumen. Som vist i figuren danner harpikser ring rundt asfaltene for å stabilisere løsningen som begge er omkranset av den lettflytende oljefasen (Yousef, 2018).

2.2.2.3 *Egenskaper til bitumen*

Bindemiddelet er nødt til å inneha noen viktige egenskaper for at det skal klare å opprettholde sin funksjon i et asfaltdekke. Noen av disse egenskapene kan knyttes til viskositet, holdbarhet og vedheft. En av faktorene som har påvirkning på de funksjonelle egenskapene til bindemiddelet er temperaturvariasjoner og spenninger fra trafikkbelastningen, som har en stor

påvirkning på asfaltdekkes holdbarhet. Dette gjør at bindemidlet over tid mister sine fleksible egenskaper og blir stivt og sprøtt, en prosess som kalles for aldring (Aurstad, et al., 2016).



Figur 2-8: Typisk aldringsprosess for bitumen (Adib & Adib, 2018)

På Figur 2-8 kan vi se hvordan aldringsprosessen foregår. Aldringsindeksen stiger raskt under blanding og begynner å falle først under lagring, transport og utlegging, for deretter å stige lineært (Wess, Olsen, & Sweeney, 2005). Aldring er her gjengitt som endring i aldringsindeks. Forholdet mellom faktisk målt viskositet og bindemiddelets opprinnelige viskositet bestemmer aldringsindeksen (Aurstad, et al., 2016).

En annen viktig egenskap bindemiddelet må inneha er god vedheft til steinoverflatene slik at kornene oppnår ønsket limeffekt. Bitumen har gode heftingsevner men limer seg best til de basiske steinmaterialene. I Norge tilsetter vi litt ekstra amin eller sement til bindemiddelet siden vi har mye kvartsrike bergarter som heller binder seg sammen med vann istedenfor bitumenet, slik at vi sikrer oss veidekkets langtidsegenskaper.

Egenskapene og konsistensen til bitumen avhenger mye av temperaturen siden det er et termoplastisk materiale. I høyere temperaturer vil det være lettflytende og viskøst materiale, ved middels temperatur vil det være et viskoelastisk materiale og ved lavere temperaturer vil det være et stivt, sprøtt og glassaktig elastisk materiale (Aurstad, et al., 2016).

2.2.2.4 Bitumen kvalitet

Over mange år har man undersøkt forholdet mellom laboratoriemålte egenskaper og penetrasjonsgraden til bitumen og dens ytelse ute i asfalten på veikonstruksjonen. Siden ytelseskravene har blitt stadig mer krevende og trafikkbelastningen har økt, har evnen til å forutsi asfaltens langsiktige oppførsel blitt stadig viktigere. Yteevnen på veien er avhengig av mange faktorer som design, dens karakter og kvaliteten på de enkelte komponentene. Sett i forhold til veikonstruksjonen er bitumen en liten komponent i forhold til de andre komponentene, men kvaliteten på bitumenet har en avgjørende rolle som både gir et slitesterkt bindemiddel og de viskoelastiske egenskapene til asfaltdekke (Hunter, Read, & Self, 2015).

I hovedsak kan tilfredsstillende ytelse av bitumen kvalitet på veien sikres gjennom disse fire egenskapene:

- Kohesjon
- Reologi
- Vedheft
- Bestandighet
- Aldring

2.2.3 De forskjellige typene av bitumen og bitumenstandarder

I Europa produseres bitumener og polymermodifiserte bitumener for asfalter i tre standarder:

- EN 12591:2009 (NS), som dekker penetrasjon og viskositetskvalitet bitumener
- EN 13924:2006 (NS), som dekker hard veidekke bitumener
- EN 14023:2010 (NS), som dekker polymermodifiserte bitumener

Nøkkelfunksjonen til alle disse spesifikasjonene er en kombinasjon av penetrasjon og mykningspunkt samt viskositet. Disse egenskapene er vanligvis brukt til å betegne kvaliteten på bitumenet som kreves av kjøperen (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.3.1 Oksiderte bitumener

Oksiderte bitumener brukes stort sett til industrielle anvendelser som taktetting, rørbelegg, maling og gulv. De er designet slik at de kan ha et spesifikt mykningspunkt og penetrasjon. Et oksidert bitumen kan ha graden 85/40, som vil si et mykningspunkt på 85 ± 5 °C, og en penetrasjon på 40 ± 5 dmm. Oksiderte bitumener må i tillegg overholde krav til oppløselighet, tap ved oppvarming og flammepunktkriterier som beskrevet i standarden EN 13304:2009 (BSI, 2009b) (Hunter, Read, & Self, 2015). Oksidert bitumen produseres ved å passere luft gjennom penetrasjonsklassene, noe som gir bitumenet mer gummiaktige egenskaper. Noen av de største fordelene med oksidert bitumen er at den er helt vanntett, svært holdbar og fleksibel samt kjemisk stabil. Disse egenskapene til oksidert bitumen gjør den til en ettertraktet sammensetning (Oxigil, 2019).

2.2.3.2 Hard bitumener

Harde bitumener brukes også som oksiderte bitumener til kun industrielle anvendelser. Harde bitumener er også spesifisert ved hjelp av både mykningspunkt og spesifikk penetrasjon, men er kun angitt for en bestemt mykningspunkt spekter. For eksempel, H80/90 er en hard kvalitetsbitumen med en mykningspunkt mellom 80 og 90 °C. Harde bitumener må overholde krav til oppløselighet, tap ved oppvarming og flammepunktkriterier ifølge EN 13305:2009 (BSI,2009c) (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.3.3 Bindemiddeltypen

Bindemiddeltypen bør velges på bakgrunn av kravet til belastning og lokale forhold som nevnt tidligere. Bituminøse bindemidler er fellesbetegnelsen for alle asfaltbindemidler som baserer seg på bitumen. Det viktigste bindemidlet for asfalt er bitumen som brukes i varme asfaltmasser og fremstilles ved raffinering av råolje. Det finnes syv hovedtyper av bituminøse bindemidler (Yousef, 2018).

2.2.3.3.1 Myk bitumen

Ved blanding av hardt bitumen med en mykner prepareres mykt bitumen som brukes på veier med liten trafikkbelastning siden det gir en mykere asfalt. Mykt bitumen unngår dannelse av sprekker på asfaltdekket, derfor brukes det på underlag som har bevegelse (Yousef, 2018). Mykt bitumen er et norskutviklet produkt, asfalt som inneholder mykt bitumen kalles mykasfalt (Ruud, 2009).

2.2.3.3.2 Bitumenløsning

Parafin og gassolje destillert med bitumen gir bitumenløsning, som passer godt til overflatebehandling, penetrasjon av bærelag av pukk eller klebemiddel og gir i tillegg rask herding (Yousef, 2018). En av ulempene ved bruk av bitumenløsning er at den kan gi ubehag under bruk samt skader miljøet fordi løsemidlene fordampes. Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2014) anbefaler sterkt å bruke bindemidler uten løsningsmidler (Ruud, 2009).

2.2.3.3.3 Bitumenemulsjon

Mykt bitumen som er emulgert i vann kalles for bitumenemulsjon og har mange bruksområder takket være sine praktiske fordeler. Vi kan dele emulsjoner opp i raskt- og saktebrytende emulsjoner hvorav rasktbrytende emulsjoner passer godt til overflatebehandlinger, emulsjonsdekker, forsegling og penetrasjon, mens saktebrytende emulsjoner passer bedre til kaldt gjenbruk og bærelagsstabilisering (Aurstad, et al., 2016). Bitumenemulsjon inneholder dråper av et bindemiddel som flyter i en vannfase, hvor man tilsetter overflateaktive stoffer for å forby dråpene til å smelte sammen. Hvordan emulsjonen oppfører seg når den kommer i berøring med steinmaterialer, blir styrt av disse stoffene (Ruud, 2009).

2.2.3.3.4 Skumbitumen

Når små mengder vann (1-3 %) tilsettes varmt bitumen gir det skumbitumen, som er en kortvarig tilstand. Når vann tilsettes blir vannet ekspandert, noe som gir den skumkonsistensen i skumbitumen. For å få denne skumkonsistensen er det viktig at hele denne prosessen skjer i løpet av noen få sekunder. Skumbitumen brukes stort sett til stabilisering av bærelag, produksjon av asfaltskumgrus og til å lage lavtemperaturasfalt (Yousef, 2018). Det er viktig at skumbitumen brukes raskt i blandingsprosessen med stein- eller grusmaterialet, siden blandingen skummer og volumøkningen er kortvarig (Ruud, 2009).

2.2.3.3.5 Polymermodifisert bitumen (PMB)

Bitumen med små tilsetninger av polymerere som SSB-polymer gir gode egenskaper til bindemiddelet og kalles polymermodifisert bitumen (PMB) som er et bituminøst bindemiddel. PMB brukes stort sett der vanlig bitumen brukes som nevnt tidligere. Ulike tilsetninger av polymerere gir bitumenet ulike egenskaper, men en ting alle har til felles er at de gir økt fleksibilitet og elastisitet til asfaltdekket. Noen av egenskapene til polymerere er at det hindrer deformasjoner i asfaltdekket og gir veidekket evnen til å tåle høye temperaturer om sommeren og lave temperaturer om vinteren (Yousef, 2018). Om sommeren blir bindemiddelet stivere og mer stabilt, og om vinteren blir den mykere og mer fleksibelt (Ruud, 2009).

2.2.3.3.6 Polymermodifisert bitumenemulsjon

Polymermodifisert bitumen kan også benyttes til fremstilling av emulsjoner, og kalles da polymermodifisert bitumenemulsjon (Ruud, 2009). Polymermodifisert bitumenemulsjon er egentlig det samme som bitumenemulsjon. De siste årene har det blitt foretrukket å bruke polymermodifisert bitumenemulsjon enn kun polymermodifisert bitumen på grunn av dens gode hefteegenskaper. Bruksområder for polymermodifisert bitumenemulsjon er overflatebehandling og klebing, samt spesialdekker og tynndekker (Aurstad, et al., 2016).

2.2.4 Holdbarheten til bitumen og asfalten

Det er forventet at bituminøse veioverflater gir en jevn og trafikksikker veioverflate i mange år før det blir nødvendig med vedlikehold eller rehabilitering av veien. Det er vanskelig å si noe spesifikt om holdbarheten til asfaltoverflaten, det finnes eksempler på asfaltoverflater i mange land som er over 40-50 år gamle og som fortsatt har en god og trafikksikker veioverflate (Hunter, Read, & Self, 2015). En definisjon på holdbarhet til asfaltene lyder som følgende:

«Evnen til materialene som omfatter blandingen til å motstå virkningene av vann, aldring og temperaturvariasjoner, i sammenheng med en gitt mengde trafikkbelastning uten betydelig forverring i en lengre periode» (Scholz, 1995)

Det er først og fremst aspekter knyttet til aldringsegenskapene som har størst innflytelse på holdbarheten til asfalten og overflateforbindelser. Kvantifisering av bitumenets holdbarhet har vist seg å være en vanskelig oppgave, metoder som vurderer denne egenskapen pleier å være mer veiledende enn presise. Langtidsstudier gjort av (Scholz, 1995) viser at hvis en asfalt skal oppnå sin forventende levetid, er det viktig at bitumenet ikke blir for overdrevent herdet under varm lagring, asfaltfremstillingsprosessen eller under drift ute på veien. I likhet med mange andre organiske stoffer blir bitumen påvirket av tilstedeværelsen av oksygen, ultrafiolett stråling og temperaturendringer. Disse eksterne påvirkningene fører til at bitumenet herdes, noe som resulterer i en reduksjon av penetrasjonen, en økning i mykningspunktet og vanligvis en økning i penetrasjonsindeksen (PI) (Hunter, Read, & Self, 2015). Herding av bitumen har de seneste årene blitt betraktet som nyttig i lagene i veikonstruksjonen, da det øker materialets stivhet og dermed egenskapene til fordeling av belastningene (Grilli, Gnisci, & Bocci, 2017).

2.2.4.1 Bitumenherding

Årsaken til at bitumen herdes under påvirkning av atmosfæren har vært kjent og studert i mange år. Det er 15 forskjellige faktorer som påvirker bitumen aldring, men de viktigste faktorene er:

- Oksidasjon
- Fordamping
- Steriske eller fysiske faktorer
- Eksudasjon av oljer (Hunter, Read, & Self, 2015)

2.2.4.1.1 Oksidasjon

Oksidasjon anses for å være den viktigste årsaken til herding av bitumen når den for eksempel er utlagt på veioverflaten og er i drift.

Bitumen blir sakte oksidert som mange andre organiske stoffer når den kommer i kontakt med atmosfærisk oksygen. Det dannes polare grupper som inneholder oksygen som har en tendens til å knytte seg til miceller, partikler som er dannet ved kobling eller sammenpakking (aggregering) av like molekyler (Fossum, 2018) med høyere micellærvekt, og dermed øker bitumenets viskositet. Reaksjon av oksygen med bitumenmolekyler forårsaker dannelsen av karbonylarter, noe som videre resulterer i større og mer komplekse molekyler som gjør bitumenet mindre fleksibelt. Graden av oksidasjon er svært avhengig av temperatur, eksponeringsperiode og tykkelsen til bitumenfoilen. Graden av oksidasjon fordobles for 10 °C økning i temperatur over 100 °C. Herding på grunn av oksidering har lenge vært sett som den viktigste årsaken til aldring og de andre faktorene som generelt mindre viktige, men målbare (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.4.1.2 Tap av flyktige stoffer ved fordamping

Fordamping og tap av flyktige komponenter avhenger hovedsakelig av eksponeringsforhold og temperatur. Det er diffusjonshastigheten og lengden eller tykkelsen til diffusjonsbanen som styrer fordampningsgraden. Asfalt som er godt komprimert vil ha en sakte diffusjonsprosess, mens asfalt som er åpen gradert vil ha en raskere fordampingsforhold (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.4.1.3 Sterisk eller fysisk herding

Sterisk herding ble først beskrevet av Traxler i 1944, da han observerte at bitumenprøver lagret ved 25 °C viste en økning i viskositeten. Omorientering eller omlegging av molekyler i bitumen og langsom krystallisering av voks er den vanligste måten for fysisk herding. Denne molekylære omorienteringen som gir herdingseffekten, kan reverseres med påføring av varme, Traxler opplevde ved sitt forsøk i 1944 at ved 70 °C kom bitumenprøven til sin opprinnelige viskositet (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.4.1.4 Tap av flyktige stoffer ved eksudasjon

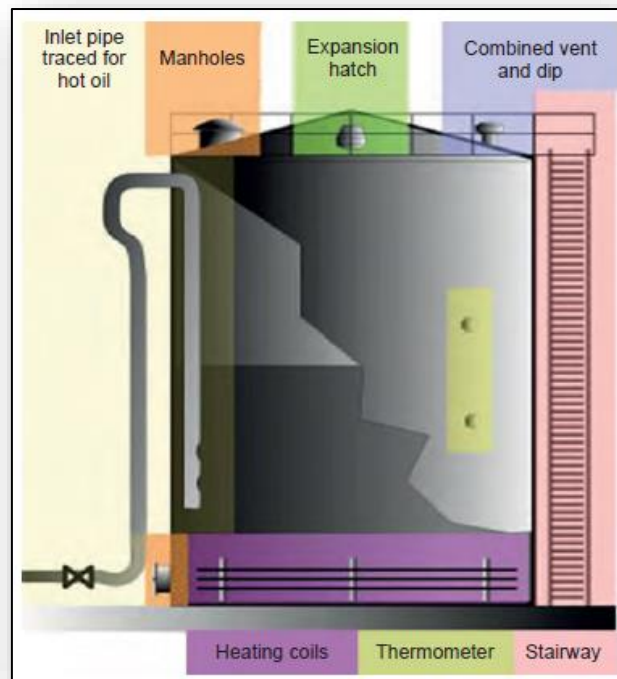
Eksudativ herding virker fra bevegelsen av oljeaktige komponenter som virker fra bitumen til mineralaggregatet. Det er altså en funksjon av eksudasjonstendensen til bitumenet og porøsiteten til aggregatet (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.4.2 Herding av bitumen under lagring, blanding og i drift

Det varierer betydelig for omstendighetene rundt hvordan herding skjer. Under lagring er bitumen lagret i store lagertanker ved høy temperatur i dagevis eller ukesvis. Videre under blanding, oppbevaring, transport og legging er bitumenet en tynn film ved lav temperatur i en lengre periode (Hunter, Read, & Self, 2015). Hulrominnholdet i blandingen bestemmer graden av eksponering for luften i asfalt under drift. Det er relativt liten herding i godt tette komprimerte blandinger, mens asfaltblandinger som ikke er så komprimerte gjennomgår en mer betydeligere herding, som porøs asfalt (Marais, 1974).

2.2.4.2.1 Herding av bitumen i bulklagring

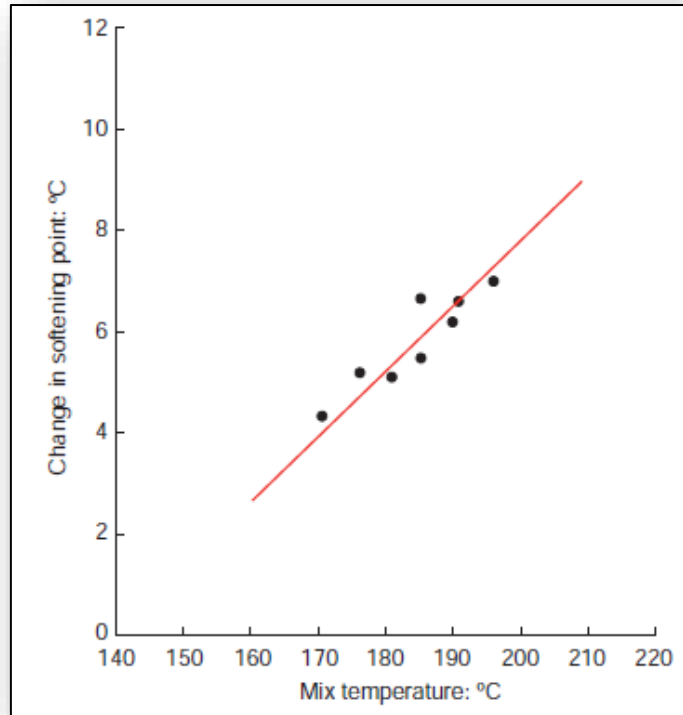
Når bitumen lagres i bulk ved høy temperatur oppstår det lite herding. Undersøkelser gjort av Shell, viser at 3-4 kt av asfaltdekke bitumen lagret ved 150 °C i en 7 kt tank viser ingen endring i viskositet eller penetrasjon over en fire ukers lagringsperiode. Grunnen til dette kan være at overflaten til bitumenet som er utsatt for oksygen er svært liten i forhold til hele volumet. Derimot kan det oppstå betydelig herding hvis bitumenet sirkuleres og faller fra røringgangen på toppen av tanken til overflaten av bitumenet. På Figur 2-9 nedenfor kan vi se hvordan en bitumen-lagringstank bør utformes for å minimalisere denne effekten og optimalisere lagringsprosessen (Hunter, Read, & Self, 2015).



Figur 2-9: Eksempel på utforming av en bitumen lagringstank (Hunter, Read, & Self, 2015)

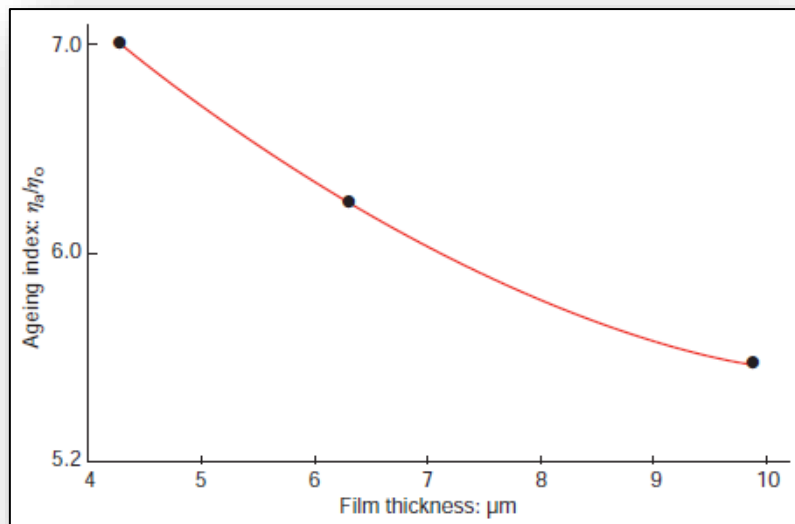
2.2.4.2.2 Herding av bitumen under blanding med aggregat

Herding under blanding med aggregat kan kalles "korttidsaldring" akkurat som herding under legging som vi skal se på senere. Det er anslått at all fyllstoffet og aggregatet er belagt med tynn film av bitumen, med 5-15 μm tykkelse under blandingsprosessen. Når varm aggregat blandes med bitumen og strykes i tynne filmer i en padleblender, er det optimale forhold for oksidasjon og tap av flyktige komponenter i bitumenet. Det fokuseres på spesifikasjonene ved valg av bitumen som skal brukes, siden denne prosessen er kjent ved herding av bitumen. Det er en rekke faktorer som bestemmer mengden av herding, som tykkelsen på bitumenfilmen, blandingsvarigheten og temperaturen. For å minimalisere herdingen under blanding bør man være varsom med alle disse faktorene, spesielt bitumeninnhold og temperatur (Hunter, Read, & Self, 2015).



Figur 2-10: Forholdet mellom forandring i mykningspunkt og temperaturen til blandingen (Hunter, Read, & Self, 2015)

På Figur 2-10 ovenfor kan vi se forholdet mellom forandring i mykningspunkt og temperaturen til blandingen. Man kan se en tydelig økende bitumenherding målt ved høyere verdier av mykningspunkt, når temperaturene til blandingen øker.



Figur 2-11: Effekten av bitumen tykkelse på aldringsindeksen (Hunter, Read, & Self, 2015)

Figur 2-11 viser på samme måte at reduksjon av bitumenfilmens tykkelse øker viskositeten til bitumenet betydelig. Viskositeten blir målt ved aldringsindeksen, som vil si forholdet mellom viskositeten til det nye bitumenet versus det gamle bitumenet. Aldringsindeksen er forholdet mellom to verdier, for eksempel forholdet mellom viskositet og penetrasjon målt ved forskjellige tidspunkter. En annen ting som påvirker herdingsmengden under blanding er type blander, om det er damp tilstede i blanderen vil det begrense tilgangen til oksygen (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.4.2.3 Herding av bitumen i asfalt under varm oppbevaring, transport og legging

Det kreves siloopbevaring for det blandede materialet fra trommelblandere som produserer store mengder asfalt. I lastebiler under transport vil det oppstå enkel herding av bitumenet under varm oppbevaring. Varigheten av eksponering av oksygen, tykkelse av bitumenfilmen, og temperaturen til blandingen vil bestemme mengden herding som vil oppstå. Det kommer luft inn i blandingen og i materialets hulrom når blandingen slippes i en lagringssilo for oppbevaring. Bitumen vil reagere med deler av oksygenet til den innblandende luften under oppbevaringsperioden. Man må passe på at det ikke er noen åpninger hvor luft kan trenge seg inn i siloen, fordi det resulterer i oksidasjon og avkjøling av det lagrende materialer, derfor bør også inngangs- og utgangsdørene være lufttette. For å minimere mengden av fri luft på toppen av siloen, er det ønskelig at siloen er så full som mulig (Hunter, Read, & Self, 2015).

2.2.4.2.4 Herding av bitumen i veikonstruksjonen og på veien

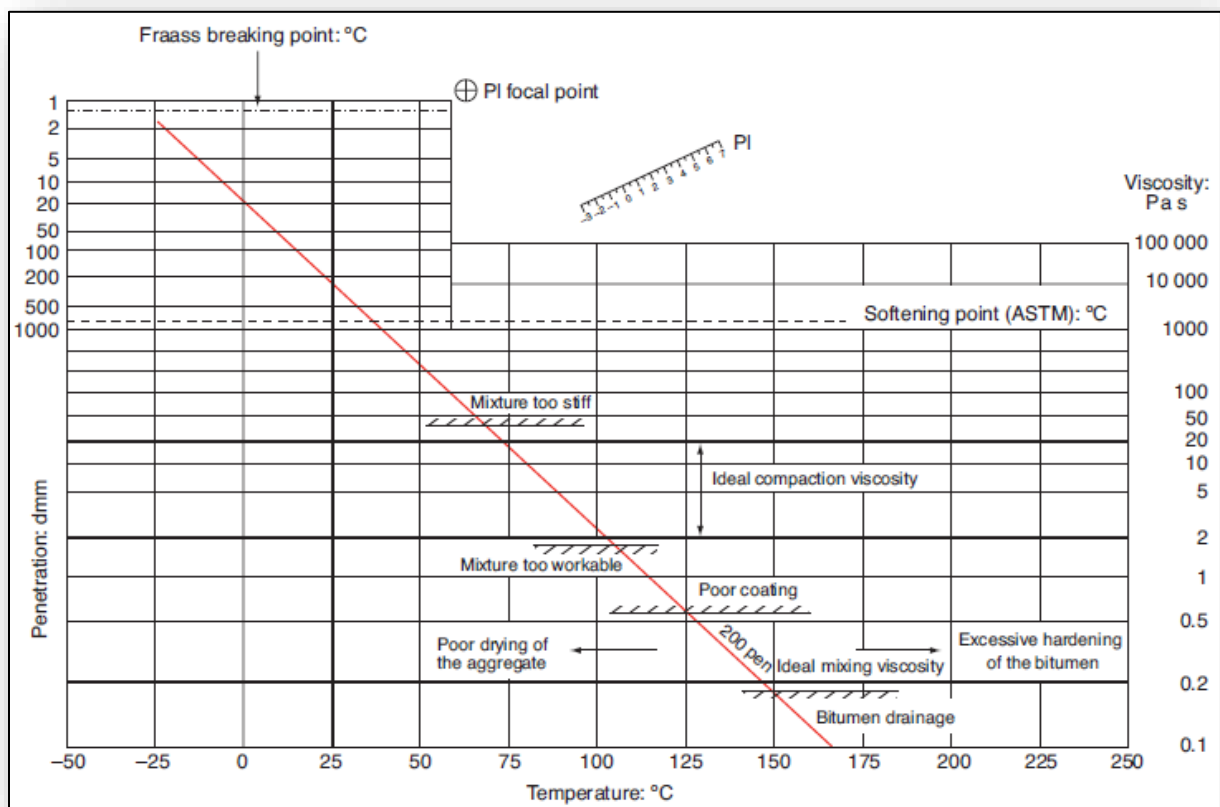
Det er kun en ubetydelig mengde bitumenherding som oppstår under forsvarlig blanding, lagring og transport. Herding vil opprinnelig foregå etter at veidekket er lagt i veikonstruksjonen til den har nådd sin maksimumsverdi. Denne delen av herding blir kalt ‘‘langtidsaldring’’ og er illustrert i Figur 2-8, som viser aldringen under miksing, oppbevaring, transport og etter åtte år i veikonstruksjonen. Blandingens hulrominnhold er hovedfaktoren som påvirker bitumenherding i asfalten, inkludert overflaten. Jo mindre hulrominnholdet er, dess mindre herdes bitumenet siden høyt hulrominnhold muliggjør konstant inntrenging av luft (Hunter, Read, & Self, 2015).

Bitumen i hoveddelen av veikonstruksjonen herdes mye langsommere enn bitumen på overflaten av veien på grunn av tre faktorer:

- Konstant tilførsel av frisk oksygen på overflaten
- Høye temperaturer på overflaten
- Fotooksidasjon av bitumen ved ultrafiolett stråling (Hunter, Read, & Self, 2015)

2.2.5 Bitumen test data diagram

På slutten av 60-tallet utviklet Heukelom et system som lot oss samle resultater fra penetrasjon, viskositet, mykningspunkt og Fraass bruddpunkt i et diagram. Diagrammet blir kalt "bitumen test data chart" på engelsk og temperatur/viskositetsdiagram på norsk, hvor formålet er at man skal kunne beskrive temperatur-avhengigheten (Aurstad, et al., 2016).



Figur 2-12: Eksempel på en bitumen test data chart (Aurstad, et al., 2016)

Diagrammet består av to vertikale akser for penetrasjon og viskositet, og en horisontal akse for temperatur. Penetrasjonsskalaen er logaritmisk, mens temperaturskalaen er lineær slik at penetrasjonsklassifisert bitumener med en typisk temperaturfølsomhet eller penetrasjonsindekser gir lineærlinjeforhold (Hunter, Read, & Self, 2015). På Figur 2-12 kan man se et eksempel på en "bitumen test data chart", der temperaturen er vist på x-aksen gitt i °C, penetrasjonen på y-aksen i dmm og viskositet i Pa s på høyere y-akse. På diagrammet ovenfor har vi et bindemiddel med penetrasjonsverdi på 220 ved 25 °C og en dynamisk viskositet på 90 Pa s ved 60 °C. Fra linjen i diagrammet kan vi se at vi vil få en Fraass-verdi lavere enn -25 °C og et mykningspunkt på omtrent 37 °C (Aurstad, et al., 2016).

"Bitumen test data chart" er et nyttig verktøy for å sikre seg at de riktige driftstemperaturene velges, slik at man kan oppnå den riktige viskositeten for en hvilken som helst klasse av bitumen. Diagrammet kan i tillegg brukes for å sammenligne temperatur/viskositetsegenskapene til forskjellige typer bitumen (Hunter, Read, & Self, 2015). Temperaturfølsomheten styres av penetrasjonsindeksen, jo høyere penetrasjonsindeks, dess lavere er temperaturfølsomheten (Yousef, 2018).

2.3 Gjenbruk av asfalt

I dette delkapitlet skal det gjøres en kort gjennomgang av asfaltgjenbruk, de forskjellige bruksområdene for retur-asfalt og de aktuelle gjenbrukspotensialene ved de ulike bruksområdene. Videre skal vi se på vanlig asfaltproduksjon med gjenbruk og lavtemperaturasfalt med gjenbruksasfalt, hva begge metodene går ut på samt fordeler og ulemper ved disse metodene. I tillegg skal vi se på hvilken miljøpåvirkninger gjenbruk av asfalt har, og hvilken gevinst det har på miljøet. Avslutningsvis går vi gjennom prosedyrene rundt produksjon og lagring av gjenvunnet asfalt, kvalitet og egnethet, samt de ulike gjenvinningsteknikkene.

2.3.1 Oversikt over bruksområder for retur-asfalt

Når man freser bort asfalt som tidligere har vært utlagt på en vei, gate eller på et sted, kalles det retur-asfalt. Når utleggingen på en vei er ferdig, og man fortsatt har asfalt igjen blir også denne asfalten kalt retur-asfalt, det forekommer som oftest som fresemasser eller flakmasser (Sandmann, 2015). For at denne retur-asfalten skal kunne brukes på nytt i en byggevare eller til et annet formål som byggemateriale, må asfalten knuses og siktes til asfaltgranulat (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019).

2.3.1.1 Bruksområder for retur-asfalt

I en asfalt blanding er det omtrent 95 % steinmaterialer som tilfredsstillter kvalitetskravene oppgitt i N200 (Statens Vegvesen, 2018) i tillegg til at de er gunstige for gjenbruk. De resterende 5 % er bitumen. Ved gjenbruk av asfaltgranulat skilles det mellom tre bruksområder (Mirochnikova, 2015):

- Gjenbruk i normerte massetyper
- Gjenbruksasfalt
- Ubunden bruk

2.3.1.1.1 Normerte massetyper

Massetyper som kommer under betegnelsen normerte massetyper er skjelettasfalt (Ska), asfaltbetong (Ab), asfaltgrusbetong (Agb), drensasfalt (Da) og asfaltgrus (Ag). På Figur 2-13 kan vi se spesifikasjonene og hvilken trafikkgruppe de er best egnet til. Massetypene til venstre er best egnet til større trafikk og det stilles derfor økte kvalitetskrav, mens de på høyre side er egnet til mindre trafikk, og for disse stilles det lavere kvalitetskrav. På midten kan vi se Agb som er "markert", fordi den er best egnet på de fleste veier med normal trafikk og er et «allround» asfaltdekke.

Større trafikk/økte kvalitetskrav			Mindre trafikk/lavere kvalitetskrav	
Ska Skjelettasfalt	Ab Asfaltbetong	Agb Asfaltgrusbetong	Ma Mykasfalt	Ag Asfaltgrus
.. er egnet for høy trafikk, motstandsdyktig mot piggdekk – med mye grov stein og mye mørtel. Høyt bindemiddel, som stabiliseres med cellulosefiber for at det ikke skal renne av. For ÅDT > 3000.	.. er egnet på veier med stor trafikk. Skiller seg ikke mye fra Agb, men bindemidlet som brukes er hardere og kravet til steinmaterialet strengere. For ÅDT > 1500.	.. er egnet på de fleste veier med «normal» trafikk. Kan ses på som et «all round» asfaltdekke. For ÅDT 1000 – 3000.	.. er egnet på lavtrafikkveger og g/s-veger der det er behov for et fleksibelt dekke som kan følge med i bevegelser fra telehiv og setninger. Bindemidlet er mykt. For ÅDT < 3000.	En Agb med slakkere krav til grensekurver, som brukes til bærelag

Figur 2-13: Spesifikasjoner for normerte massetyper (Jørgensen, 2018)

Når man sammenblander resirkulert asfalt sammen med produksjon av ny asfalt skal sluttproduktet som legges på veien overholde alle kvalitetskrav, samt opprettholde alle egenskapene den nye asfalten var ment å ha uten blandingen med resirkulert asfalt. Man kan bruke asfaltgranulat i alle normerte massetyper med tilsetning (Aurstad, et al., 2016):

- Inntil 10 % i slitelag
- Inntil 20 % i bærelag eller bindelag

Hvis asfaltgranulatet ikke overholder disse to kravene ovenfor, er man nødt til å ta nye prøver av bindemiddelkvaliteten i granulatet for å på nytt bestemme bindemiddelet som kan brukes i masseproduksjonen (Aurstad, et al., 2016).

Tilsatt bindemiddel	Lag	Massetype	Trafikkmengde, ÅDT	Tilsetning av resirkulert asfalt, maks	
				Kald tilsetning	Forvarmet tilsetning
Polymermodifisert bitumen	Alle	Alle ¹⁾	Alle	10 %	10 %
Vegbitumen	Slitelag	Ska ¹⁾	Alle	10 %	10 %
		Ab	≥ 5000	15 %	25 %
			< 5000	15 %	40 %
	Agb	< 3000	15 %	40 %	
	Bindlag, avrettingslag	Alle	Alle	25 %	40 %
Bærelag	Ag	Alle	25 %	40 %	

Tabell 2-4: Maksimalt tillatt andel av tilsatt resirkulert asfalt i %-vekt (Statens Vegvesen, 2018)

Fra Tabell 2-4 ovenfor kan vi se de begrensningene N200 (Statens Vegvesen, 2018) setter for tilsetning av resirkulert asfalt i normerte massetyper, avhengig av massetype, lagtype, trafikkmengde og produksjonsteknikk, altså om det er kald tilsetning eller forvarmet tilsetning (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019).

2.3.1.1.2 Gjenbruksasfalt (Gja)

Et materiale som kun inneholder resirkulert asfalt med tilsetning av et bituminøst bindemiddel kalles gjenbruksasfalt, og brukes i bærelag og veidekker. Gja kan enten produseres varmt eller kaldt (Arnevik, et al., 2018). Ved kald produksjon blir bindemiddelet tilsatt i form av emulsjon eller skumming i et blandeverk eller direkte på veien ved fresing. Varm produksjon går egentlig kun ut på at dekket er varmet på forhånd før fresing. Ved å produsere gjenbruksasfalt på fabrikk kan man få opptil 80-100 % gjenbruksutbytte. For å myke det aldrende bindemiddelet i asfaltgranulatet kan man blande inn spesialoljer. Produktene man bruker for å mykne bindemiddelet kalles for rejuvenatorer eller foryngelsesmiddel, som vi skal se nærmere på i neste delkapittel (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019).

2.3.1.1.3 Ubunden bruk (Ak)

Ved knusing av fresemasser, oppgravde asfaltflak eller ved granulering produseres knust asfalt, Ak. Der man egentlig ville ha brukt nyproduserte materialer uten tilsetning av bindemiddel eller oppvarming, bruker man ved ubunden bruk asfaltgranulat direkte. Bruksområder for Ak er først og fremst i forsterkningslag, bærelag samt midlertidige anleggsveier (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019). I områder med stor trafikkbelastning i saktegående trafikk, for eksempel rundkjøringer, busslommer og lyskryss bør ikke Ak benyttes. I en veioverbygning kan man kun benytte asfaltgranulat i ett lag, med følgende ÅDT begrensinger:

- Øvre bærelag: ÅDT <1500
- Nedre bærelag: ÅDT <10000

I tillegg bør man ha et jevnt og homogent lag av asfaltgranulat med en maksimal tykkelse på inntil 10 cm i bærelaget (Aurstad, et al., 2016).

2.3.1.2 Aktuelle gjenbrukspotensialer ved de ulike bruksområdene

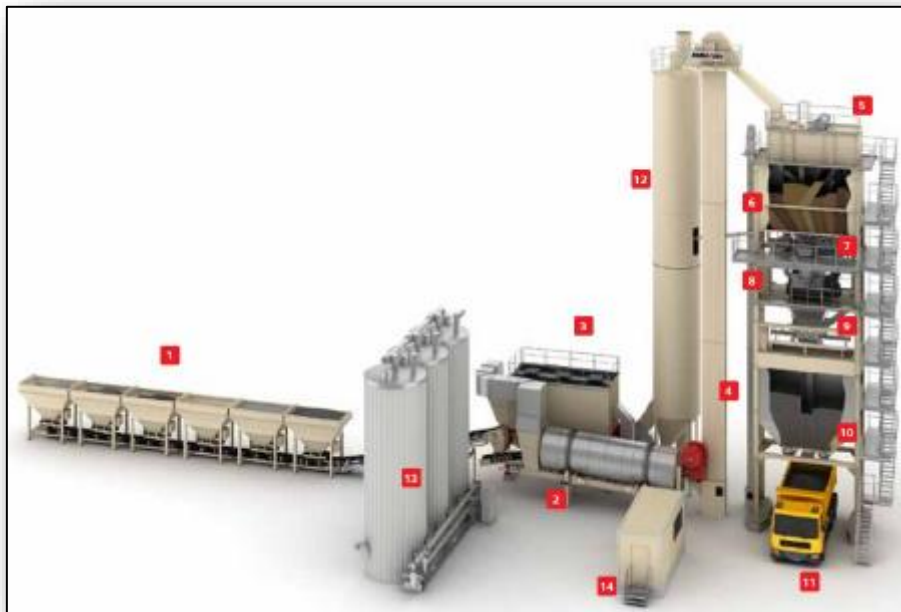
Asfalt er en ikke-fornybar ressurs bestående av steinmaterialer av god kvalitet derfor er det viktig at asfalt gjenbrukes på en slik måte at man får utnyttet potensiale på en best mulig måte (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019). I Tabell 2-5 nedenfor kan vi finne en oversikt over hvor stort gjenbrukspotensiale de forskjellige elementene i veikonstruksjonen har.

Element i veikonstruksjonen	Gjenbrukspotensiale
Normert varmblandet massetype	Nivå tilsvarende opphavet til returafalten
Varm gjenvinning på vei i nytt slitelag	Nivå tilsvarende opphavet til returafalten
Gja (kaldt anriket granulat)	Nivå tilsvarende opphavet til returafalten
Grusdekke	Lavere nivå tilsvarende opphavet til returafalten, materialpotensialet utnyttes
Ubunden bruk i bærelag	Lavere nivå tilsvarende opphavet til returafalten, materialpotensialet utnyttes
Ubunden bruk i forsterkning av vei	Lavere nivå enn opphavet til returafalten, materialpotensialet utnyttes delvis

Tabell 2-5: Gjenbrukspotensialer ved de ulike bruksområdene

2.3.2 Produksjon av asfalt

Asfalt produseres med en blanding av bitumen og steinmaterialer i en asfaltfabrikk. Steinmaterialer kan være av forskjellige kvalitet og materialer som nevnt i første delkapittel. Disse steinmaterialene blir først transportert til fabrikk og lagres i de kalde doseringsboksene helt til venstre merket med 1, i Figur 2-14 (Andersson, et al., 2018).

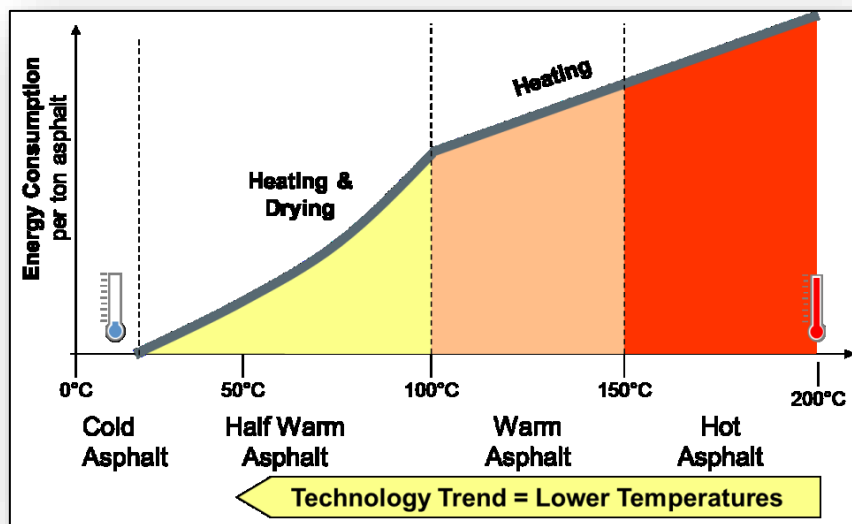


Figur 2-14: Prinsippet og rekkefølgen for de forskjellige trinnene i asfaltproduksjon (Andersson, et al., 2018)

Det er et doseringsbånd under hver boks som tar med materialet videre til et felles oppsamlingsbånd med forskjellige hastigheter, etter asfaltens resept slik at man oppnår den ønskende sammensetningen. Før produksjonen av asfalten kan starte må steinmaterialene tørkes for å oppnå ønsket temperatur på ferdig asfalt. Deretter løftes materialet med en koppheis opp til skjermtårnet, hvor det etter en siling veies ned til asfaltblanderens med stor nøyaktighet. Bitumen gjenvunnet fra raffinering av råolje som omtalt tidligere blir lagret i oppvarmende tanker i asfaltfabrikken hvor den veies og blandes direkte i asfaltblanderens. Deretter kan også asfalten inneholde fyllstoff som kalk eller sement, som blandes i asfaltblandere fra lukkede siloer som disse oppbevares i. Etter 20-50 sekunder i blanderen er asfaltblandingen klar og satsene går ned i en lagersilo før de kan lastes på bil og transporteres videre til utleggingsstedet (Andersson, et al., 2018).

2.3.2.1 Lavtemperaturasfalt (LTA)

Lavtemperaturasfalt er et uttrykk for forskjellige produksjonsteknikker som har blitt oppfunnet de siste årene, som også kalles «Warm Mix Asphalt» (WMA). Hensikten med denne teknikken er å senke produksjonstemperaturen med 10-30 °C uten at det gir noen konsekvenser for veibanens egenskaper, kompresjon og holdbarhet. Noen av fordelene ved denne produksjonsteknikken er en reduksjon i CO₂-utslipp og andre miljøpåvirkninger samt en reduksjon i energiforbruket for oppvarming av steinmaterialet.



Figur 2-15: Temperaturgrenser for ulike produksjonsteknikker (Andersson, et al., 2018)

Denne teknikken er mest brukt i USA, hvor en større andel asfaltproduksjon gjøres på denne måten. Norge har ambisjoner om å bruke over 20 % LTA-andel i 2019. På Figur 2-15 kan vi se hvor stor energiforbruket er ved de ulike produksjonsteknikkene og hvor temperaturgrensene er for disse teknikkene.

2.3.2.2 Asfaltproduksjon med gjenbruk

Ved asfaltproduksjon med resirkulert asfalt kan den enten tilsettes direkte i asfaltblanderens kald eller varm. Hvis man skal tilsette kald resirkulert asfalt direkte i blanderen må det resirkulerte materialet oppvarmes sammen med de nye steinmaterialene i asfaltblanderens. Ved denne metoden kan den maksimale tilsetningsgraden av resirkulert asfalt være rundt 30 % avhengig av kapasiteten til produksjonsanlegget, materialet, været og fuktforholdene. For å måle

tilsetningsgraden til gjenvunnet materiale er det viktig å ha et doseringssystem som måler at riktig mengde resirkuleringsasfalt tilsettes. Det nye materialet varmes til en høyere temperatur enn den opprinnelige temperaturen slik at etter tilsetningen av resirkulert asfalt oppnår ønsket temperatur (Andersson, et al., 2018).

En annen mulighet for doseringsformen er at den resirkulerte asfalten blir lagt i oppvarmingsheisen som fører det varme steinmaterialet fra utløpet til tørketrommelen til skjermtårnet som man kan se i Figur 2-14. Under denne doseringsformen kommer den resirkulerte asfalten i kontakt med det varme steinmaterialet allerede under transporten og ikke i blanderen. Det er ulike argumenter for hvilken metode som er ideell siden begge har sine fordeler og ulemper. En av ulempene til denne metoden er at den oppvarmede resirkuleringsasfalten vil kunne tette varmesilen slik at det nye steinmaterialet og den resirkulerte asfalten veies samtidig. Enkelte asfalt bruker en kombinasjon av begge disse metodene (Andersson, et al., 2018).

2.3.3 Miljøpåvirkninger fra asfalt gjenbruk

Mindre behov for råvarer, redusert transport og mindre utslipp av klimagasser er noen av de positive miljøpåvirkningene fra gjenbruk av asfalt, mens oppsamling, transport, lagring og bearbeiding er noen de negative miljøpåvirkningene. Derfor er det viktig å sammenligne miljøgevinstene med det motsatte for å se hvilken miljøpåvirkninger gjenbruk av asfalt har.

2.3.3.1 *Gevinst ved gjenbruk av asfalt*

Undersøkelser gjort av Jan van der Zwan (Zwan, 2012) viser den relative fordelingen av klimagassutslippene for produksjon og utlegging av asfaltdekker slik:

- Produksjon og transport av råmaterialene: 44 %
- Produksjon av varm asfalt på fabrikk: 31 %
- Transport og utlegging av asfaltdekke: 18 %
- Drift og vedlikehold i asfaltdekkets levetid: 7 %

Hvis vi kun ser på produksjonen av asfalt på fabrikk viser fordelingen av klimagassutslippene følgende:

- Produksjon og transport av steinmaterialer: 8 %
- Produksjon og transport av bitumen: 36 %
- Blanding av asfaltmassen: 8 %
- Lagring og fylling av bil: 6 %

Det er ikke nøyaktige verdier, siden det er flere faktorer som er med på å påvirke disse verdiene, som for eksempel hvor langt steinmaterialet skal fraktes, fuktforhold og hvilken energikilder som benyttes til oppvarming (Wendel, 2016). Men det gir et godt anslag på hvor stor miljøpåvirkning de forskjellige stegene i asfaltproduksjonen har. Energiforbruket på fabrikken vil øke når man skal bruke gjenvunnet asfalt, siden steinmaterialet varmes opp til en høyere temperatur enn det som trengs, for å kompensere for temperaturløstap ved tilsetning av asfaltgranulat. Men uansett vil det totale energiforbruket og CO₂-utslippet bli redusert siden det blir en reduksjon i produksjon av nye materialer, spesielt bitumen når man bruker gjenvunnet asfalt. Det er viktig å holde asfaltgranulatet tørt for å redusere CO₂-utslippet og energiforbruket. 10 % gjenbruk vil gi 4 % reduksjon i CO₂-utslipp fra råvare produksjon til produsert asfalt, mens 50 % gjenbruk vil gi 20 % reduksjon i CO₂-utslippet ifølge European Asphalt Pavement Association (EAPA). For å kunne vurdere og sammenligne miljøpåvirkningen til de ulike asfalttypene, produksjonsmåtene samt produksjonsstedene har asfaltbransjen laget et verktøy for utarbeidelse av miljødeklarasjoner (Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA), 2019).

2.4 Rejuvenatorer

I det siste delkapittelet gir vi en introduksjon til hva rejuvenatorer er, karakteriserer og gir en teknisk gjennomgang av rejuvenatorer. Videre skal vi se på effekten av rejuvenatorer, hvordan man måler effektiviteten og hvilke faktorer som påvirker den, samt mengden rejuvenator som trengs basert på penetrasjonsverdien og mykningspunkt-temperaturen. Vi skal også gå gjennom hvilken effekt rejuvenatorer har på bitumen-aldring og til slutt skal vi se på bruksområder for asfalt rejuvenatorer og blandingen av gjenvunnet asfalt med rejuvenator.

2.4.1 Introduksjon av rejuvenatorer

Gjenbruk og gjenvinning av asfaltdekke er ganske utbredt i Europa nå, og asfaltmaterialer er 100 % gjenbrukbare i nye asfaltdekker uten at de må nedbrytes til sin opprinnelige funksjonalitet. Med gjenbruk av gjenvunnet asfalt med standard bituminøse bindemidler kan en gjenbruksgrad på 50 % oppnås, men det oppstår noen utfordringer. I de siste årene har flere polymermodifiserte og hardere bitumener blitt brukt i asfaltproduksjon, derfor kan vi ikke gjenvinne den asfalten med «standard» teknologi (European Asphalt Pavement Association, 2018). Derfor har industrien klart å identifisere nye metoder som kan løse disse utfordringene og imøtekomme de nye behovene ved hjelp av rejuvenatorer. Samtidig vil man maksimere utnyttelsen av gjenbruk ved å øke prosentandelen av gjenvunnet asfalt i nye blandinger med tanke på miljø og de økonomiske gevinstene (Boyer, 2000). Bindemiddelet i resirkulert asfalt blir vanligvis hardere under bruksfasen. For å oppfylle kravene til nye asfaltblandinger, krever de med høyt gjenvunnet asfaltinnhold, altså 25 % eller mer, ofte bruk av mykere bindemidler, mykningsmidler eller rejuvenatorer. Mykere bindemidler eller rejuvenatorer har en tendens til å redusere stivheten til det gamle gjenvunnet asfaltbinderen og forbedrer ytelsen under mange forhold. Avgjørelsen om man skal bruke et mykere bindemiddel eller rejuvenator avhenger av kvaliteten og stivheten til bindemiddelet til den gjenvunnede asfalten, mengden av gjenvunnet asfalt som skal tilsettes og egenskapene til blandingen som skal produseres (European Asphalt Pavement Association, 2018). Rejuvenatorer har blitt studert og brukt i over 50 år, men likevel er det veldig få som har en god forståelse for produktbruken og hva en rejuvenator er (Garcia, Schlangen, & Ven, 2010).

2.4.1.1 Karakterisering av rejuvenatorer

Rejuvenatorer er en oljeaktig væske for å gjenopprette de reologiske egenskapene til det aldrede bindemiddelet fra den gjenvunnede asfalten. Rejuvenatorer kan ikke ta tilbake den kjemiske sammensetningen av det opprinnelige bindemiddelet på produksjonsstadiet, spesielt effekter av oksidasjon av bitumen kan ikke reverseres i en asfaltfabrikk (Kuang, Feng, Yu, Chen, & Zou, 2011). Hensikten med bruk av rejuvenatorer er å forbedre den reologiske oppførselen slik at de mekaniske egenskapene til bindemiddelet blir rekonstruert for å fremstille en passende asfaltblanding som oppfyller alle de tekniske forskriftene. Rejuvenatorer bør kun brukes i asfalt hvis følgende kan dokumenteres:

- Det er ingen miljøpåvirkning under lagring, behandling og bruk av rejuvenator nå, eller i fremtiden.
- Det er ingen ulemper med hensyn til helse og sikkerhet for allmennheten og arbeidere under behandling og bruk av den produserte asfalten nå, eller i fremtiden.
- Det er ingen negativ innvirkning på den tekniske produktutviklingen av asfalt nå, eller i fremtiden.
- Det påvirker ikke asfaltens gjenbruk og resirkulerbare egenskaper.
- Tilsetningen av rejuvenator påvirker ikke helse- og miljøklassifiseringen av asfalten.

Egenskaper til rejuvenatorer skal leveres av leverandøren og støttes av anbefalinger med hensyn til håndtering, bruk og anvendelse (European Asphalt Pavement Association, 2018).

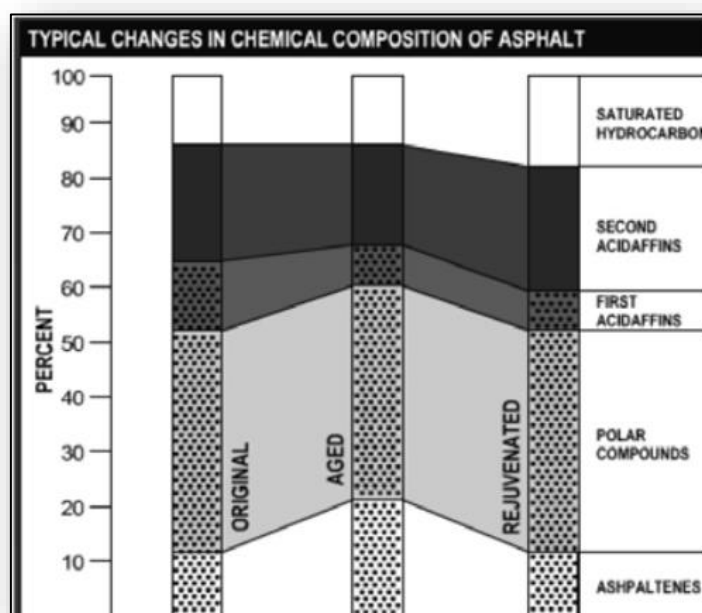
2.4.1.2 Karakterisering av bitumen fra den gjenvinnende asfalten

For å kunne sammenligne alle de opprinnelige egenskapene til bitumen fra den gjenvunnede asfalten må bitumen til den gjenvunnede asfalten karakteriseres, og sammenlignes med egenskapene til bitumen fra den gjenvunnede asfalten og rejuvenatoren. Den gjenvunnede asfalten skal karakteriseres ved bruk av EN 13108-8. For å bestemme rejuvenator-type kan flere tester utføres, men det kreves at penetrasjonsverdi og mykningspunkt testes i henhold til EN 1426 og EN 1427. Man kan i tillegg teste dynamisk viskositet ved 135 °C, stivhet og Fraass bruddpunkts-temperatur. Hvis man ønsker en dypere forståelse av egenskapene til det gjenvunnede bindemiddelet, kan det være nyttig å undersøke de reologiske egenskapene ved å

bruke DSR-målinger i et passende temperaturområde. For å kunne velge et passende produkt og for å få en anbefaling til å bestemme metoden og mengden rejuvenator som må tilsettes er karakterisering av bitumen fra den gjenvunnede asfalten ved hjelp av en rejuvenator relevant (European Asphalt Pavement Association, 2018).

2.4.1.3 Teknisk forståelse av rejuvenatorer

Asfalt består av to hovedfraksjoner, asfaltener og maltener, hvorav asfaltener er den sprø harde komponenten som er uoppløselig og ikke påvirket av oksidasjon, mens maltener er oljeaktige og harpiksholdige i utseende. Rejuvenatorer må være en emulsjon-blanding, det vil si en blanding av to væsker som ikke er fullstendig løselige med hverandre, hvor den ene væsken, altså olje, er fordelt som dråper i den andre som i vårt tilfelle vil være vann (Brownridge, 2010).



Figur 2-16: De typiske endringene i den kjemiske sammensetningen til asfalt (Brownridge, 2010)

På Figur 2-16 kan vi se de typiske endringene i den kjemiske sammensetningen med aldring av et typisk asfaltdekke (Brownridge, 2010). Man kan se hvordan det originalt er før aldring, og senere hvordan det blir etter tilsetning av rejuvenator. Man får nesten oppnådd samme originale stadium etter at man tilsetter rejuvenator til aldrert asfaltdekke (Boyer, 2000).

2.4.2 Effektiviteten av rejuvenatorer

Man må først bestemme den spesifikke virkningen av et tilsetningsstoff før man kan justere rejuvenator-doseringen. En indikasjon på effektiviteten til rejuvenatoren kan kun fås gjennom bitumenprøving eller bitumen- og asfalttesting. Man kan gjøre flere tilnærminger for å bestemme mengden rejuvenator som må tilsettes. Leverandøren skal gi data om hvordan produktet påvirkes med bitumen, mens det er produsenten som må forholde seg til rejuvenator-type og doseringen til bindemiddelegenskapene for den ønskede spesifikasjonen. Hvis man kun skal forholde seg til bitumentesting, kan effekten av rejuvenatorer kartlegges fra følgende resultater:

- Endringer i konsistensen
- Penetrasjonsverdi ved 25 °C
- Temperaturen til mykningspunktet
- Viskositet, men kun for myk asfalt

For å få mer informasjon om effekten av rejuvenator kan ytterligere testing utføres, blant annet reologiske egenskaper ved bruk av dynamisk skjær-rheometer (DSR). Men først og fremst må rejuvenator-mengden baseres på å oppfylle kravene til penetrasjonsverdien og mykningspunkt i henhold til EN 13108 (European Asphalt Pavement Association, 2018).

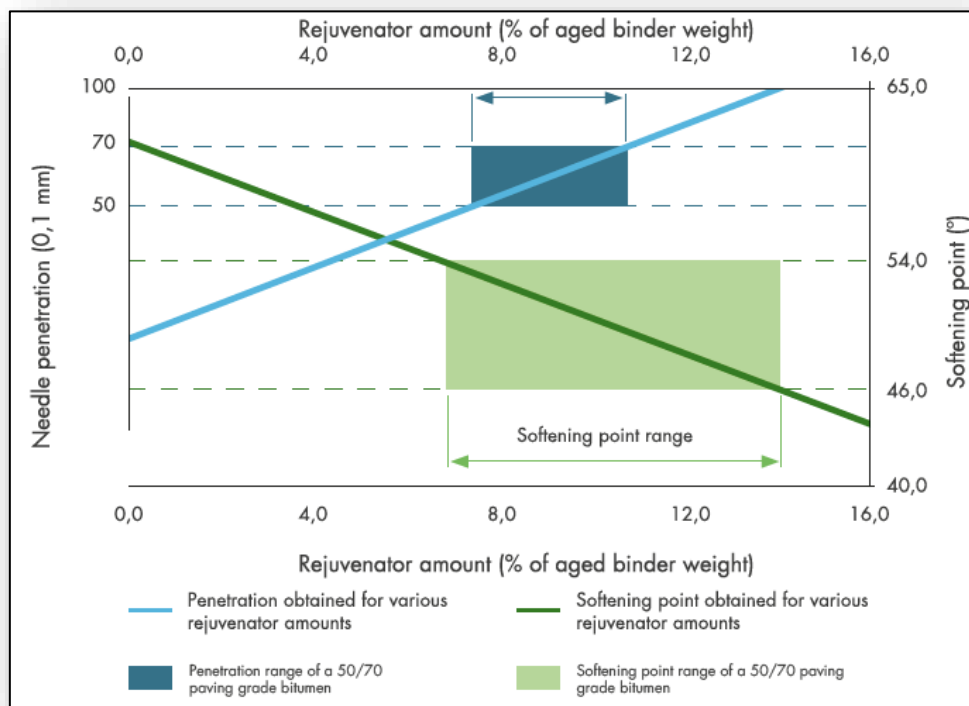
2.4.2.1 Måle effektiviteten til en asfalt rejuvenator

Man kan måle effektiviteten til en asfalt rejuvenator ved hjelp av følgende metode:

- Mål reduksjonen i viskositeten til det gamle asfaltbindemidlet for å kunne bestemme effekten til rejuvenatoren.
- Finne viskositeten til gjenvunnet bindemiddel før og etter behandlingen med rejuvenator.
- Små mengder blanding til prøvemeter for utvinning og gjenvinning av asfaltbindemidlet.
- Det tas 4'' eller 6'' kjerner fra asfaltdekke og det øverste ½ tommers laget fjernes før viskositeten til det gjenvinnende bindemiddelet måles (Brownridge, 2010).

2.4.2.2 Mengden rejuvenator som trengs basert på penetrasjonsverdien og mykningspunkt temperaturen

Bituminøse bindemidler karakteriseres fra penetrasjonsverdien og mykningspunkttemperaturen i Europa. Denne tilnærmingen kan brukes for å bestemme mengden rejuvenator som trengs. Hovedformålet med bruk av rejuvenator er å oppnå fleksibilitet igjen, og deretter må man kontrollere konsekvensene ved høye temperaturer. I tillegg må man først bestemme mengden rejuvenator som trengs for å gjenvinne penetrasjonsverdien, for deretter å kontrollere mykningspunktet. Figur 2-17 nedenfor viser et eksempel på hvordan mengden rejuvenator påvirker de empiriske parameterne i forhold til rejuvenator-mengden (European Asphalt Pavement Association, 2018).

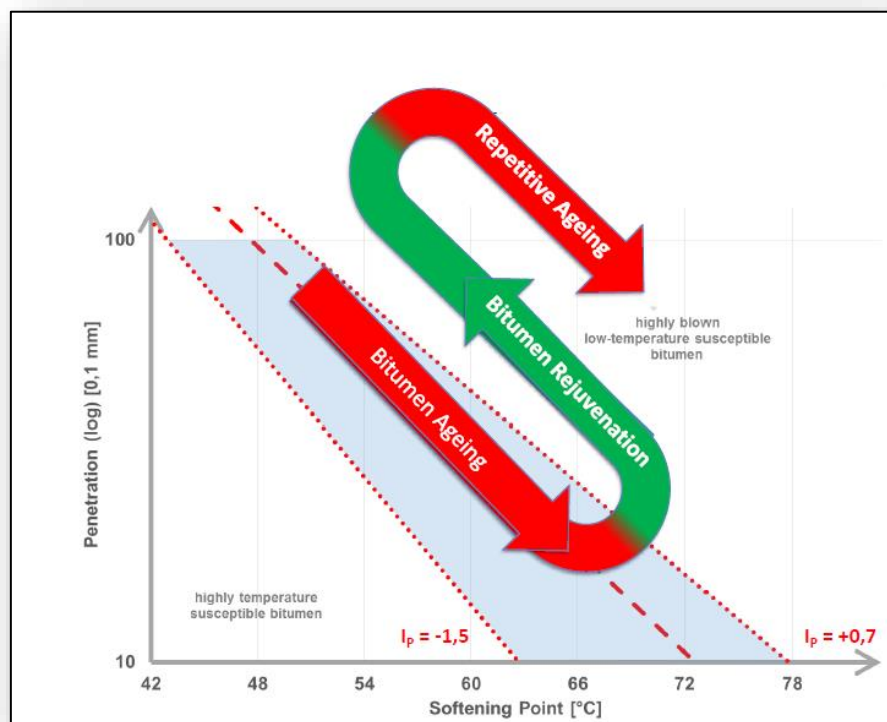


Figur 2-17: Eksempel på et blandingsdiagram for en bestemt type rejuvenator og gjenvunnet asfalt (European Asphalt Pavement Association, 2018)

På figuren kan vi se doseringsområdet for bindemiddelet som er tilsatt rejuvenator, og hvor den oppfyller kriteriene for en 50/70 dekkegradbitumen for en gitt rejuvenator. Det er viktig å velge en passende parameter for å oppfylle kravene til asfaltbindemidler fordi den optimale doseringen varierer avhengig av den valgte egenskapen. Derfor er valget av parametre som skal brukes til evaluering av rejuvenatoren svært viktig (European Asphalt Pavement Association, 2018).

2.4.2.3 Effekten av rejuvenator på aldret bitumen

På Figur 2-18 nedenfor kan vi se hvordan rejuvenatorer påvirker aldret bitumen. Man kan se at penetrasjonsverdien minker og mykningspunktet øker når bitumenet blir aldret, og når man tilsetter bitumen rejuvenator øker penetrasjonsverdien igjen, mens den deretter minker igjen etter en stund. Fra diagrammet kan man se hvordan rejuvenatorer reverserer de opprinnelige egenskapene til et bituminøst dekke.



Figur 2-18: Effekten av rejuvenator på bitumen aldring (Johannsen, 2018)

2.4.2.4 Valg av passende rejuvenator

For å finne den riktige mengden og den beste rejuvenator typen kan penetrasjonsverdien og mykningspunktstemperaturen gi en god innsikt som nevnt tidligere. Men disse empiriske testene gir ofte ikke nok informasjon om valg av riktig rejuvenator type, og langsiktig oppførsel av bindemiddelet med rejuvenator. Disse testene gir ikke et dypere innblikk i de reologiske fenomenene, for å få dypere informasjon kan dynamisk skjær-rheometer (DSR) brukes for å bestemme bindemiddelegenskaper som kompleks skjærmodul G^* og fasevinkel δ . Disse målingene utføres som oftest for forskjellige temperaturer og frekvenser på det originale og det

aldrede bindemiddelet. Egenskaper for bindemidler kan presenteres som masterkurver for G^* og δ i et diagram, slik at man kan sammenligne virkningen av aldring eller sammenligne de forskjellige bindemidlene og rejuvenatorene. Man må være oppmerksom på at det ikke kan garanteres at alle de opprinnelige egenskapene til det aldrede bindemiddelet fra den gjenvunne asfalten kan gjenvinnes ved å bruke rejuvenator (European Asphalt Pavement Association, 2018).

2.4.3 Bruksområder for asfalt rejuvenatorer

Å ta hensyn til asfaltens karakteristiske oppførsel er et godt planlagt program for å forebygge vedlikehold, siden aldringsprosessen skyldes kjemiske endringer i asfalten. Reclamite var det opprinnelige konseptet for asfalt rejuvenatorer og kom på markedet i 1960, og var et produkt som skulle rekonstruere asfalten samt holde veien i god tilstand. Dens funksjon var å gjenopplive aldret asfalt ved å redusere luft- og vannpermeabiliteten. Rejuvenatorer brukes som oftest på asfaltdekker som er 3-7 år gamle, men kan også brukes på helt nye asfaltdekker for å redusere permeabiliteten. Det mest ideelle bruksområdet for rejuvenatorer er asfaltdekker uten noen grunnfeil, hvor veikonstruksjonen er riktig dimensjonert men hvor det kun er veidekket som viser tegn til vedlikehold (Brownridge, 2010).

2.4.3.1 Blanding av gjenvunnet asfalt med rejuvenator

Når, hvordan og hvor man skal blande rejuvenatoren på asfaltfabrikken er viktig å bestemme for asfaltprodusenten. Prosedyrene og utstyret avhenger av en rekke faktorer, som egenskaper til rejuvenatoren, kapabiliteten til anlegget og utstyret samt timingen. Derfor er det viktig at det tas hensyn til blandingsprosessen for å sikre en optimalisert blanding av rejuvenator og med gjenvunnet asfalt, det nye bindemidlet og andre komponenter i blandingen. Det er ved følgende trinn rejuvenatoren kan tilsettes resirkulert asfalt:

- Ved gjenvunnet asfaltlagring
- På beltet med gjenvunnet asfalt
- Ved innløpet til asfalttrommelen

- Etter at den gjenvunne asfalten har forlatt tørketrommelen og før den går inn i blanderen
- Inne i blanderen

Det finnes fordeler og ulemper ved alle de forskjellige tilsetningspunktene fordi en jevn og god fordeling av rejuvenatoren er viktig for å få gjenvunnet asfalt med samme mengde rejuvenator. I tillegg bør rejuvenatoren ha god nok tid til å reagere med det gamle bindemiddelet fra den gjenvunne asfalten for å kunne gjenopplive det gamle bindemiddelet. Ulempen ved at rejuvenatoren tilsettes ved utløpet til trommelen, er at den gjenvunne asfalten allerede er forvarmet og da har ikke rejuvenatoren tid til å diffundere til det allerede bindemiddelet. Å tilsette rejuvenator i blandingsprosessene må også vurderes nøye siden blandingen er en relativ kort prosess på 25-45 sekunder for å oppnå et godt resultat (European Asphalt Pavement Association, 2018).

3 Teori

Dette kapitlet presenterer teorien og metoden for testene som ble utført og en beskrivelse av utstyret som ble brukt i denne oppgaven.

3.1 Bituminøse bindemidler

Kravene til delmaterialer i asfalt inkluderer bituminøse bindemidler, vedheftningsmidler, fibertilsetninger og steinmaterialer. Kravene til bituminøse bindemidler er generelle og gjelder ved all bruk i veibygging, mens kravene til vedheftningsmidler, fibertilsetninger og steinmaterialer gjelder bare ved bruk i asfaltmasser (Statens Vegvesen, 2018).

	Enhet	Prøvingsmetode NS-EN	Gradering						
			35/50	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330	330/430
Penetrasjon ved 25 °C	0,1 mm	1426	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330	
Penetrasjon ved 15 °C	0,1 mm	1426							90-170
Mykningspunkt	°C	1427	50-58	46-54	43-51	39-47	35-43		
Løselighet	%	12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Dynamisk viskositet ved 60 °C ¹⁾	Pa s	12596	≥ 225	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30	≥ 18	≥ 12
Viskositet ved 135 °C ¹⁾	mm ² /s	12595	≥ 370	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135	≥ 100	≥ 85
	mPa·s	13302/13702	≥ 340	≥ 270	≥ 210	≥ 160	≥ 125	≥ 90	≥ 80
Fraass bruddpunkt	°C	12593	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15	≤ -16	≤ -18
Flammepunkt	°C	ISO 2592	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220		
		ISO 2719						≥ 180	≥ 180
Motstand mot oppherd- ing, RTFOT ved 163 °C		12607-1	Krav til gjenværende egenskaper etter korttidsaldring						
Masseendring, +/-	%	12607-1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Gjenværende penetrasjon	%	12607-1 + 1426	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37	≥ 35	
Viskositetsforhold (etter/før) ved 60 °C ¹⁾		12607-1 + 12596						≤ 4,0	≤ 4,0
Økning i mykningspunkt	°C	12607-1 + 1427	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11		

Tabell 3-1: Krav til penetrasjonsgradert veibitumen (Statens Vegvesen, 2018)

I Tabell 3-1 ovenfor kan man se kravene og benevningene til penetrasjonsgradert bitumen basert på NS-EN 12591, disse kravene må være oppfylt ved anvendelsestidspunktet (Statens Vegvesen, 2018).

3.1.1 Penetrasjon

Bitumen kan klassifiseres ved bruk av penetrasjon. Denne testen måler hardheten til bitumen, og er en gammel erfaringsbasert test som ble utviklet på slutten av 1800-tallet (Aurstad, et al., 2016). Det er kanskje den mest brukte testen for å spesifisere eller måle bindemiddelkonsistens av både ny og aldret bitumen. Jo lavere penetrasjonsverdien er, dess hardere er bitumenet og motsatt - høyere penetrasjonsverdi betyr mykere bitumen (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000).



Figur 3-1: Apparat for måling av penetrasjon

Testen utføres ved at en nål med spesifiserte dimensjoner penetreres inn i prøven av bitumen under en gitt last på 100 g, ved en fast temperatur på 25 °C og i en gitt tid på 5 sekunder. Denne nedsynkningen uttrykkes som avstand i desimillimetre som enhet, altså 1 dmm er 0,1 mm, som gir oss penetrasjonsverdien (Hunter, Read, & Self, 2015). Penetrasjonsverdier opptil 330 kan utføres med disse vilkårene, men hvis forventet penetrasjon er over 330 må prøvingen utføres ved 15 °C og lengre tempereringstid vil være nødvendig. Ved mykt bitumen trenger man lengre nåler og dypere kopp. For hver test tas det tre målinger, gjennomsnittet fra disse målingene rundes opp til nærmeste heltall. Den registrerte penetrasjonsverdien kan rapporteres hvis forskjellen mellom de tre enkelt-målingene ikke overstiger en spesifisert grense (Statens Vegvesen, 2015). På Figur 3-1 ovenfor kan man se apparatet vi brukte for å måle penetrasjonen under det eksperimentelle arbeidet vårt.

Det er veldig viktig at testmetoden følges nøye, bare en liten variasjon i prøvetesting kan forårsake stor forskjell i resultatet. Noen av de vanligste feilene er:

- Feil temperatur og timing
- Ikke rene nåler og dårlig vedlikeholdt apparat
- Unøyaktig prøvetaking og uriktig prøve-forberedelse

Temperaturkontroll er en kritisk faktor som må være innenfor $\pm 0,1$ °C, i tillegg må nåler jevnlig kontrolleres for renslighet, retthet og dimensjonering (Hunter, Read, & Self, 2015).

3.1.2 Mykningspunkt

Mykningspunkt er en annen parameter for karakterisering av bindemidler til asfalt, som også blir kalt «kule og ring»-verdien. I tillegg brukes det ofte til å bestemme konsistensen av penetrasjonskvalitet eller oksidert bitumen. Mykningspunkt er et mål på hvor mye asfalten tåler før den blir deformert i den øvre delen av brukstemperaturområdet (Aurstad, et al., 2016). De spesifikke kravene til mykningspunkt i de norske bindemiddelspesifikasjonene kan man finne i Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2018).



Figur 3-2: Apparat for måling av mykningspunkt

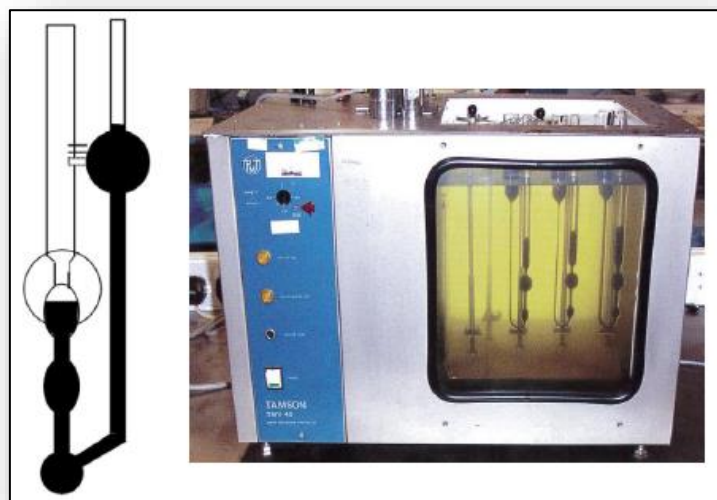
Testen utføres ved at det plasseres en liten stålkule på 3,5g på en prøve av bitumen som er støpt inn i en ring og plassert på et stativ i et vannbad ved 5 °C. Vannbad brukes til bitumener med et mykningspunkt på 80 °C eller lavere, og glyserolbad brukes til mykningspunkt over 80 °C. Vannet i vannbadet varmes jevnt med en temperaturstigning på 5 °C per minutt til bitumenet mykner, og tilslutt vil kulen gradvis falle gjennom ringen. Vanntemperaturen registreres i det øyeblikket ballen berører grunnplaten som er 25 mm under ringen. Testen utføres i duplikat, altså to tester utføres samtidig, og man tar gjennomsnittet av de to målte temperaturene, som blir kalt mykningspunkt-temperaturen, eller kule- og ring-verdien (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000). Hvis forskjellen mellom de to resultatene er mer enn 1 °C for mykningspunkt under 80 °C og 2 °C for mykningspunkt over 80 °C, må testen gjøres på nytt. Denne testen må også utføres med stor nøyaktighet akkurat som penetrasjonstesten. Noen av de viktigste tingene man bør tenke på er dimensjonen på ringen og ballen, tilberedningen av prøven, tilført varme og nøyaktigheten av temperaturmålingen (Hunter, Read, & Self, 2015). På Figur 3-2 ovenfor kan man se apparatet vi brukte til å måle mykningspunktet under det eksperimentelle arbeidet vårt. På figuren kan man se at det er like før kulen faller gjennom ringen og mykningspunkt-temperaturen registreres.

3.2 Viskositet

Det er viktig at bindemiddelet har riktig flytkonsistens når man skal blande sammen bindemiddelet og steinmaterialet. Viskositet er definert som forholdet mellom den påførte skjærspenningen og hastigheten til skjærstrømmen (Hunter, Read, & Self, 2015). Væskens viskositet kan fortelle om væsken er tungt- eller lettflytende, lav flyteevne vil si at væsken er tungtflytende og høy flyteevne vil si at væsken er lettflytende. Jo høyere viskositeten er, dess lavere vil flyteevnen være og motsatt jo lavere viskositet, dess høyere flyteevne. Viskositet er et mål på motstandsevne mot deformasjoner i viskøse materialer, akkurat som E-modul er et mål på motstandsevne mot deformasjoner i elastiske materialer. Man kan bruke ulike typer viskosimetre og rheometer for å bestemme flyteegenskapen under ulike forhold (Aurstad, et al., 2016).

3.2.1 Kinematisk viskositet

Som nevnt ovenfor kan viskositet måles på mange forskjellige måter. Kinematisk viskositet er en grunnleggende egenskap for bitumen, siden den bestemmer hvordan materialet vil strømme ved en gitt temperatur. En vanlig måte å måle viskositeten til bitumen er å måle tiden som kreves for en bestemt mengde materiale som skal strømme gjennom en åpning, vanligste måten å gjøre det på er ved hjelp av kapillarviskosimetre som vist i Figur 3-3 nedenfor (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000).



Figur 3-3: Eksempel på Cannon-Fenske kapillarviskosimeter (Aurstad, et al., 2016)

Kapillære viskosimetre er hovedsakelig glassrør med smale og brede deler, som er utstyrt med to eller flere merker for å indikere et bestemt volum eller en strømning. Verdien av den kinematiske viskositeten bestemmes ved å måle tiden bitumenet bruker på å strømme gjennom et glasskapillært viskosimeter ved en gitt temperatur. Viskosimeteret er kalibrert opp mot væsker med kjent viskositet, slik at man har en spesifikk kalibreringsfaktor som gjelder kun for det røret (Hunter, Read, & Self, 2015). Når man skal måle viskositeten til et asfaltbindemiddel fyller man først viskosimeteret med bindemiddelet etter prosedyren, oppnår den ønskende temperaturen og dermed lar man bindemiddelet strømme fra den høyere kuleformede delen ned gjennom røret til venstre side inn til den andre kuleformede delen slik som vist på figuren ovenfor (Aurstad, et al., 2016).

Man tar tiden det tar for å fylle opp hver av de små kulene og bruker deretter følgende formel for å regne den kinematiske viskositeten:

$$v = C * t \quad 3$$

hvor:

- v = kinematisk viskositet [mm^2/s]
- C = kalibreringskonstanten til viskosimeteret [mm^2/s^2]
- t = gjennomstrømningstid [s]

Man kan omregne kinematisk viskositet til dynamisk viskositet ved å multiplisere kinematisk viskositet med væskens densitet ved aktuell prøvingstemperatur (Statens Vegvesen, 2015).

3.2.2 Dynamisk viskositet

Forholdet mellom skjærspenning og skjærhastighet definerer viskositet ifølge den klassiske fluidmekanikken. Dynamisk viskositet skyldes en indre friksjon i luft eller vann som skapes når to sjikt med forskjellige væsker eller gasser beveger seg i forhold til hverandre (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000). Den største forskjellen mellom kinematisk viskositet og dynamisk viskositet er at det påføres en kraft som fører til strømning ved dynamisk viskositet, mens ved kinematisk viskositet er det tyngdekraften som fører til strømningen (Aurstad, et al., 2016).

3.2.2.1 Dynamisk skjær rheometer

Dynamisk skjær rheometer (DSR) brukes for å karakterisere den viskøse og elastiske oppførselen til bitumen. I denne testmetoden måler man kompleks modulus, G^* , som et mål for resistansen til et materiale mot deformasjon når den blir utsatt for gjentatte spenninger av skjærspenningen, i tillegg måler man fasevinkelen δ , som er et mål for materialets elastiske respons (Karlsson, Isacsson, & Ekblad, Rheological characterisation of bitumen diffusion, 2006). G^* består av to komponenter, en elastisk gjenvinnbar komponent og en viskøs ikke-gjenvinnbar komponent. For å få en indikasjon på de gjenvinnbare og ikke-gjenvinnbare mengdene brukes fasevinkelen, δ . G^* og δ for bitumen er begge avhengige av temperaturen og den påførte lasten, ved høye temperaturer oppfører bitumen seg som en viskøs væske uten

evnen til å gjenvinne deformasjonen, mens ved lave temperaturer oppfører bitumen seg som et elastisk faststoff (Pay, 2017). Den komplekse modulusen G^* kan regnes gjennom følgende formel:

$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}} \quad 4$$

hvor:

- G^* = kompleks modulus [kPa]
- τ_{max} = skjærspenning [Pa]
- γ_{max} = skjærtøyning [s^{-1}]

DSR gir en mer komplett bilde av oppførselen til bitumen ved veidekke-temperaturen i forhold til mange andre bindemiddeltester ved å måle G^* og δ (Pay, 2017).

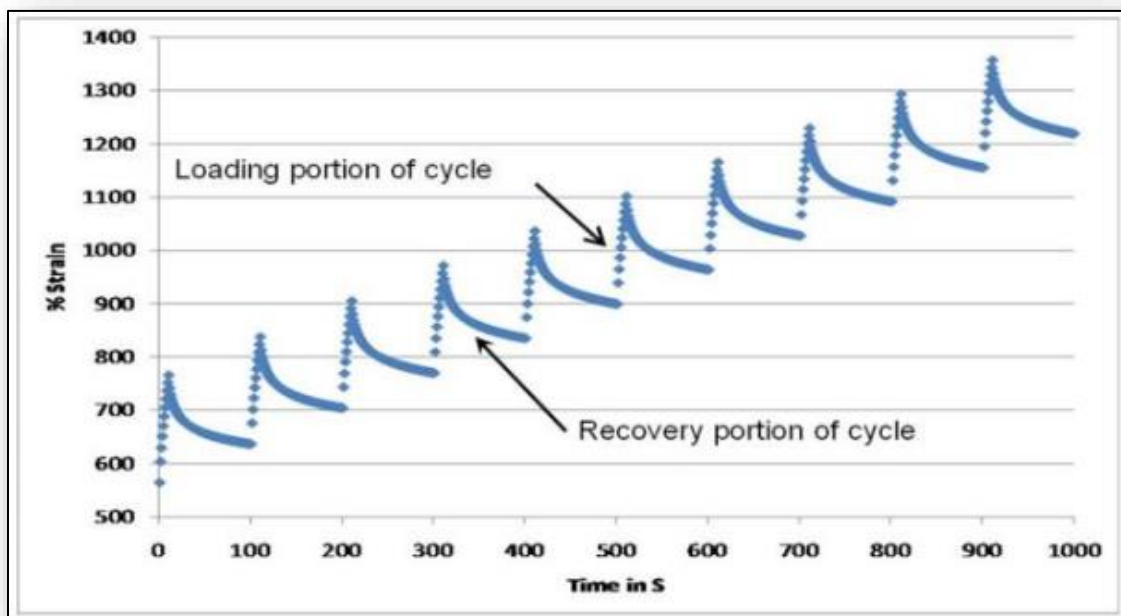


Figur 3-4: Dynamisk skjær rheometer apparat

I en DSR-test heller man bitumenprøven i en prøve kopp med en bestemt diameter og tykkelse. Prøven plasseres i en plate-plate sensor geometri i henhold til prøvingsstandarden og tempereres til ønsket temperatur før testen begynner. En datamaskin kontrollerer DSR-testparameterne og lagrer resultatene. Testen går ut på at man gir prøven en konstant oscillerende spenning på 10 radianer per sekund og registrerer belastningen og tidsforsinkelsen. Rheometer programvaren beregner G^* og δ automatisk og gir oss verdiene (Pay, 2017).

3.2.2.2 Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT)

De siste årene har Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT) blitt anvendt i større grad for vurdering av deformasjonsegenskapene til bindemidler. Denne metoden ble utviklet av Federal Highway Administration i USA og introdusert av D'Angelo. MSCRT måler parametre ved høyere tøyninger og involverer polymernetverket, dette gjør at MSCRT lettere kan fange den mekaniske responsen av polymermodifisert bitumen. MSCRT er en standard reologisk test som utføres med en dynamisk skjær-rheometer (Pay, 2017).



Figur 3-5: Eksempel på resultat fra MSCRT-test på et bindemiddel (Pay, 2017)

I en MSCRT blir en prøve utsatt for en konstant belastning i ett sekund etterfulgt av ni sekunder hvile, slik utsettes prøven for 10 gjentatte belastningssyklus. Den resulterende deformasjonen måles som en funksjon av tid og påført spenning. Man starter forsøket med et lavt spenningsnivå for deretter å øke spenningsnivået. Testen utføres ved 60°C og den påførte tøyningen og elastiske tilbakegangen registreres for hvert spenningsnivå for hver enkel belastning og for hele sekvensen på 10 repetisjoner. På Figur 3-5 kan man se et eksempel på resultat fra MSCRT på et bindemiddel. På plottet kan man se mønsteret for deformasjon og hvordan den utvikler seg med spenningsnivået. Man kan da fortelle om følsomheten til materialet for deformasjon under den påførte belastningen og temperaturen (Aurstad, et al., 2016).

3.3 Analyse av bitumen og modifisert bitumen

Resultater fra de forskjellige prøvingsmetodene for bitumen kontrolleres og evalueres mot spesifikasjonene og kravene som er satt i Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2018). For å oppfylle kravene i Tabell 3-1, må prøvingsmetoden for testen utføres riktig, det omfatter alt fra forbehandling av prøven til selve testingen.

3.3.1 Fraass bruddpunkt

Fraass bruddpunkt test brukes til å beskrive atferden til bitumen ved svært lave temperaturer, så lavt som $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bitumen bør testes for lave temperaturer for å kontrollere om asfaltdekket har evnen til å motstå oppsprekking under kalde forhold (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000).



Figur 3-6: Apparat for måling av Fraass bruddpunkt til venstre, og plateprepareringsapparat til høyre

Testen går ut på at man smelter en bindemiddelprøve 0,5 mm på en stålplate, på en plateprepareringsplate med en varm og kald del som vist til høyre i Figur 3-6. Deretter blir prøven lagt i apparatet til venstre i figuren ovenfor og blir bøyd sakte. Prøven blir kjølt ned med $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ per minutt til bindemiddelet når en kritisk stivhet og sprekker opp. Temperaturen der prøven sprekker opp, betegnes som Fraass bruddpunkt (Lerfald, Ageing and Degradation of

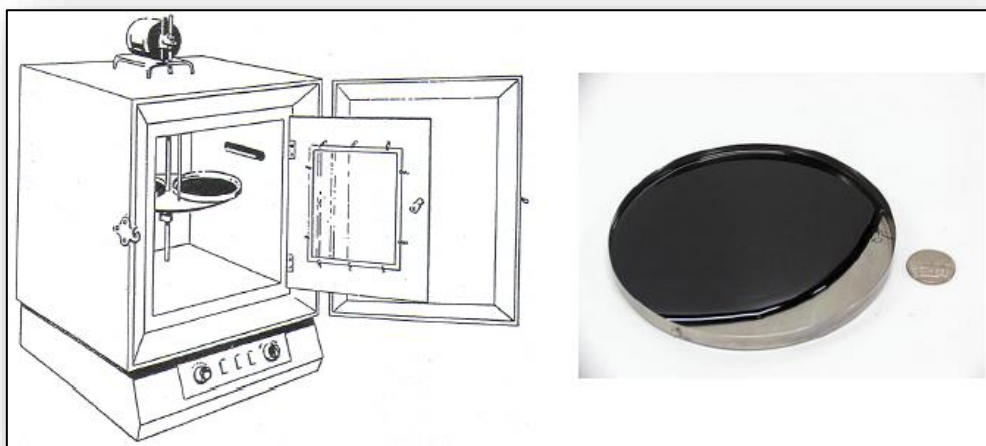
Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000). For at resultatet skal være godkjent må bruddpunktet ligge ± 2 °C enn forventet bruddpunkt. Man må ha to godkjente resultater før man kan ta gjennomsnittet av disse og finne det endelige bruddpunktet som oppgis i hele grader.

3.3.2 Aldringsforsøk

I forrige kapittel gikk vi gjennom hva aldring er og hvordan aldring påvirker veikonstruksjonen. Men for å bestemme motstanden til bitumen mot herding i de forskjellige produksjonsstadiene trenger vi en rekke laborietester (Hunter, Read, & Self, 2015). Bindemiddelet vil i større eller mindre grad herde ved varmblanding av asfalt. Bindemiddelet vil bli stivere ved at det blander seg med oksygen siden flyktige komponenter fordampes. Herding som skjer under blanding og utleggingen på veien kalles «korttidsaldring», mens «langtidsaldring» skjer i et lavere tempo ute i feltet under påvirkning av klimatiske forhold.

3.3.2.1 Thin Film Oven Test (TFOT)

Thin Film Oven Test simulerer aldringen som forekommer i bitumen under blanding, transport og legging. Under denne testen blir bitumen fordelt i et tynt lag på 3,2 mm i en rund form som vist i Figur 3-7 nedenfor, som deretter blir utsatt for en temperatur på 163 °C i 5 timer. Denne testen gir et godt bilde av den faktiske herdingen som skjer ute i feltet (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000).



Figur 3-7: Skisse av apparat for Thin Film Oven Test (Aurstad, et al., 2016)

Relativ økning i kinematisk viskositet før og etter TFOT kan beregnes slik:

$$\Delta\nu = \frac{\nu_2}{\nu_1} \quad 5$$

hvor

- ν_1 = viskositet før oppherding [mm^2/s]
- ν_2 = viskositet etter oppherding [mm^2/s]

Masseendring før og etter TFOT kan beregnes slik:

$$\frac{M_2 - M_1}{M_1 - M_0} * 100 \quad 6$$

hvor

- M_0 = masse tom beholder [g]
- M_1 = masse beholder med prøve før test [g]
- M_2 = masse beholder med prøve etter test [g]

Negativ masseendring angis som massetap, og positiv masseendring angis som masseøkning (Karlsson & Isacsson, Bitumen Rejuvenator Diffusion as Influenced by Ageing, 2011) (Statens Vegvesen, 2015).

3.3.2.2 Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT)

Rolling Thin Film Oven Test ble utviklet i 1963, og formålet med testen er å gi en nøyaktig simulering av hva som skjer med bitumen under produksjon og utlegging (Karlsson & Isacsson, Bitumen Rejuvenator Diffusion as Influenced by Ageing, 2011). Siden oksidasjon og fordamping er hovedårsakene til aldring av bitumen, og disse blir akselerert i stor grad av økende temperatur og økende overflateareal brukes RTFOT for måling av endringer ved både oksidasjon og fordampning. RTFOT brukes for å simulere oppherding og endringer av veibitumenets egenskaper ved blanding i et asfaltblandeverk og ved legging ute i feltet. (Pay, 2017).



Figur 3-8: Apparat for Rolling Thin Film Oven Test

I denne testen er åtte sylindrerformede glassbeholdere med 35 g bitumen hver, festet i en vertikal roterende hulle som Figur 3-8 viser ovenfor. Under prøven strømmes bitumen rundt i den indre overflaten av beholderen i en relativ tynn film, samtidig som varm luft blåses inn i glassbeholderen hver 3-4 sekund. Temperaturen under testen bør være på 163 °C og varigheten på testen er 75 minutter. Resultatet man får i denne testen er ikke helt identisk med det man finner ute i feltet, men mengden herding i RTFOT korrelerer godt med det som observeres under fremstilling av asfalt. Denne herdingen fører til en reduksjon i penetrasjonsverdien og en økning i mykningspunktet til bitumenet (Hunter, Read, & Self, 2015).

Endringer i egenskaper etter oppherding i RTFOT kan beregnes slik:

$$\% \text{ gjenværende penetrasjon ved } 25 \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{P_2}{P_1} * 100 \quad 7$$

hvor

- P_1 = penetrasjon før oppherding [1/10 mm]
- P_2 = penetrasjon etter oppherding [1/10 mm]

$$\text{endring i mykningspunkt i } ^\circ\text{C} = T_2 - T_1 \quad 8$$

hvor

- T_1 = mykningspunkt før oppherding [$^\circ\text{C}$]
- T_2 = mykningspunkt etter oppherding [$^\circ\text{C}$]

$$\text{viskositetsforhold ved } 60 \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad 9$$

hvor

- η_1 = viskositet før oppherding [mm^2/s]
- η_2 = viskositet etter oppherding [mm^2/s]

Negativ massendring angis som massetap, og positiv masseendring angis som masseøkning (Statens Vegvesen, 2015).

3.3.2.3 Pressure Aging Vessel Test (PAV)

Pressure Aging Vessel Test er en langtidsaldringstest for å simulere den langsiktige oksidative aldringen av bitumen ute på veidekke etter 10 år. Det er vanskelig å simulere den langsiktige aldringen ute på veien siden det er mange faktorer som påvirker bitumen-aldringen, for eksempel blandingstype, hulrominnhold og andre klimatiske faktorer (Lerfald, Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads, 2000). PAV-testen går ut på at bitumen-prøven blir utsatt for høyt trykk og temperatur i 20 timer, den kunstige aldringen er ikke helt validert men denne teknikken er akseptert som en tilfredsstillende tilnærming (Pay, 2017).

3.3.3 Vedheft

For å få et asfaltdekke med god holdbarhet, er vedheft mellom steinmaterialene og bindemiddelet en avgjørende faktor. Det blir en ekstra stor utfordring i land som Norge, hvor det er sure bergarter. Derfor må man dokumentere for en tilfredsstillende vedheftning mellom steinmaterialer og bindemiddelet før arbeidet kan startes. Det stilles i tillegg krav til at alle varmblandende bituminøse masser skal tilsettes vedheftningsmiddel. Vedheftningen kan forbedres med tilsetning sement, hydratkalk og amin (Aurstad, et al., 2016).

3.3.3.1 Rulleflasketesten

Den vanligste testen for å undersøke vedheft i et laboratorium er «Dynamisk vedheftningsforsøk – rulleflasketesten». Hensikten med denne undersøkelsen er å teste vedheft mellom steinmaterialene og bindemiddelet i kontakt med vann i tillegg til en dynamisk påkjenning. Med denne metoden kan man undersøke effekten av tilsatt vedheftningsmiddel på en bestemt kombinasjon av bindemiddel og tilslag. Etter å ha utført denne testen kan man vurdere om det er behov for ekstra vedheftsmidler (Aurstad, et al., 2016).



Figur 3-9: Apparatet som ble brukt for Rulleflaskemetoden

Testen utføres ved at man legger omtrent 150 g bitumendekkende steiner i flaske og fyller flasken to tredjedeler full med destillert vann og legger flaskene på rullebordet og starter forsøket. Prøven utføres ved normal innetemperatur mellom 15-20 °C og rullehastigheten på flaskene er 60 rotasjoner per minutt. Man leser dekningsgrad som prosent bitumendekket overflate ved start og etter 6, 24, 48 og 72 timer effektiv rulletid. I Vedlegg B-1, kan man se hvordan dekningsgradskjemaet ser ut og hvordan man bruker det. Dekningsgraden må bestemmes av to uavhengige personer, og man tar middelverdien av dekningsgraden og runder det av til nærmeste 5 % (Statens Vegvesen, 2015).

3.3.3.2 Vendskak test

Vendskak testen er en metode som ble utviklet av NCC i Sverige. Formålet med denne testen er å undersøke vannbestandigheten til mørteldelen i varmblandet asfalt. Testen går ut på at man lager sylindrerformede prøvelegemer med diameter på 30 mm og høyde på 27 mm med finkornet asfaltblanding i tillegg tilsetter man 7 % bitumen. Hver prøve presses i en sylindrerformet form i en statisk presse og lagres i romtemperatur i 5-14 dager før de kan testes. Prøvene blir så vannmettet i eksikkator og settes i vann ved 40 °C i 2 døgn, før de veies og man måler høyden og diameteren for å beregne svellingen. Deretter blir vendskaksrørene vist på Figur 3-10 nedenfor fylt med 750 ml vann og man legger prøven inn før apparatet påføres 3600 omdreininger fordelt på 180 minutter, deretter veies prøvene igjen og man beregner massetapet og svellingen til prøvene (Lerfald, et al., 2004).



Figur 3-10: Apparatet som ble brukt for Vendskak Test

4 Eksperimentelt arbeid

Formålet med denne oppgaven er å undersøke effekten av rejuvenatorer på aldret bitumen. Oppgaven består av å teste tre ulike typer rejuvenatorer på aldret bitumen og hvordan de kan brukes i gjenbruksasfalt, og deretter teste og analysere effekten av disse rejuvenatorene blandet i en 50/50-blanding med gjenvunnet bindemiddel fra granulat og ferskt bindemiddel. Alle testene ble utført i sentrallaboratoriet i Trondheim utenom vendskakttest som ble utført i NCC sentrallaboratoriet i Lierstranda

Hovedtrinnene for innblanding av rejuvenatorer og testingen under forsøket er:

- a) Beregning av bindemiddelbehov til de ulike analysene
- b) Forberedelse av gjenvunnet bitumen fra Veiteknisk Institutt
- c) Forundersøkelser for å beregne blandingsforhold for de ulike rejuvenatorene
- d) Beregning av tilsetninger av de ulike rejuvenatorene
- e) Blanding av prøvene til de ulike analysene
- f) Utførelse av testene beskrevet i forrige kapittel
- g) Analysere resultatene fra de ulike testene og sammenligne rejuvenatorene

4.1 Beskrivelse av produkter og leverandører

Lab.nr.	Produkt	Leverandør	Kommentar
	Gjenvunnet bitumen, GjB	VTI og Vælde Asfalt	Fra Agb -granulat/fresemasse
Re001	160/220 bitumen	Nynas	
Re005	250/330 bitumen	Nynas	
Re003	Sylvaroad RP 1000 rejuvenator	Kraton	Kraton Chemicals
Re002	Revive RA rejuvenator	Arstec AS	ArrMaz
Re004	Nygen 910 rejuvenator	Nynas	
	Wetfix AP17 vedheftningsmiddel	AkzoNobel	Amin for varmasfalt og LTA

Tabell 4-1: Oversikt over leverandører og produkter brukt i eksperimentet

Tabell 4-1 gir en oversikt over de ulike leverandørene og produktene som ble benyttet i den eksperimentelle delen av oppgaven. Gjenvunnet bitumen ble levert fra VTI og Velde asfalt, som var fra Agb-granulat. Spesifikasjonene til Agb ble beskrevet i litteraturstudien, det er den best egnede og brukte asfaltdekket ved normal trafikk. Det ble benyttet to forskjellige bitumener med penetrasjonsgradene 160/220 og 250/330, som ble levert av Nynas. Amin som ble benyttet er Wetfix AP17 som ble levert av AkzoNobel for varmasfalt og LTA.

4.2 Beskrivelse av bindemiddelbehov

I Tabell 4-2 kan man se en oversikt over bindemiddelbehovet i de ulike testene, og sammensetningen av de ulike blandingene. Man kan se at det er en 50/50-blanding av gjenvunnet bitumen (GjB) og ferskt bitumen i alle blandingene. Blanding nr. 0 er en referanseblanding med kun ferskt bitumen med penetrasjonsgrad 160/220 og blanding nr. 5 inneholder kun GjB. Mens blanding nr. 1 er en blanding med 50 % GjB og 50 % blanding av ferskt bindemiddel med penetrasjonsgrad 160/220 og 250/330 uten tilsetning av rejuvenator. De tre andre blandingene inneholder 50 % GjB og 50 % blanding av rejuvenator og ferskt bindemiddel med penetrasjonsgrad 160/220.

Lab.nr.	Produkt	Rulleflaske	Vendskak	Pen	MP + FBP	DSR + MSCRT
Re001	160/220 (Referanse)	30 g	100 g	80 g	30 g	10 g
Re005	50 % GjB + 250/330 og 50 % 160/220	30 g	100 g		30 g	10 g
Re003	50 % GjB + Sylvaroad RP 100 og 50 % 160/220	30 g	100 g		30 g	10 g
Re002	50 % GjB + Revive RA og 50 % 160/220	30 g	100 g		30 g	10 g
Re004	50 % GjB + Nygen 910 og 50 % 160/220	30 g	100 g		30 g	10 g
	GjB			80 g	30 g	10 g

Tabell 4-2: Oversikt over bindemiddelbehovet til de ulike testene

I tillegg kan man se en oversikt over de ulike testene som skal utføres og hvor mye bindemiddel som trengs til de ulike testene. Penetrasjon skal kun testes på GjB og referanseprøven vår. Mens de andre prøvene skal bli testet i følgende tester:

- Rulleflasketest
- Vendskakttest
- Mykningspunkt (MP)
- Fraas bruddpunkt (FBP)
- Dynamisk skjær-rheometer (DSR)
- Multiple stress creep recovery test (MSCRT)
- Rolling film thin film oven test (RTFOT)

Hensikten og utførelsesmetoden for alle de ulike testene er beskrevet med detaljer i teorikapittelet.

4.3 Beskrivelse av penetrasjon og mykningspunkt på bindemidlene

Gjenvunnet bitumen ble tilsendt fra Veiteknisk Institutt i en 10 L metallspann med 4,4 kg GjB som vist i Figur 4-1. Spannet ble satt i et varmeskap på 150 °C i 4 timer med manuell røring hver time med en stor metallspatel.



Figur 4-1: Gjenvunnet bitumen fra granulater og ferskt bitumen brukt i det eksperimentelle arbeidet

Parallelt ble en 3 L metallboks med bitumen 160/220 og en 3 L metallboks med bitumen 250/330 (begge fra Nynäs) satt i et annet varmeskap på 130 °C i 3 timer, med manuell røring med metallspatel.

Ettersom det ikke fulgte med noe informasjon om mykningspunkt eller penetrasjon på gjenvunnet bitumen, 160/220 eller 250/330, måtte det utføres forundersøkelser for å beregne blandingsforhold for de ulike rejuvenatorene. Det ble derfor analysert mykningspunkt og penetrasjon på de rene bindemidlene som beskrevet i metode 311 og metode 312 i R210 (Statens Vegvesen, 2015). Resultater analysene ga er oppsummert i Tabell 4-3 nedenfor.

Bindemiddel	Penetrasjon [1/10 mm]	Mykningspunkt [°C]
Gjenvunnet bindemiddel	67	46,8
160/220 fra Nynäs	175	38,0
250/330 fra Nynäs	274	31,8

Tabell 4-3: Penetrasjon og mykningspunkt for GjB og ferskt bindemiddel fra Nynäs

4.4 Beskrivelse av viskositeten til rejuvenatorene

Manglende medfølgende data fra leverandører førte også til at vi måtte analysere viskositeten på de rene rejuvenatorene. Viskositeten ble analysert i et rheometer ved 60 °C som beskrevet i metode 3132 i R210 (Statens Vegvesen, 2015). Tabell 4-4 nedenfor oppsummerer resultatene fra analysene.

Rejuvenator	Viskositet [mPa·s]
Nygen 910	32
Revive RA	2,7
Sylvaroad	22
250/330 fra Nynäs	34 500

Tabell 4-4: Oversikt over viskositeten til de ulike rejuvenatorene

4.5 Forundersøkelser

For å kunne beregne tilsetninger av de ulike rejuvenatorene og regne ut blandingsforholdene for de ulike bindemidlene og rejuvenatorene måtte vi gjøre noen forundersøkelser, resultatene fra disse undersøkelsene er oppsummert i Tabell 4-5 nedenfor.

	Mykningspunkt [°C]	Penetrasjon [1/10 mm]	Viskositet [mPa*s]	MSCRT (50°C) [Jnr diff %]	G*(40°C) [kPa]	G*(50°C) [kPa]	G*(60°C) [kPa]	δ(40°C) [°]	δ(50°C) [°]	δ(60°C) [°]	Fraass Bruddpunkt [°C]
GjB	46,8	67	212000*	6,6669	40,98	7,299	1,591	78,35	83,87	86,83	-21
Nynäs 160/220	38	175	57900*	5,4383	11,26	2,52	0,666	83,8	86,6	88,6	-28
Nynäs 250/330	31,8	274	34500	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a
Revive RA	i.a	i.a	2,7	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a
Sylvaroad RP	i.a	i.a	22	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a
Nygen 910	i.a	i.a	32	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a	i.a

*estimert verdi

Tabell 4-5: Forundersøkelser for GjB, ferskt bindemiddel og alle rejuvenatorene

For å teste atferden til både det ferske bitumenet 160/220 og GjB, tester vi bruddpunktet ved hjelp av Fraass bruddpunkt-test. Nynäs 160/220 hadde et bruddpunkt på -28 °C mens GjB på -21 °C. I tillegg utførte vi DSR-test og MSCRT-test på begge bitumener for å vurdere deformasjonsegenskapene, og for å kunne beregne kompleks modulus og fasevinkelen til begge bindemidlene før innblanding med rejuvenator.

4.6 Beregning av tilsetninger av de ulike rejuvenatorene

Etter å ha utført forundersøkelser på gjenvunnet bindemiddel, 160/220 og 250/330 fra Nynäs og testet viskositeten til de ulike rejuvenatorene, kan resultatene brukes for å beregne tilsetninger av de ulike rejuvenatorene. For å beregne tilsetningene ble følgende formel benyttet:

$$a * \log\log V_a + b * \log\log V_b = (a + b) * \log\log V_{mix} \quad 10$$

hvor

- V_a = Viskositet til blanding av rejuvenator [mPa·s]
- V_b = Viskositet til blanding av GjB [mPa·s]
- V_{mix} = Viskositet til ønsket blanding [mPa·s] ($a + b = 1$)

4.7 Blandingsforhold for bindemidlene og rejuvenatorene

Formel 10 gir følgende tilsetninger av de ulike rejuvenatorene i vektprosent:

- Nygen: **9 %**
- Revive RA: **4 %**
- Sylvaroad: **8 %**
- 250/330: **68 %**

På Figur 4-2 nedenfor kan man se de tre rejuvenatorene som skal tilsettes GjB og Nynas 160/220.



Figur 4-2: De ulike rejuvenatorene som ble brukt i det eksperimentelle arbeidet

Alle tilsetningene ble som forventet utenom Revive RA som det var knyttet usikkerhet til, siden produsenten hadde oppgitt at kun 1 % tilsetning skulle være tilstrekkelig. Det ble derfor testet to prøveblandinger med 4 % og 2 % tilsetning.

Den generelle blandingsprosedyren for tilsetning av rejuvenator er som følger:

- Gjenvunnet bitumen ble smeltet opp i varmeskap ved 130 °C i ca. 1 time
- Rørt med oppvarmet glasstav og innholdet veid i tarert prøveboks
- Man beregnet mengde rejuvenator og tilsatte dråpevis med plastpipette til prøveboks

- Deretter rørte man med glass-stav i 30 sekunder og satte det tilbake i varmeskap. Rørte så på nytt etter 30 sekunder, 5 minutter og 10 minutter.

For de to prøveblandingene ble penetrasjonen analysert etter metode 311 fra R210 (Statens Vegvesen, 2015). Resultatene ble som følger:

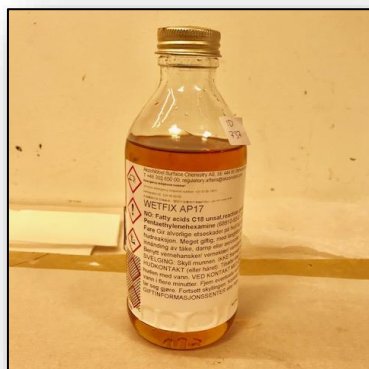
- 2 % Revive RA: **137 [1/10 mm]**
- 4 % Revive RA: **253 [1/10 mm]**

Siden ønsket penetrasjon er 175, tilsvarende som Nynas 160/220 ble lineær regresjon benyttet, som gir en beregnet tilsetning av Revive RA på ca. 2,7 %.

Nå som alle blandingsforholdene var etablerte, kunne prøvene til de ulike analysene (MP, Fraass, rheometer, Vendskak, Rulleflaske) blandes. Da ble den generelle blandingsprosedyren over benyttet, før det ble tilsatt 50 % 160/220 for å simulere 50 % gjenbruk av bindemiddel.

4.7.1 Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i vendskakttest

Vendskak prøvingen foregår over flere dager, da prøvene skal blandes – komprimeres – kondisjoneres før de tilslutt kan testes i apparatet. Penetrasjon på blandingene er ca. 180 og blandetemperaturen er lik som Nynas 160/220, mens gjenvunnet bitumen fra granulat har penetrasjon 67 og mykningspunkt 47 °C og en blandetemperatur på rundt 160-165 °C. Det blir benyttet 0-4 mm Bjønndalen knust fjell. Vendskakttest skal bli utført med og uten tilsetning av amin for å sjekke effekten. Figur 4-3 viser amin som er benyttet i testingen.



Figur 4-3: Illustrasjon av Wetfix AP17

4.7.1.1 Innblanding uten amin

I Tabell 4-6 nedenfor kan vi se innblandingsmengdene for de fem ulike prøvene som skal testes i vendskakttest uten tilsetning av amin. Alle mengdene er oppgitt i gram.

Rejuvenator	Mengde GjB	Mengde rejuvenator	Mengde 160/220	Sum	Prøvenummer
Ingen			50,00	50,00	Re016b
Revive RA	25	0,675	25,68	51,35	Re017b
Sylvaroad RP	25	2	27,00	54,00	Re018b
Nygen 910	25	2,25	27,25	54,50	Re019b
250/330	8	17	25,00	50,00	Re020b
Sum	83	21,925	154,93	259,85	

Tabell 4-6: Innblandingsmengder i vendskakttest uten amin

4.7.1.2 Innblanding med amin

I Tabell 4-7 nedenfor kan vi se innblandingsmengdene for de fem ulike prøvene som skal testes i vendskakttest med tilsetning av amin. Amin som er benyttet i innblandingen er Wetfix AP17 og alle mengdene er oppgitt i gram.

Rejuvenator	Mengde GjB	Mengde rejuvenator	Mengde 160/220	Mengde amin	Sum	Prøvenummer
Ingen			50,00	0,150	50,150	Re016a
Revive RA	25	0,675	25,68	0,154	51,504	Re017a
Sylvaroad RP	25	2	27,00	0,162	54,162	Re018a
Nygen 910	25	2,25	27,25	0,164	54,664	Re019a
250/330	8	17	25,00	0,150	50,150	Re020a
Sum	83	21,925	154,93	0,630	260,630	

Tabell 4-7: Innblandingsmengder i vendskakttest med amin

Prøvenumrene er gjengitt i bildene som er vedlagt i Vedlegg C.1, som viser oppbevaring, innblanding og preparering av prøvene.

4.7.2 Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i rulleflasketest

Rulleflaske-prøvingen foregår også over flere dager fordi man må kontrollere dekningsgraden til de bitumendekkende steinene ved start og etter 6, 24, 48 og 72 timer. Penetrasjon på blandingene er ca. 175 og blandetemperaturen er lik som Nynas 160/220, mens gjenvunnet bitumen fra granulat har penetrasjon 67 og mykningspunkt på 47 °C. Det blir benyttet 0-4 mm Bjønndalen knust fjell. Rulleflasketest skal bli utført med og uten tilsetning av amin, for å sjekke effekten av tilsetningen av amin. Amin som blir benyttet i undersøkelsen er Wetfix AP17 som er illustrert i Figur 4-3.

4.7.2.1 Innblanding uten amin

I Tabell 4-8 nedenfor kan vi se innblandingsmengdene for de fem ulike prøvene som skal testes i rulleflasketest uten tilsetning av amin. Fra tabellen kan man se at vi har en referanseprøve med kun Nynas 160/200 uten noen tilsetning. Alle mengdene er oppgitt i gram.

Rejuvenator	Mengde GjB	Mengde rejuvenator	Mengde 160/220	Sum	Prøvenummer
Ingen			40	40	Re006
Revive RA	19,46	0,54	20	40	Re007
Sylvaroad RP	18,4	1,6	20	40	Re008
Nygen 910	18,2	1,8	20	40	Re009
250/330	6,4	13,6	20	40	Re010
Sum	62,46	17,54	120	200	

Tabell 4-8: Innblandingsmengder i rulleflasketest uten amin

Prøvenumrene er gjengitt i bildene som er vedlagt i Vedlegg B-4, som viser dekningsgraden til den bitumendekkende overflaten til de bitumendekkende steinene. I tillegg er det vedlagt bilder fra prepareringen, oppbevaringen og etter rulleflasketesten. I Vedlegg B-1 er tabellene med oversikt over dekningsgraden etter 0, 6, 24, 48 og 72 timer vedlagt.

4.7.2.2 Innblanding med amin

I Tabell 4-9 kan vi se innblandingsmengdene for de fem ulike prøvene som skal testes i rulleflasketest med tilsetning av amin. Alle mengdene er oppgitt i gram.

Rejuvenator	Mengde GjB	Mengde rejuvenator	Mengde 160/220	Mengde amin	Sum	Prøvenummer
Ingen			40	0,12	40,12	Re011
Revive RA	19,46	0,54	20	0,12	40,12	Re012
Sylvaroad RP	18,4	1,6	20	0,12	40,12	Re013
Nygen 910	18,2	1,8	20	0,12	40,12	Re014
250/330	6,4	13,6	20	0,12	40,12	Re015
Sum	62,46	17,54	120	0,6	200,6	

Tabell 4-9: Innblandingsmengder i rulleflasketest med amin

4.7.3 Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i DSR-, mykningspunkt-, og Fraass bruddpunktstest

I Tabell 4-10 kan vi se innblandingsmengdene for de fem ulike prøvene som skal testes i DSR-, MP-, og FBP-test. Alle mengdene er oppgitt i gram.

Rejuvenator	Mengde GjB	Mengde rejuvenator	Mengde 160/220	Sum	Prøvenummer
Ingen			40	40	Re001
Revive RA	19,46	0,54	20	40	Re002
Sylvaroad RP	18,4	1,6	20	40	Re003
Nygen 910	18,2	1,8	20	40	Re004
250/330	6,4	13,6	20	40	Re005
Sum	62,46	17,54	120	200	

Tabell 4-10: Innblandingsmengder i DSR-, MP-, og FB-test

Prøvenumrene er gjengitt i arbeidsskjemaene som er vedlagt i Vedlegg A.1, hvor man kan finne en oversikt over antall prøver som måtte utføres for at testresultatet skal være godkjent. I tillegg kan man finne en oversikt over vekten og temperaturen ved preparering.

4.7.4 Beskrivelse av innblanding av rejuvenator i Rolling Thin Film Oven test (RTFOT)

RTFOT skal gi en nøyaktig simulering om hva som skjer med bitumenet under blanding, men resultatet er ikke helt identisk med det man finner ute i feltet under ulike påkjenninger. I Tabell 4-11 nedenfor kan vi se innblandingsmengdene for de fem ulike prøvene som skal testes i RTFOT i både første og andre runde. Alle mengdene er oppgitt i gram.

Rejuvenator	Mengde GJB	Mengde rejuvenator	Mengde 160/220	Sum	Prøvenummer
Ingen			700,0	700,0	Re021 A
Revive RA	342,7	9,2529	352,0	703,9	Re022 A
Sylvaroad RP	328,5	26,28	354,8	709,6	Re023 A
Nygen 910	396,6	35,694	432,3	864,6	Re024 A
250/330	109,8	233,325	343,1	686,3	Re025 A
Sum	1177,6	304,5519	2182,2	3664,3	
Ingen			700,0	700,0	Re021 B
Revive RA	350	9,45	359,5	718,9	Re022 B
Sylvaroad RP	350	28	378,0	756,0	Re023 B
Nygen 910	350	31,5	381,5	763,0	Re024 B
250/330	112	238	350,0	700,0	Re025 B
Sum	1162	306,95	2169,0	3637,9	

Tabell 4-11: Innblandingsmengder i RTFOT-herding for første og andre runde

RTFOT testingen må utføres to ganger for alle de fem prøvene, derfor er innblandingsmengdene i Tabell 4-11 gjengitt to ganger med nesten identiske mengder.

5 Resultater

Etter at eksperimentdelen er avsluttet er neste trinn å organisere alle resultatene for analyse. Denne delen presenterer resultatene for de gjennomførte laboratorieundersøkelsene samlet på en systematisk måte.

5.1 Bindemiddelanalyser

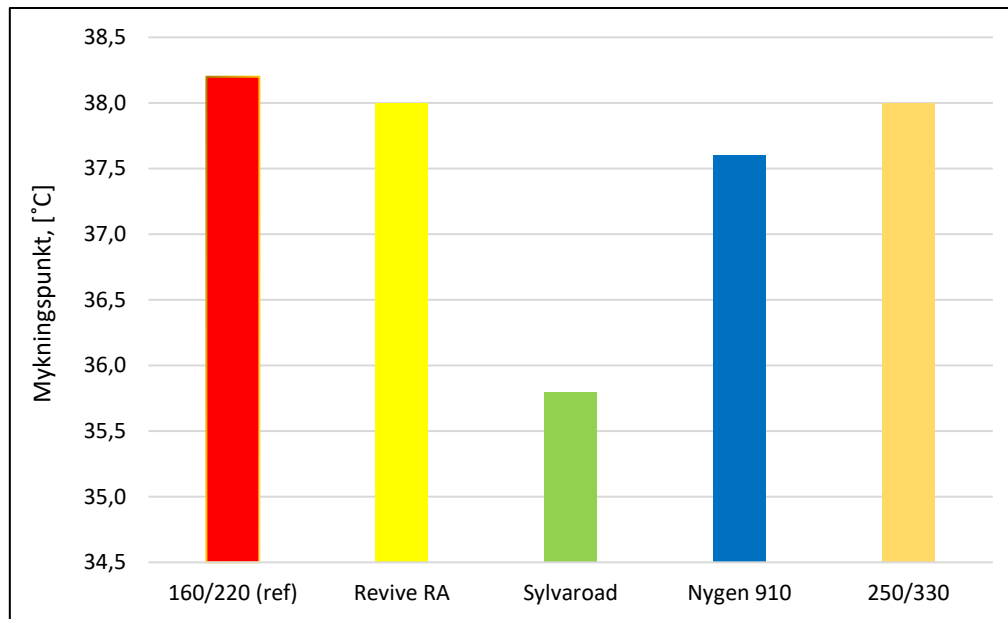
I dette delkapittelet vil vi presentere resultatene for mykningspunkt, Fraass bruddpunkt, MSCRT og DSR. Resultatene fra penetrasjonstestene for GjB og Nynas 160/220 og 250/330 ble presentert i forrige kapittel. Ønsket penetrasjon var 175, tilsvarende Nynas 160/220.

5.1.1 Mykningspunkt

På Tabell 5-1 nedenfor kan man se verdiene for mykningspunkt for det ferske bindemiddelet og bindemidlene med tilsetning av ulike rejuvenatorer. Fra tabellen kan man se at min-maks krav for mykningspunkt ifølge N200 (Statens Vegvesen, 2018) er mellom 35-43 °C. Alle innblandingene våre i eksperimentet tilfredsstiller dette kravet, og ligger i det aktuelle intervallet.

Rejuvenator	160/220	Revive RA	Sylvaroad	Nygen 910	250/330
Prøvenummer	Re001	Re002	Re003	Re004	Re005
Mykningspunkt, °C	38,2	38,0	35,8	37,6	38,0
Krav i N200, kap. 622.1	35-43				

Tabell 5-1: Oversikt over mykningspunktet for bindemiddelet i de ulike innblandingene



Figur 5-1: Mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene

Mykningspunktet blir presentert i form av et stolpediagram i Figur 5-1 ovenfor. Fra diagrammet kan vi se at vår referanseblanding med kun Nynas 160/220 hadde høyeste mykningspunktet, etterfulgt av Revive RA og Nynas 250/330 blandingen. Blandingene med Sylvaroad hadde laveste mykningspunktet.

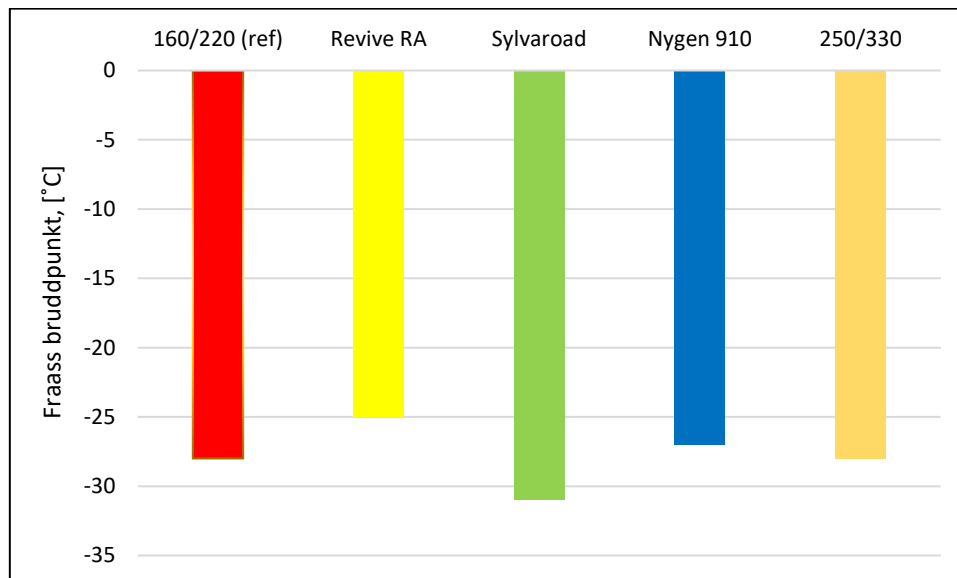
5.1.2 Fraass bruddpunkt

Tabell 5-2 viser resultatene fra Fraass bruddpunkt testene for de ulike innblandingene og det ferske bindemiddelet uten noen tilsetning. Fra tabellen kan man se at maksimumskravet for Fraass bruddpunkt ifølge N200 (Statens Vegvesen, 2018) er -15 °C . Alle innblandingene våre i eksperimentet har mindre temperatur enn -15 °C og tilfredsstillende kravet.

Rejuvenator	160/220	Revive RA	Sylvaroad	Nygen 910	250/330
Prøvenummer	Re001	Re002	Re003	Re004	Re005
Fraass bruddpunkt, °C	-28	-25	-31	-27	-28
Maksimumskrav i N200, kap. 622.1	-15				

Tabell 5-2: Oversikt over Fraass bruddpunktet for bindemiddelet i de ulike innblandingene

Fraass bruddpunktet blir presentert i form av et temperaturdiagram i Figur 5-2. Fra stolpediagrammet kan man se at Sylvaroad har lavere bruddpunkt enn Nynas 160/220 og alle de andre innblandingene. Revive RA har bruddpunkt ved $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, som er blandingen med bruddpunktet ved den høyeste temperaturen i eksperimentet.



Figur 5-2: Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene

5.1.3 MSCRT testing av deformasjonsmotstand

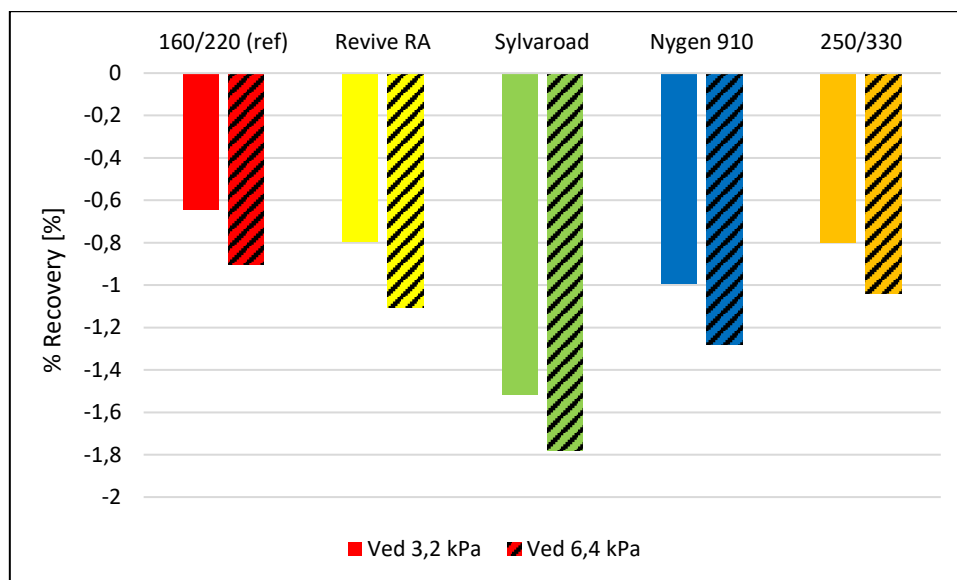
Rejuvenator	160/220	Revive RA	Sylvaroad	Nygen 910	250/330
% Recovery ved 3,2 kPa (50 °C)	-0,644	-0,794	-1,516	-0,995	-0,799
J_{nr} ved 3,2 kPa, 1/kPa (50 °C)	4,123	4,780	6,855	5,306	4,506
$J_{nr, diff, \%}$ (50 °C)	5,440	7,211	7,347	7,310	6,055
% Recovery ved 6,4 kPa (50 °C)	-0,903	-1,104	-1,780	-1,281	-1,040
J_{nr} ved 6,4 kPa, 1/kPa (50 °C)	4,283	5,027	7,188	5,571	4,671
$J_{nr, diff, \%}$ (50 °C)	3,730	5,172	4,852	4,992	3,671

Tabell 5-3: Resultatene fra MSCRT-testing av deformasjonsmotstanden for bindemiddelet i de ulike innblandingene

På Tabell 5-3 ovenfor kan man se resultatene fra MSCRT-testen for det ferske bindemiddelet og bindemidlene med tilsetning av ulike rejuvenatorer. Tabellen viser %-recovery og J_{nr} ved 3,2 kPa og 6,4 kPa, i tillegg $J_{nr, diff}$ i % for alle innblandingene.

5.1.3.1 Elastisiteten til bindemidlet for de ulike prøvene

Elastisiteten til bindemiddelet for de ulike innblandingene er presentert i et %-recovery diagram i Figur 5-3. Fra stolpediagrammet kan man se at referanseblandingen 160/220 har den høyeste elastisiteten i %, mens Sylvaroad har den laveste elastisiteten i % både ved 3,2 kPa og 6,4 kPa. Men fra diagrammet kan man se at det er veldig små forskjeller i elastisiteten for alle de ulike innblandingene.

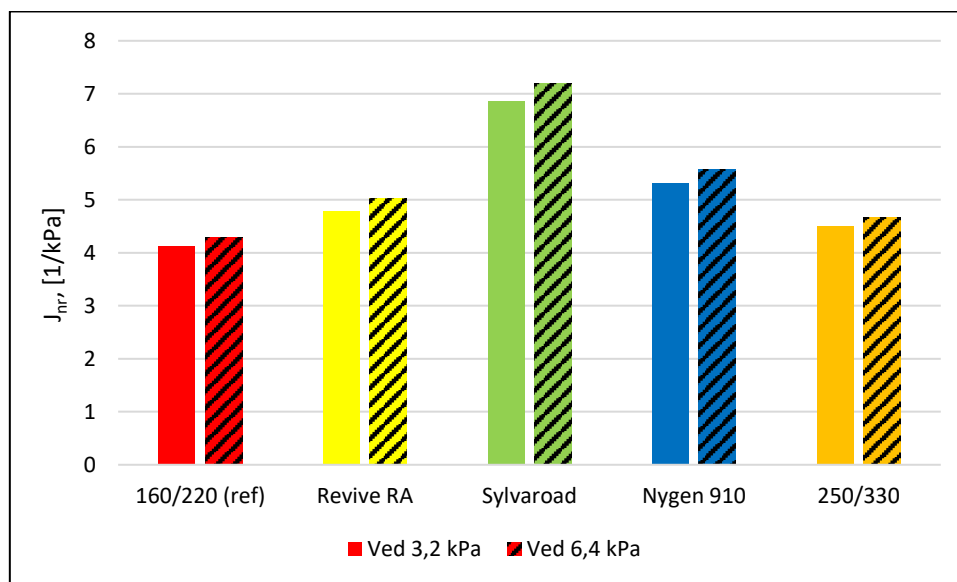


Figur 5-3: Elastisiteten til bindemiddelet for de ulike innblandingene

I Vedlegg A.3 er analyserapportene fra MSCRT-testingen vedlagt som inneholder alle resultatene og diagrammene fra testingen. Prøvenumrene i analyserapportene er nummerert etter de samme numrene som er gjengitt i Tabell 5-1.

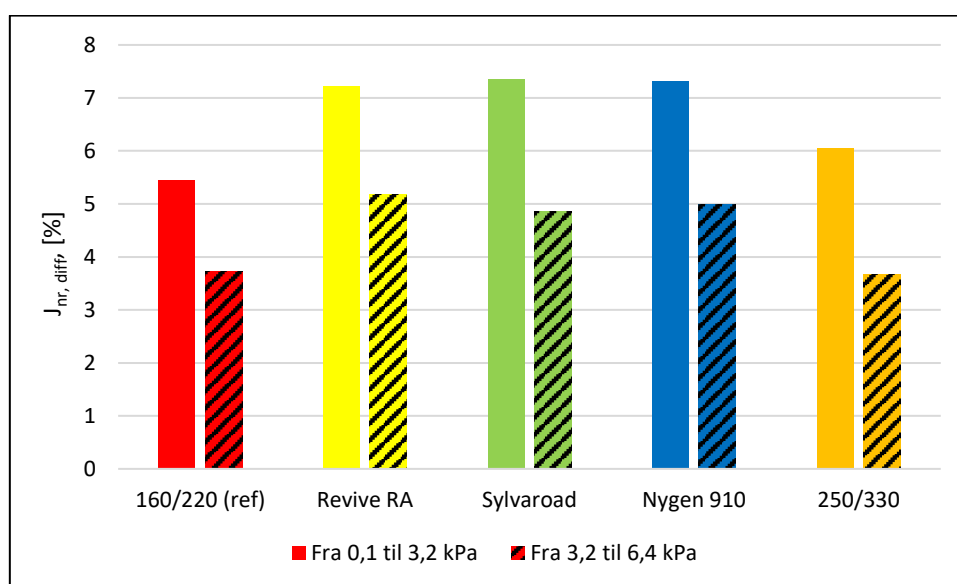
5.1.3.2 Plastisk deformasjon til bindemidlet for de ulike prøvene

Plastisk deformasjon eller «ikke-gjenvinnbar deformasjon» for de ulike innblandingene er presentert i et stolpediagram i Figur 5-4 gitt i kPa^{-1} ved 3,2 kPa og 6,4 kPa. Fra diagrammet kan man se at den som har tapt minst elastisitet er 160/220-blandingene, mens den som har tapt mest elastisitet er Sylvaroad-blandingene.



Figur 5-4: "Ikke-gjenvinnbar deformasjon", eller plastisk deformasjon til bindemiddelet for de ulike innblandingene

5.1.3.3 Spenningssensitiviteten til bindemidlet for de ulike prøvene



Figur 5-5: Spenningssensitiviteten til bindemiddelet for de ulike innblandingene

På Figur 5-5 ovenfor kan vi se spenningssensitiviteten til bindemiddelet for de ulike blandingene i et stolpediagram gitt i %. Diagrammet viser at lavest endring i spenningssensitiviteten fra 0,1 til 3,2 kPa og 3,2 til 6,4 kPa er bindemiddelet i Nynas 160/220, mens Sylvaroad har den største endringen i %. Men fra diagrammet kan man se at det er små forskjeller i spenningssensitiviteten i bindemiddelet hos alle de ulike innblandingene.

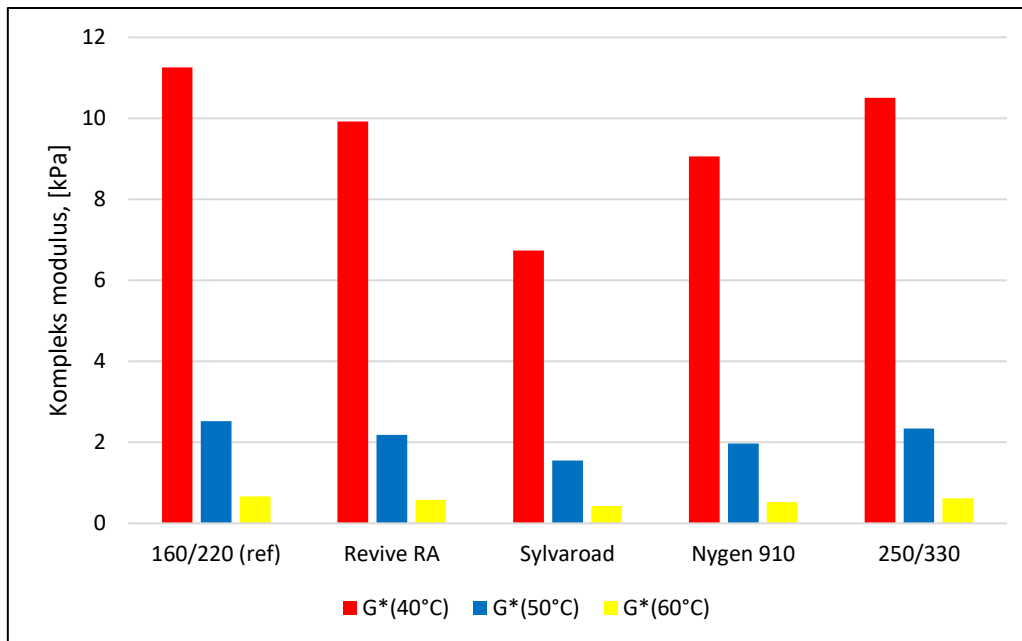
5.1.4 Kompleks modulus og fasevinkelen til de ulike prøvene

På Tabell 5-4 nedenfor kan man se verdiene for kompleks modulus og fasevinkel fra MSCRT-test ved 40, 50 og 60 °C for det fersket bindemiddelet og de andre innblandingene med rejuvenatorene.

Rejuvenator	G*(40°C) [kPa]	G*(50°C) [kPa]	G*(60°C) [kPa]	δ(40°C) [°]	δ(50°C) [°]	δ(60°C) [°]	Prøve.nr
160/220 (ref)	11,26	2,520	0,666	83,80	86,60	88,60	Re001
Revive RA	9,920	2,180	0,581	83,60	86,70	88,80	Re002
Sylvaroad	6,740	1,550	0,428	84,58	87,24	89,16	Re003
Nygen 910	9,062	1,968	0,520	83,77	86,84	88,79	Re004
250/330	10,51	2,342	0,6164	83,94	86,79	88,72	Re005

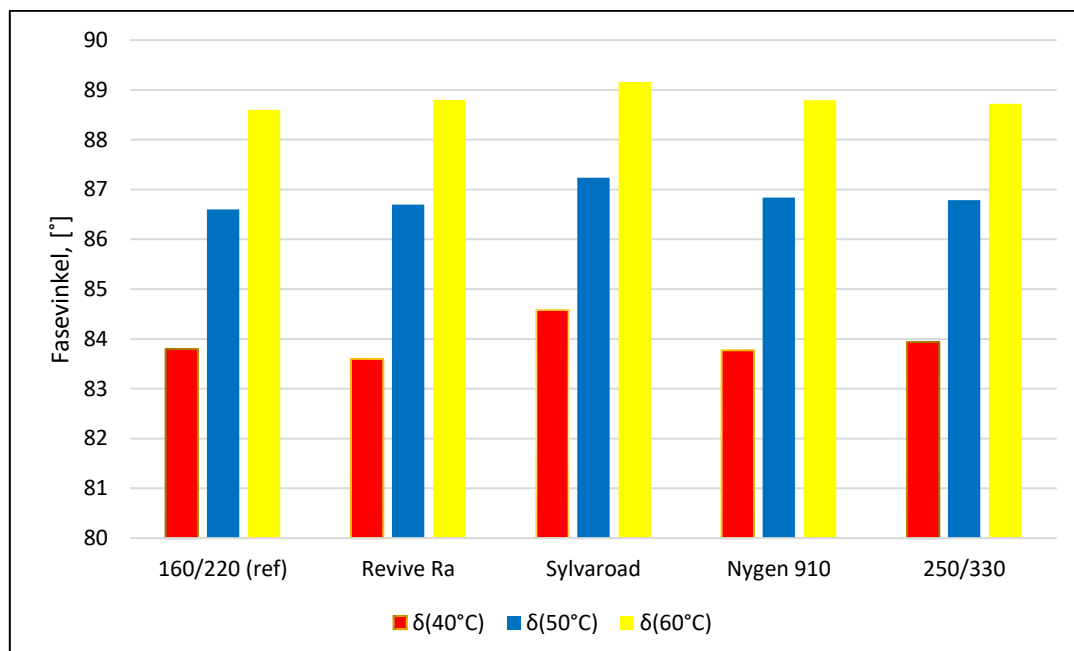
Tabell 5-4: Oversikt over MSCRT-test resultatene, G* og δ for de ulike innblandingene

Kompleks modulus blir presentert i form av et stolpediagram i Figur 5-6 i kPa. Fra diagrammet kan man se at referanseblandingen 160/220 har den høyeste komplekse modulus, mens Sylvaroad har lavest kompleks modulus. Blandingen med Nynas 250/330 og Revive RA, er de to blandingene som ligger nærmest referanseblandingen.



Figur 5-6: Kompleks modulus for de ulike innblandingene

I Figur 5-7 nedenfor kan man se fasevinkelen til de ulike blandingene gitt i °. Fra diagrammet kan vi se at Sylvaroad har den høyeste fasevinkelen etter 40, 50 og 60 °C. Referanseblandingen har lavest fasevinkel etter 50 og 60 °C, mens Revive RA har lavest fasevinkel etter 40 °C. Det er ikke stor forskjell i fasevinkelen til blandingene både etter 40, 50 og 60 °C.



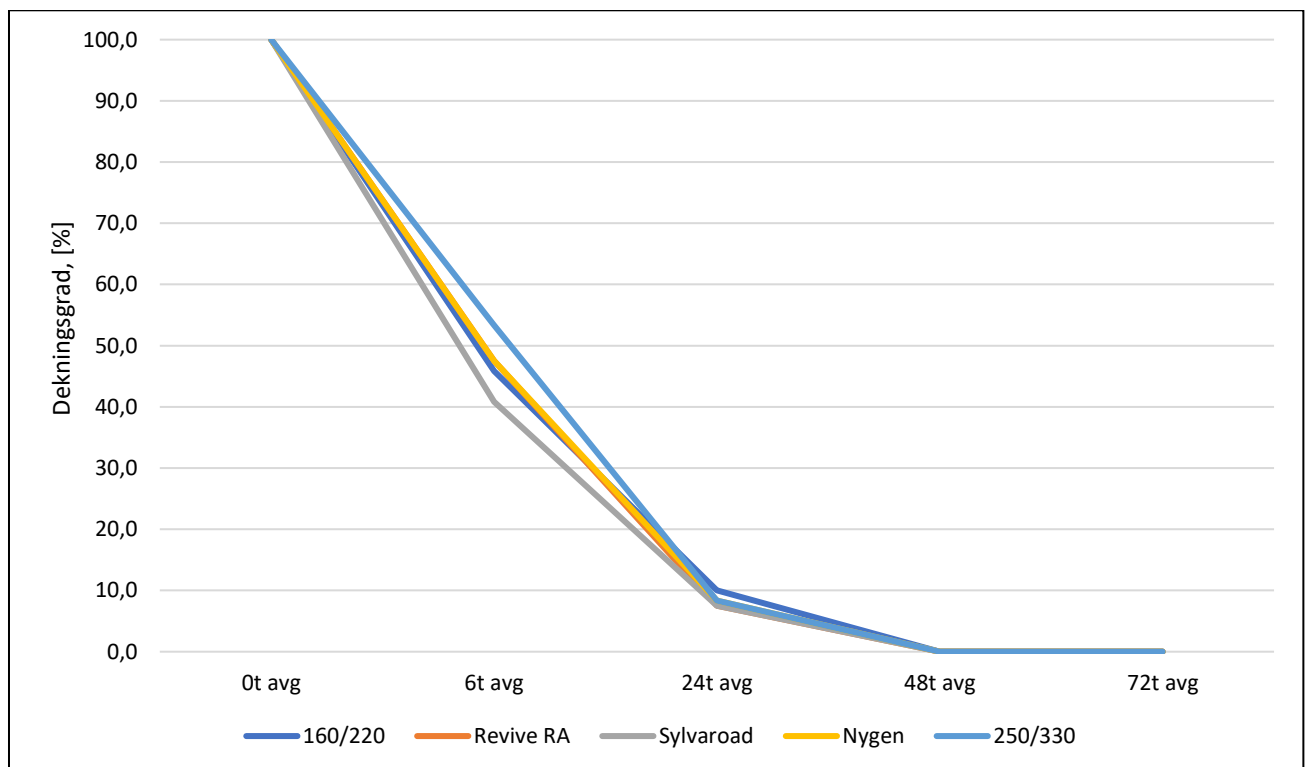
Figur 5-7: Fasevinkel for de ulike innblandingene

5.2 Analyse av vedheft

Analyse av vedheft er viktig for å undersøke om det er behov for ekstra vedheftningsmiddel. Bindemidlet må ha en god vedheft til steinoverflatene, slik at kornene har en limeffekt for å sikre veidekke langtidsegenskaper.

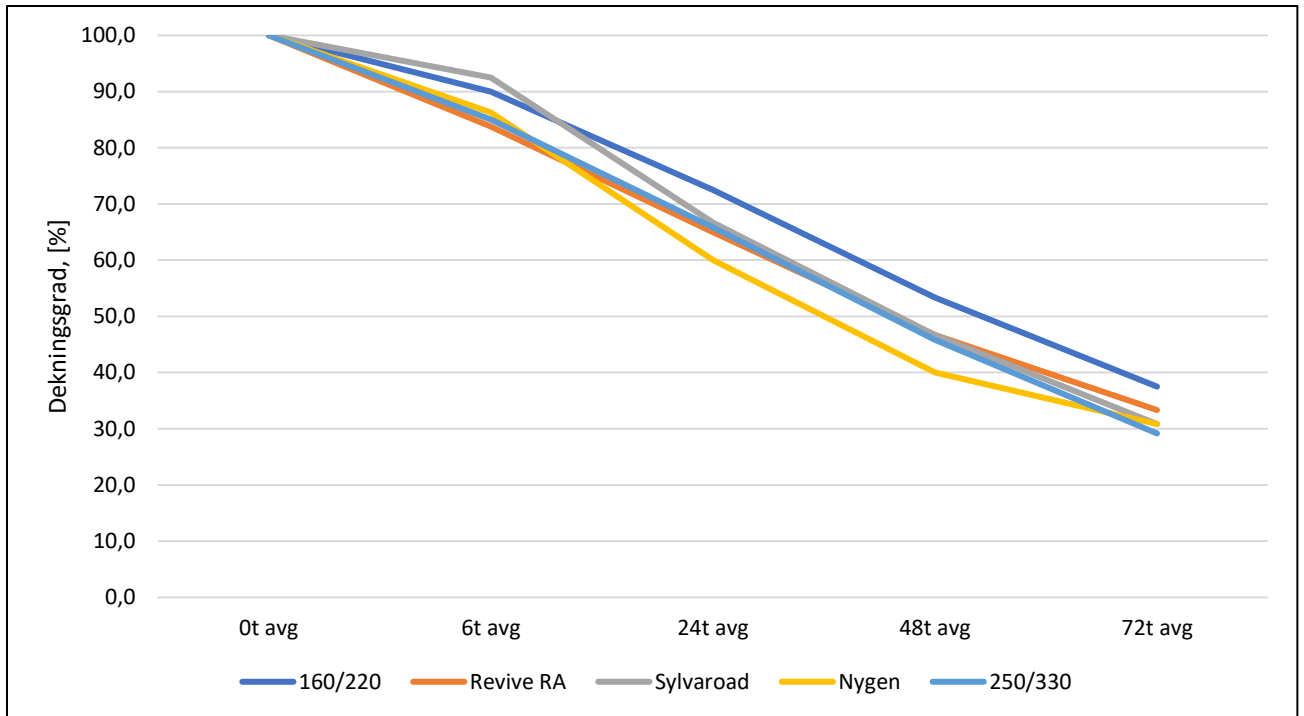
5.2.1 Dynamisk vedheftningsforsøk – rulleflaske

På Figur 5-8 kan vi se resultatet fra rulleflaske uten amin presentert i et linjediagram i prosent dekningsgrad. Fra diagrammet kan man ikke se store forskjeller mellom de ulike blandingene. Referanseblandingen har høyest %-andel dekningsgrad både etter 6, 24, 48 og 72 timer.



Figur 5-8: Rulleflaske-test for bindemiddelet i de ulike innblandinger uten amin

Tabell med resultater fra testen bestemt av tre uavhengige personer og skjemaet for dekningsgrad samt bilder av de ulike blandingene er vedlagt i Vedlegg B.1.



Figur 5-9: Rulleflaske-test for bindemiddelet i de ulike innblandingene med amin

På Figur 5-9 ovenfor kan vi se resultatet fra rulleflaske med tilsetning av amin også presentert i et linjediagram i prosent dekningsgrad. Fra figuren kan man se at amin gir en høyere dekningsgrad for alle blandingene. Referanseblandingen 160/220 har høyest %-andel dekningsgrad, mens Nygen og Nynas 250/330 har laveste dekningsgraden.

5.3 Analyse av bindemiddelaldring

I dette delkapittelet vil vi presentere resultatene for mykningspunkt, Fraass bruddpunkt, MSCRT og DSR etter korttidsaldring.

5.3.1 Simulering av korttidsaldring – RTFOT

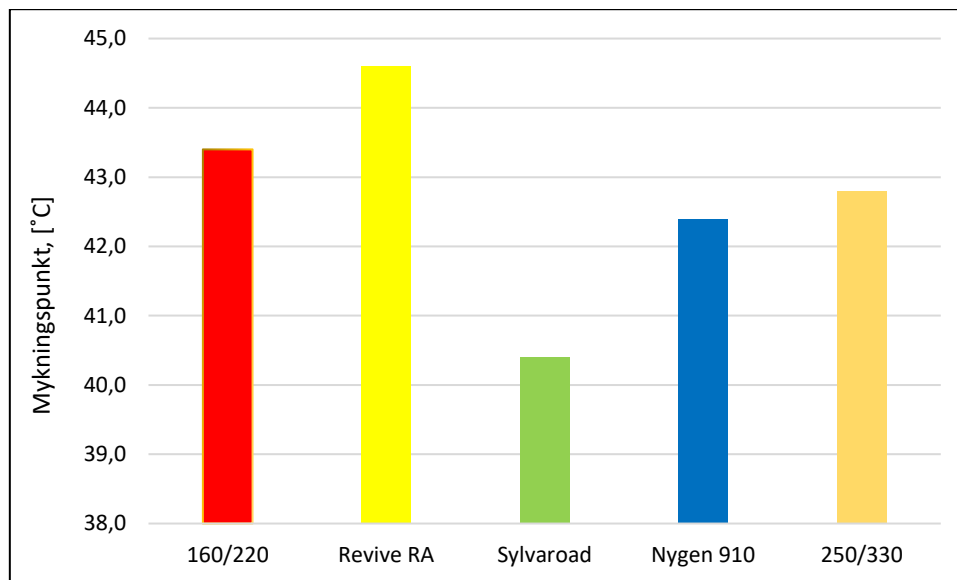
RTFOT-aldring skal simulere korttidsaldring som tilsvarer produksjon og utlegging av asfalt. Man er derfor interessert i å sammenligne resultater for alle testene nevnt ovenfor for ferskt og aldret prøve. Dette kan gi en pekepinn på hvor stivere/mer oksidert bindemiddelet har blitt under produksjon- og utleggingsprosessen.

På Tabell 5-5 nedenfor kan man se verdiene for mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter aldringssimulering.

Rejuvenator	160/220	Revive RA	Sylvaroad	Nygen 910	250/330
Prøvenummer	Re021	Re022	Re023	Re024	Re025
Mykningspunkt, °C	43,4	44,6	40,4	42,4	42,8
Krav i N200, kap. 622.1	35-43				

Tabell 5-5: Oversikt over mykningspunktet for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT

På Figur 5-10 nedenfor kan man se mykningspunktet presentert i et stolpediagram for de ulike innblandingene. Fra diagrammet kan vi se at Revive RA hadde høyeste mykningspunktet, etterfulgt av referanseblandingen. Mens blandingen med Sylvaroad hadde det laveste mykningspunktet.

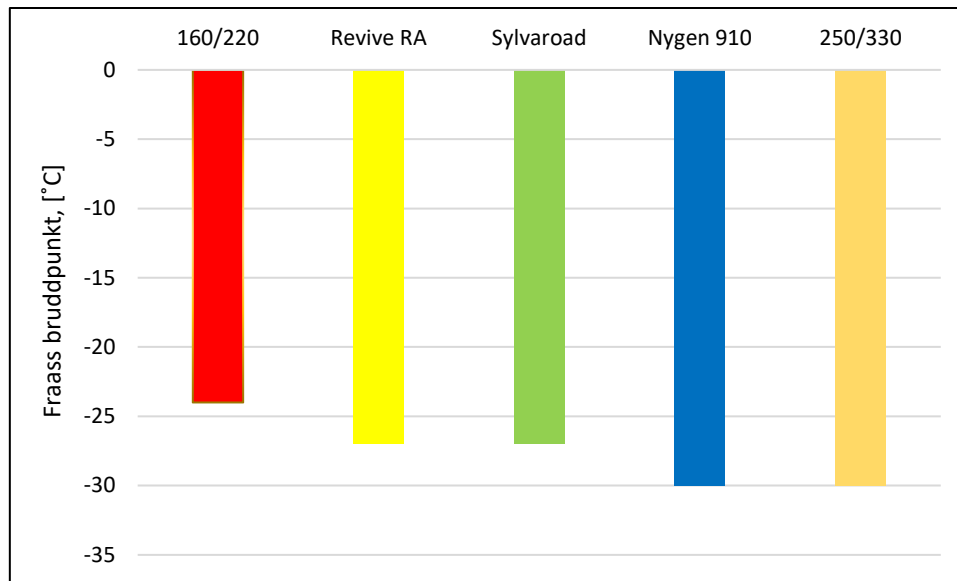


Figur 5-10: Mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT

Tabell 5-6 viser resultatene fra Fraass bruddpunkt testene for de ulike innblandingene og referanseblandingen. Fra tabellen kan man se at maksimumskravet for Fraass bruddpunkt ifølge N200 (Statens Vegvesen, 2018) er -15 °C. Alle innblandingene våre har lavere temperatur enn -15 °C og tilfredsstillende kravet.

Rejuvenator	160/220	Revive RA	Sylvaroad	Nygen 910	250/330
Prøvenummer	Re0021	Re022	Re023	Re024	Re025
Fraass bruddpunkt, °C	-24	-27	-27	-30	-30
Maksimumskrav i N200, kap. 622.1	-15				

Tabell 5-6: Oversikt over Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT



Figur 5-11: Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT

Fraass bruddpunkt blir presentert i form av et temperaturdiagram i Figur 5-11. Fra stolpediagrammet kan man se at referanseblandingen har bruddpunkt ved den høyeste temperaturen, mens Revive RA og Sylvaroad har samme bruddpunkt og Nygen 910 og Nynas 250/330 har bruddpunkt ved lik temperatur og den laveste temperaturen.

På Tabell 5-7 nedfor kan man se resultatene fra MSCRT-testen for det ferske bindemiddelet og bindemiddele med tilsetning av ulike rejuvenatorer. Tabellen viser %-recovery og J_{nr} ved 3,2 kPa og 6,4 kPa, i tillegg $J_{nr, diff}$ i % for alle innblandingene.

Rejuvenator	160/220	Revive RA	Sylvaroad	Nygen 910	250/330
% Recovery ved 3,2 kPa (50 °C)	1,430	1,554	0,042	0,681	0,920
J_{nr} ved 3,2 kPa, 1/kPa (50 °C)	1,802	1,752	3,365	2,534	2,127
$J_{nr, diff}$, % (50 °C)	8,317	7,970	9,116	9,127	8,375
% Recovery ved 6,4 kPa (50 °C)	0,628	0,680	-0,426	0,060	0,296
J_{nr} ved 6,4 kPa, 1/kPa (50 °C)	1,897	1,846	3,560	2,675	2,230
$J_{nr, diff}$, % (50 °C)	5,276	5,396	5,810	5,556	4,777

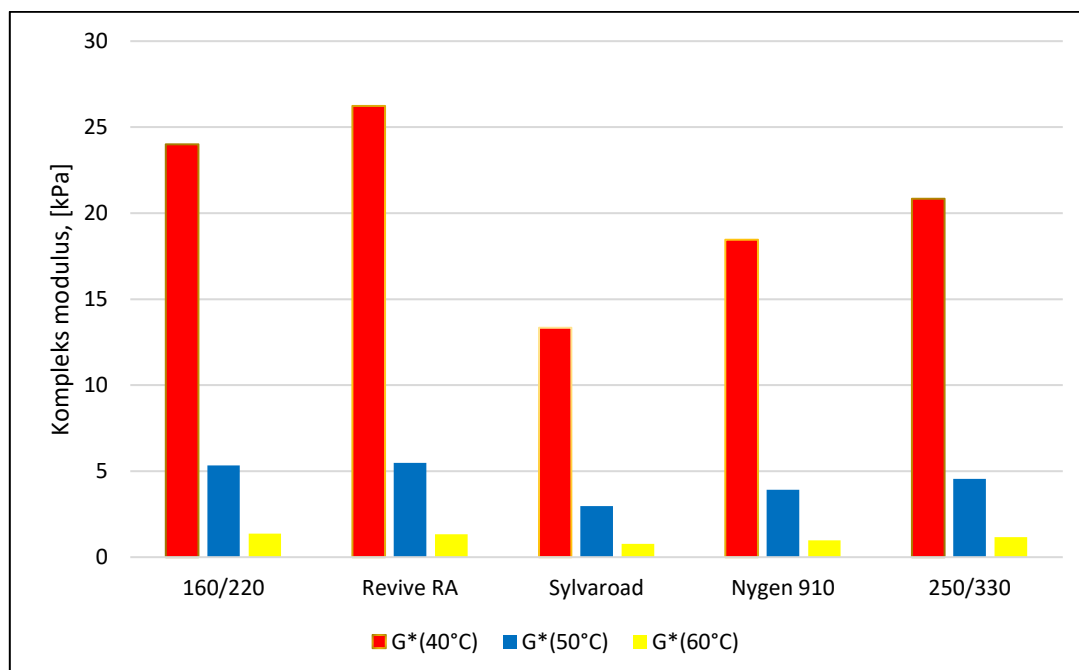
Tabell 5-7: Resultatene fra MSCRT-testingen av deformasjonsmotstanden for bindemiddelet etter RTFOT

På Tabell 5-8 nedenfor kan man se verdiene for kompleks modulus og fasevinkel fra MSCRT-test ved 40, 50 og 60 °C for det ferske bindemiddelet og de andre innblandingene med rejuvenatorene.

Rejuvenator	G*(40°C)	G*(50°C)	G*(60°C)	δ(40°C)	δ(50°C)	δ(60°C)	Prøve.nr
160/220 (ref)	24,00	5,326	1,365	79,13	83,34	86,39	Re021
Revive RA	26,23	5,480	1,335	78,90	83,50	86,70	Re022
Sylvaroad	13,34	2,964	0,779	81,00	85,00	87,60	Re023
Nygen 910	18,45	3,911	0,978	79,50	84,20	87,20	Re024
250/330	20,84	4,554	1,158	79,80	84,00	86,90	Re025

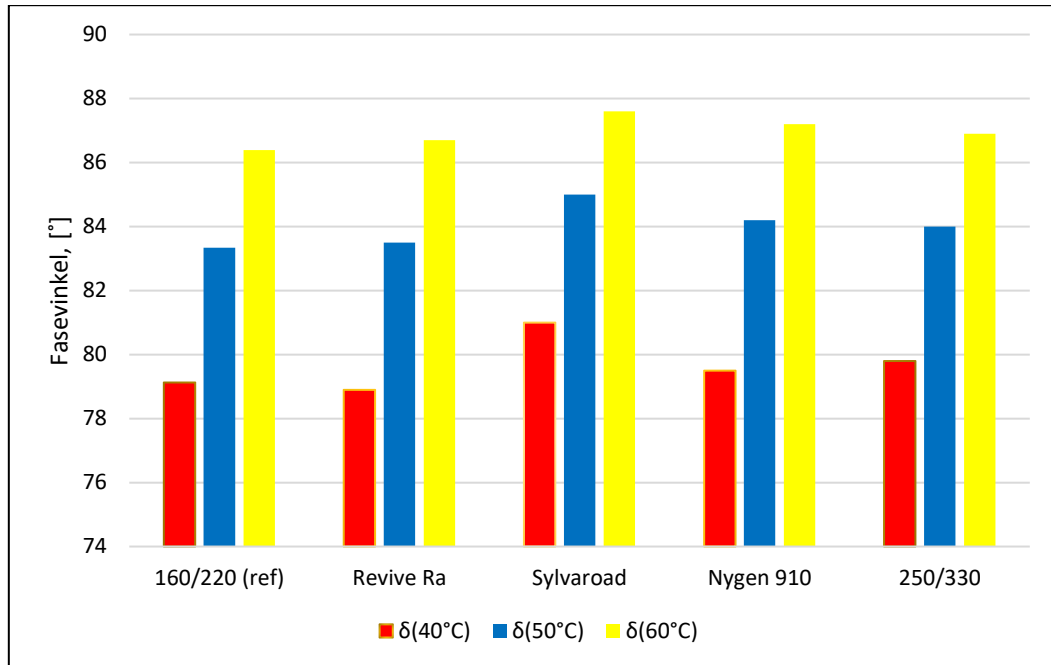
Tabell 5-8: Oversikt over MSCRT-test resultatene, G* og δ for de ulike innblandingene etter RTFOT

Kompleks modulus blir presentert i form av et stolpediagram i Figur 5-12 i kPa. Fra diagrammet kan man se at Revive RA har den høyeste kompleks modulusen etterfulgt av referanseblandingen, mens Sylvaroad har den laveste kompleks modulusen.



Figur 5-12: Kompleks modulus for de ulike innblandingene etter RTFOT

I Figur 5-13 nedenfor kan man se fasevinkelen til de ulike blandingene gitt i °. Fra diagrammet kan vi se at Sylvaroad har den høyeste fasevinkelen etter 40, 50 og 60 °C, mens referanseblandingen har den laveste fasevinkelen ved 50 og 60 °C.



Figur 5-13: Fasevinkel for de ulike innblandingene etter RTFOT

6 Diskusjon

Denne seksjonen presenterer et sammendrag og diskusjon av eksperiment resultatene som presenteres i de to foregående Seksjonene 4 og 5. Effekten av rejuvenator på aldret bindemiddelegenskaper er analysert i forhold til deres deformasjonsegenskaper, vedheft mellom steinmaterialer og simulering av kortidsaldring.

6.1 Bindemiddelanalyse før aldringssimulering

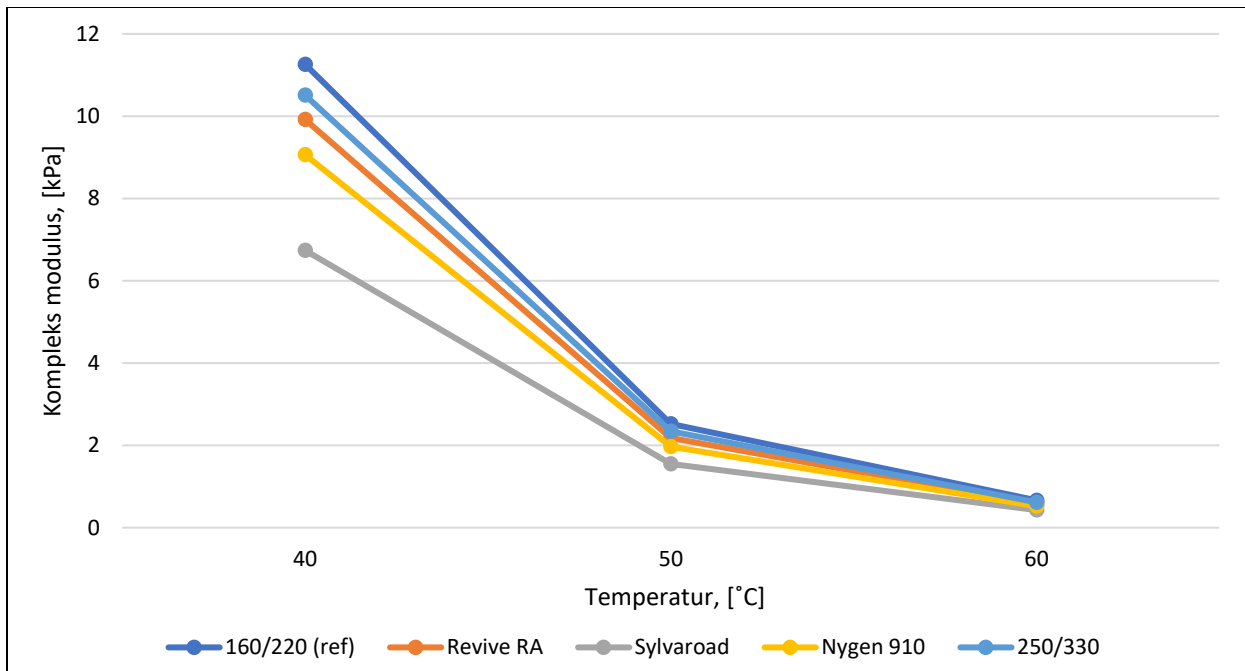
Testmetodene for penetrasjon, mykningspunkt og Fraass bruddpunkt er gamle og kjente metoder som egner seg godt for nøyaktige vurderinger av egenskapene til bitumen. Mykningspunkt for bindemiddelet i de ferske prøvene viste små variasjoner i forhold til referanseblandingen vår, bortsett fra Sylvaroad som hadde litt mindre mykningspunkt. Alle innblandingene oppfylte minimumskravet i N200 (Statens Vegvesen, 2018), men de var på den nedre grensen. Mens verdiene for Fraass bruddpunkt var både forventet og godt innenfor maksimumskravet ifølge N200 (Statens Vegvesen, 2018). Det ble vist store variasjoner i testresultatene for Nygen 910 og Sylvaroad og testene måtte kjøres flere ganger før resultatene for kravet for at testresultatet skal bli godkjent ble oppfylt. Noe som kan ses i arbeidsskjemaene vedlagt i Vedlegg A.2. Det var mindre variasjoner i Revive Ra og 250/330 og testene måtte kjøres færre ganger. Sylvaroad hadde lavest mykningspunkt blant innblandingene, og lavest Fraass bruddpunkt noe som indikerer til at det er det mykeste bindemiddelet. Jo lavere Fraass bruddpunkt, og lavere mykningspunkt jo mykere er materialet. Det ønskes et stivt bindemiddel om sommeren og et mykt bindemiddel om vinteren.

6.1.1 Deformasjonsmotstand med MSCRT-metoden

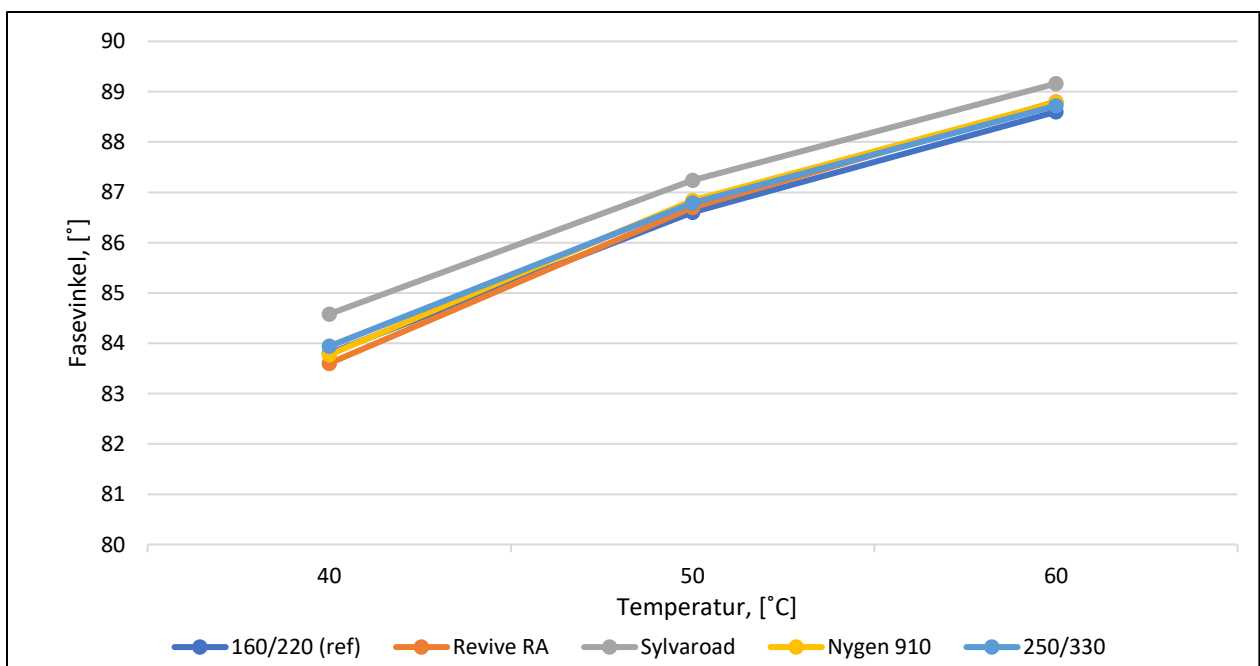
Testing av bindemiddelets deformasjonsmotstand i de ulike innblandingene viser at bindemiddelet ikke er elastisk noe som var forventet fra materialene som ble brukt i eksperimentet. Det er i tillegg veldig lave og små variasjoner i verdiene for den plastiske deformasjonen og spenningssensitiviteten til bindemidlene, siden det er et viskøst bindemiddel. De beregnede $J_{nr, diff}$ verdiene for de ulike bindemidlene tyder på at referanseblandingen er minst spenningssensitivt. Men alle bindemidlene som ble testet i de ulike innblandingene ligger godt

under den amerikanske grensen for akseptabel spenningssensitivitet på 75 %. Disse resultatene egner seg ikke til bindemidlet vi brukte under det eksperimentelle arbeidet vårt, men er mer relevante for polymermodifiserte bindemidler, siden disse er mer elastiske og har en høyere spenningssensitivitet.

Resultatene fra DSR-testen ga oss kompleks modulusene og fasevinklene som er oppsummert i Figur 6-1 og 6-2.



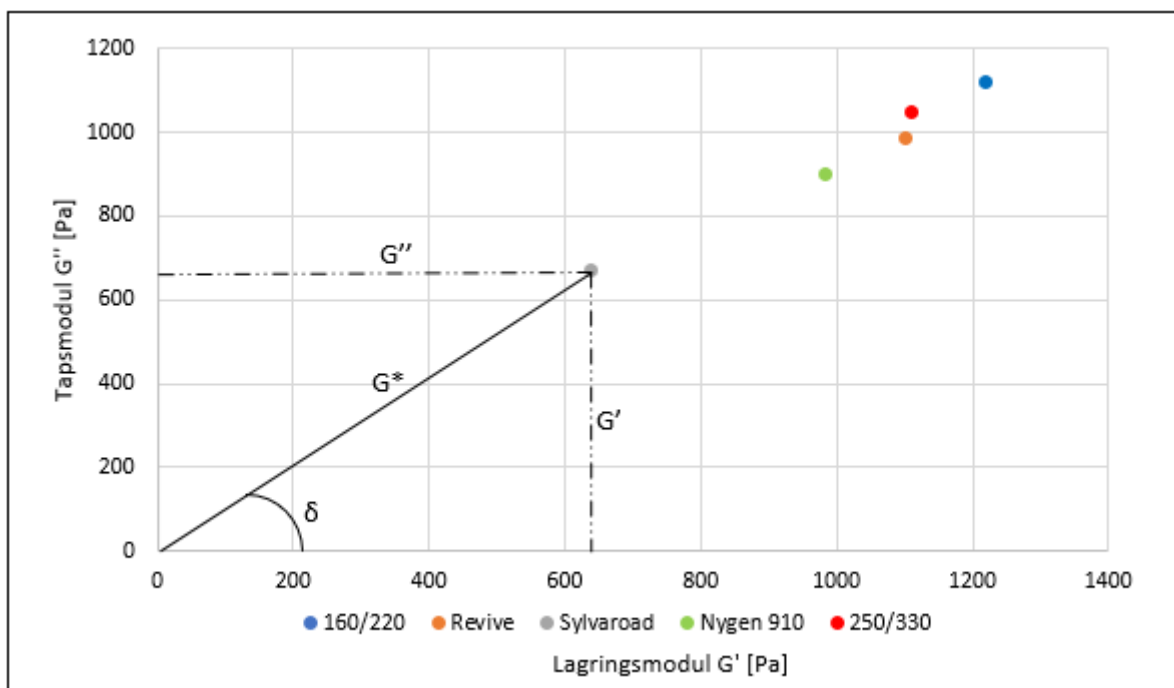
Figur 6-1: Kompleks modulus for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer



Figur 6-2: Fasevinkel for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer

Fra figurene kan man se at kompleks modulusen minker med økende temperatur og fasevinkelen øker med økende temperatur for alle innblandingene. Da materialene med økende temperatur blir mer viskøst. Fra kompleks modulusen kan man se at alle har samme trend, men Sylvaroad skiller seg mer ut og har nesten halvparten så stor kompleks modulus enn referanseblandingen ved 40 °C. Det er ikke like store forskjeller mellom disse i fasevinkelen, hvor Sylvaroad har høyest fasevinkel ved både 40, 50 og 60 °C. For idealistisk elastiske materialer er $\delta = 0^\circ$, mens for idealistisk viskøse materialer er $\delta = 90^\circ$. Fasevinkelen ligger mellom 80 og 90° for alle innblandingene våre som er et viskoelastisk materiale som forventet.

Lagrimodulen og tapsmodulen for de ulike innblandingene ved 40 °C er plottet i punktdiagrammet nedenfor i Figur 6-3, hvor vi har illustrert G^* og δ for Sylvaroad, og kun plottet de andre innblandingene.



Figur 6-3: Fasevinkel og kompleks modul plottet i et tapsmodul mot lagrimodul diagram for innblandingene ved 40 °C

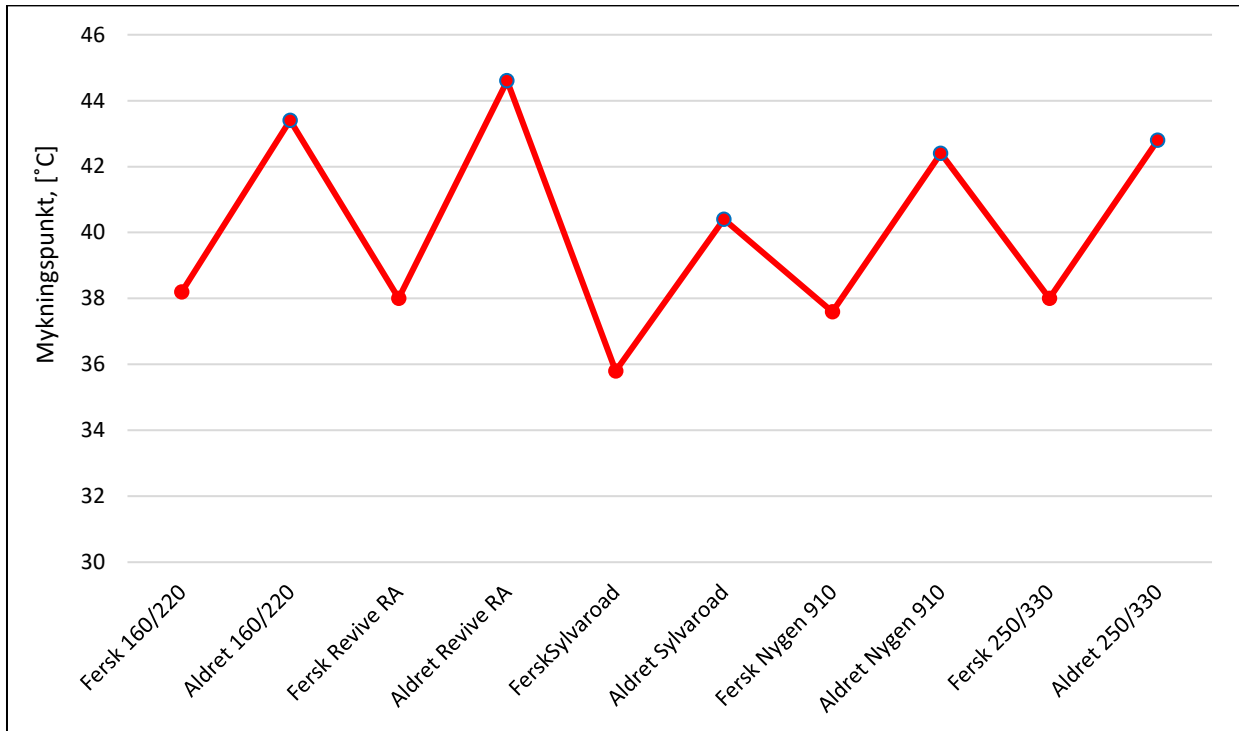
Lagrimodulen G' beskriver hvor stor del av materialets energi som lagres ved hver svingning, mens tapsmodulen G'' er den energien som blir tapt. Fra figuren kan vi se at Sylvaroad skiller seg ut, som vi så i de to forrige figurene, så det var forventet at den skal være halvparten av referanseblandingen. Blandingen 250/330 uten tilsetning av rejuvenator viser bedre resultater enn forventet, og er blandingen som er nærmest lik referanseblandingen ifølge dataene fra DSR-testen.

6.1.2 Dynamisk vedheftningsforsøk

Kravet for dekningsgrad ifølge retningslinjer asfalt 2019 (Arnevik, et al., 2018) tabell 1 er minimum 30 % etter 72 timers rulletid. Resultatene fra rulleflaske-test viste at ingen av innblandingene uten amin oppfylte det nevnte kravet. Etter 6 timer hadde dekningsgraden halvert for alle innblandingene, og ved 48 timer var dekningsgraden 0 %. Innblandingene med amin viser bedre resultater enn uten tilsetning av amin. Med amin blir dekningsgraden halvert etter 48 timer, i motsetning til 6 timer uten amin. Fra resultatene kan vi se at referanseblandingen hadde høyest dekningsgrad etter 72 timer, og 250/330 hadde den laveste dekningsgraden og var den eneste blandingen som ikke oppfylte kravet i retningslinjer asfalt 2019 (Arnevik, et al., 2018). Innblandingene med rejuvenator viste stort sett like resultater, men Revive RA viste litt bedre dekningsgrad enn de to andre og var ikke langt unna referanseblandingen. Denne metoden er ikke godt nok egnet for nøyaktige målinger av vedheft, siden man bedømmer dekningsgraden ut ifra hva man ser gjennom forstørrelsesglasset, så resultatene kan variere fra person til person. Men metoden gir en god indikasjon på hvordan vedheften er på de bindemiddeldekte steinene, og i forhold til kravene som er satt av veimyndighetene, og ikke minst i forhold til hverandre.

6.2 Bindemiddelanalyse etter aldringssimulering

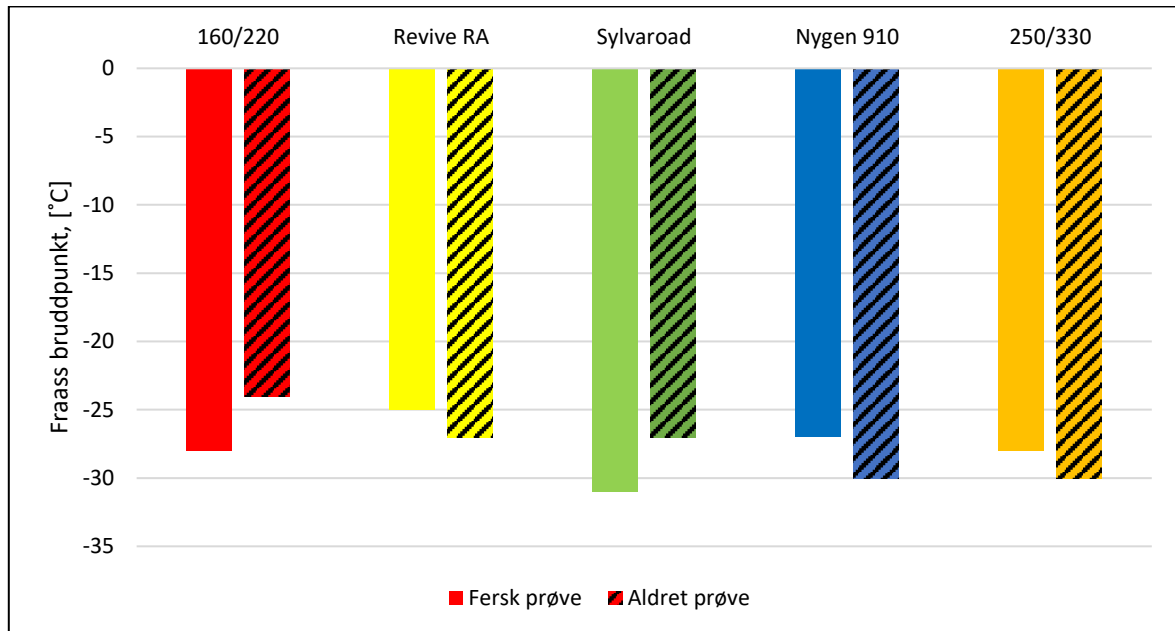
For å kunne studere endringen i de reologiske egenskapene til bindemiddelet ble de samme testene utført som for ferskt bindemiddel på aldret bindemiddel, for å sjekke hvor stivere bindemiddelet har blitt under produksjons- og utleggingsprosessen. Endringen i mykningspunktet er oppsummert i Figur 6-4.



Figur 6-4: Mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene før og etter RTFOT

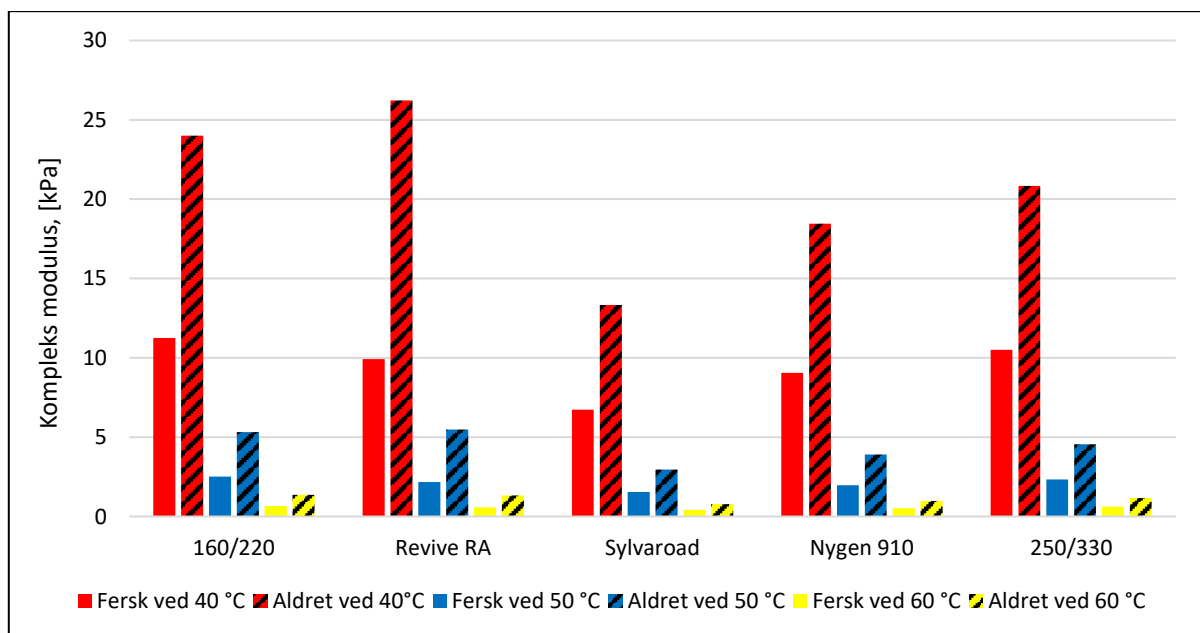
Fra linjediagrammet kan vi se at mykningspunktet for alle innblandingene har økt etter aldringssimuleringen, noe som indikerer på at bindemiddelet har blitt stivere etter aldringen. Det er en relativ lik økning i mykningspunktet for innblandingene på 5 °C, hvor Revive RA hadde den største økningen på 6,6 °C, siden den hadde laveste viskositeten i forhold til de andre rejuvenatorene. Sylvaroad er blandingen med den laveste mykningspunktet både ved ferskt prøve og aldret prøve, som vil si at det er den mykeste innblandingene i eksperimentet.

På Figur 6-5 kan vi se at Fraass bruddpunkt for referanseblandingen og Sylvaroad minker etter aldring, noe som er forventet siden materialet har blitt stivere. Men for de tre resterende blandingene har Fraass bruddpunkt økt, noe som viser at rejuvenatorene hadde en positiv effekt på Fraass bruddpunkt. Nygen 910 og Nynas 250/330 har lavest Fraass bruddpunkt etter aldringssimulering.

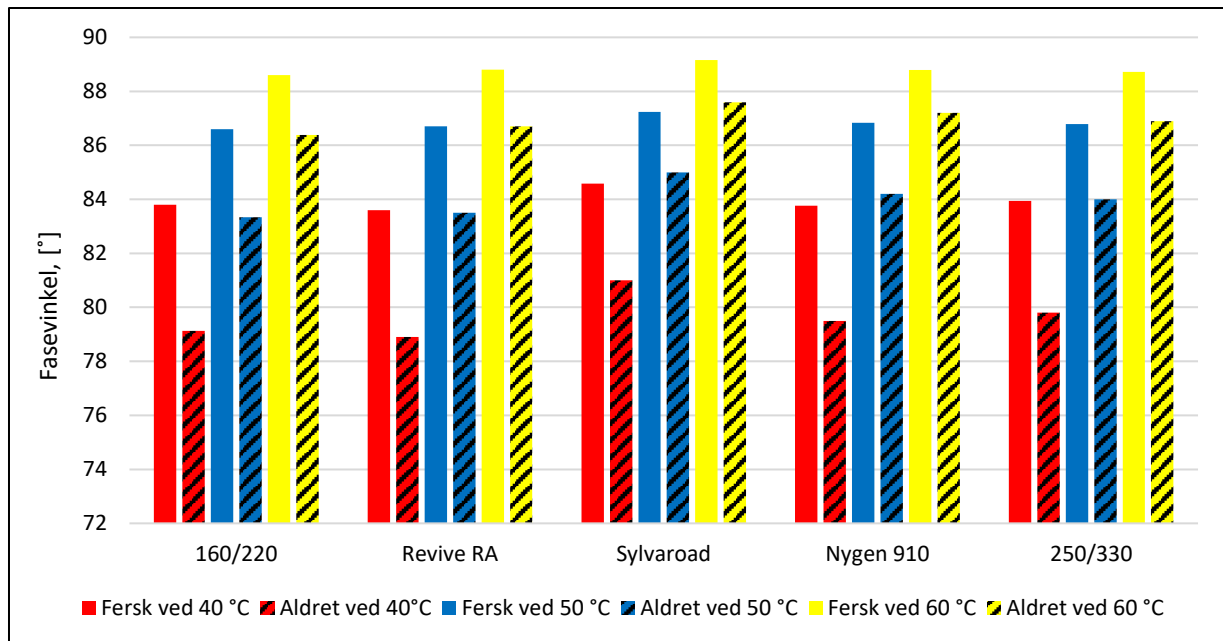


Figur 6-5: Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene før og etter RTFOT

Resultatene fra DSR-testen før og etter korttidsaldringssimulering ga oss kompleks modulusene og fasevinklene som er oppsummert i Figur 6-6 og 6-7.



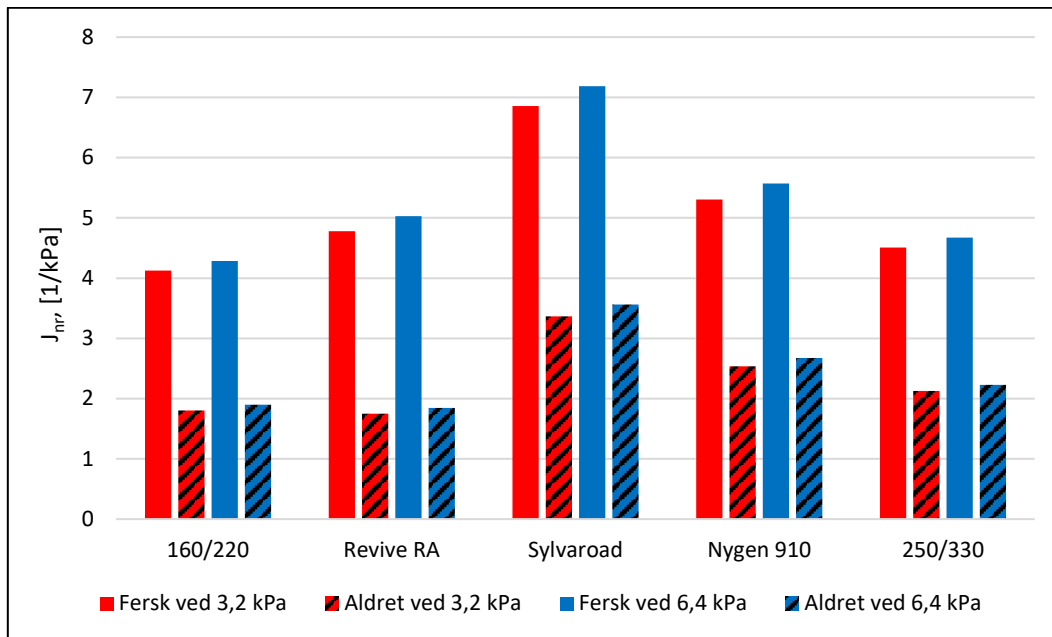
Figur 6-6: Kompleks modulus for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer før og etter RTFOT



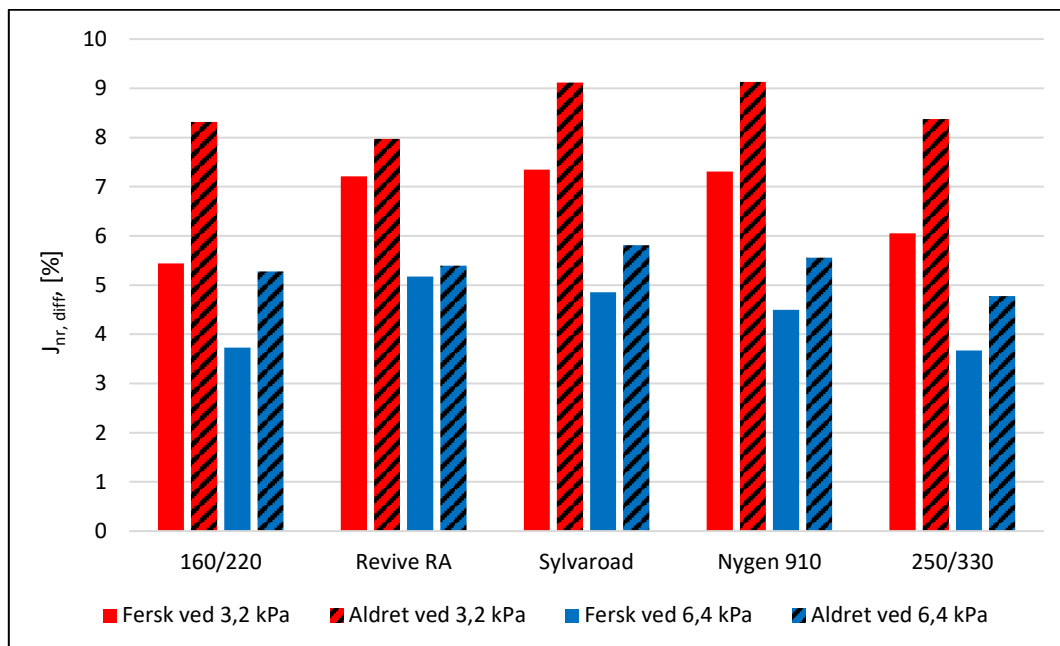
Figur 6-7: Fasevinkel for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer før og etter RTFOT

Man kan se at kompleks modulusen har økt etter aldringssimulering noe som indikerer på at bindemiddelet i de ulike blandingene har blitt mer stivere. I tillegg kan man se at fasevinkelen har minket, siden bindemiddelet oppfører seg mer elastisk etter aldringssimuleringen. For å motstå spordannelse og utmattingssprekker bør asfalt bindemiddelet være stivt, slik at det ikke deformeres mye, og det skal være elastisk slik at det kan returnere til sin opprinnelige form etter belastning, derfor bør den elastiske delen av kompleks modulusen $G^*/\sin \delta$ være stor, mens den komplekse skjærmodulens viskøse del $G^*\sin\delta$ må være liten. Revive RA har den største verdien for den elastiske delen av kompleks modulusen etterfulgt av referanseblandingen, mens Sylvaroad har den laveste verdien. Jo høyere G^* -verdien er jo stivere er bindemiddelet og kan motstå deformasjon, mens jo lavere δ er, desto større er den elastiske delen G^* i stand til å gjenopprette sin opprinnelige form etter deformasjonslast. Vi kan se fra diagrammene at innblandingen med høyeste kompleks modulus er Revive RA, mens Sylvaroad har omtrent halvparten så høy kompleks modulus som Revive RA og er dermed innblandingen med lavest kompleks modulus. Det er mindre forskjeller i fasevinkelen til innblandingene, men Revive RA og referanseblandingen har den minste fasevinkelen, mens Sylvaroad har den høyeste fasevinkelen noe som er forventet, ettersom den hadde den laveste kompleks modulusen.

Resultatene fra MSCRT-testen før og etter korttidsaldringssimulering ga oss følgende plastisk deformasjon J_{nr} , og spenningssensitivitet $J_{nr, diff}$ som er vist i Figur 6-8 og 6-9.



Figur 6-8: Plastisk deformasjon til ferskt og aldret bindemiddel for de ulike innblandingene



Figur 6-9: Spenningssensitiviteten til ferskt og aldret bindemiddel for de ulike innblandingene

Fra figurene kan vi se at den plastiske deformasjonen J_{nr} , har minket for alle innblandingene noe som indikerer at blandingene har blitt mer elastiske etter korttidsaldringssimulering, og det kan i tillegg bekreftes fra spenningssensitiviteten $J_{nr, diff}$ som har økt.

7 Konklusjon

Denne eksperimentelle studien er et viktig bidrag til å forstå effekten av aldring på de reologiske egenskapene til bituminøse blandinger med ferskt og gjenvunnet bitumen. Basert på de beskrevne funnene ovenfor, er det rimelig å forvente at resirkulerte asfaltblandinger fremstilt med ferskt bitumen, rejuvenator og store mengder gjenvunnet asfalt har reduserende egenskaper sammenlignet med kun ferskt bitumen.

Basert på resultatene i oppgaven, kan vi konkludere at:

- Rejuvenatorer modifierer bitumens kjemiske egenskaper og gjenoppretter de reologiske egenskapene til returafalt ved å redusere viskositeten til aldring bitumen, som kan bekreftes av en reduksjon i kompleksmodulusverdier G^* , og en økning i fasevinkler δ , tilhørende et lavere G'/G'' -forhold.
- Aldring innebærer en økning i G^* -verdier, som indikerer bitumenherding og en reduksjon i fasevinkler δ , som tilsvarer en utbredelse av den elastiske komponenten G' over den viskøse komponenten G'' .
- Spenningssensitiviteten, $J_{nr, diff}$, øker etter korttidsaldringssimulering, mens den plastiske deformasjonen, J_{nr} , minker etter korttidsaldringssimulering noe som indikerer at elastisiteten og stivheten øker.
- Kompleks modulusen, G^* , minker med økende temperatur, mens fasevinkelen, δ , øker med økende temperatur, det vil si at deformasjonsmotstanden minker med økende temperatur.
- Rejuvenatorer forseglar asfaltkonstruksjonen mot inntrenging av vann og luft, noe som reduserer oksidasjon og øker holdbarheten.
- Amintilsetning gir bedre vedheft mellom de bindemiddeldekte steinene, noe som kan ses i alle de ulike innblandingene og kan bekreftes fra rulleflaske-test samt de prøvene vi fikk testet i vendskak-test.

Mykningspunktet for bindemiddelet økte etter aldringssimuleringen, noe som indikerer på at bindemiddelet har blitt stivere etter aldringen. Fraass bruddpunkt økte for to av blandningene, noe som var forventet mens for de tre andre blandningene minket Fraass bruddpunkt noe som ikke var forventet siden materialet ble stivere etter RTFOT, men labben mener at

apparatet/målingene ikke er så pålitelige på prøver med Fraass < -20 °C. Blandingen av resirkulert asfalt og et mykere bindemiddel gir samme effekt som innblandingene med rejuvenatorer og det er signifikante forskjeller mellom innblandingene. Blandingene med rejuvenatorer gir like god vedheft som de andre blandingene, og viste stort sett like resultater. Innblandingene med amin ga mye bedre vedheft mellom de bindemiddeldekte steinene enn uten amin, noe som var forventet.

Testmetoden MSCRT er ikke egnet til indikasjon av deformasjonsmotstanden til bindemiddelet som ble testet i det eksperimentelle arbeidet før korttidsaldringssimuleringen, siden innblandingene våre var viskøse og ikke elastiske. Denne test metoden egner seg best for elastiske bindemidler, polymermodifiserte bindemidler.

Det bør imidlertid legges stor vekt på valg av de mest egnede komponentene i blandingen på grunn av kompatibilitet. Spesielt bør type og dosering av rejuvenator velges riktig, noe som kan gjøres ved å utføre prøveblandinger som ble gjort i det eksperimentelle arbeidet i denne oppgaven, da deres interaksjon sterkt påvirker den endelige blandingens ytelse. I tillegg kan det forventes at bruk av samme type rejuvenator med en annen bitumenpenetrasjonsgrad kan endre den tilsvarende bitumenresponsen.

8 Anbefalinger for fremtidige undersøkelser

På grunn av kort forskningsperiode kunne ikke forfatterne gjøre alle eksperimentene som var planlagt. For å bedømme den virkelige effekten av rejuvenatorer på aldret bitumen, er det nødvendig å utføre langtidsaldringssimulering, PAV, for å konkludere hvordan bitumenet oppfører seg ute på veien etter 10 år, noe som vil bli utført etter sommeren som en del av prosjektet som er illustrert i Figur 1-2 i Seksjon 1

Men basert på analysene og resultatene, observasjonene i laboratoriet og erfaringer fra denne oppgaven, kan følgende anbefales for fremtidig forskning innen effekten av rejuvenatorer på aldret bindemiddel.

- Øke andelen av gjenvunnet bindemiddel fra granulat i innblandingen av ferskt bindemiddel og rejuvenator.
- En mer dyptgående analyse om virkningen av rejuvenator på ulike bindemidler med forskjellige penetrasjonsgrader.
- Effekten av en kombinasjon av forskjellige rejuvenatorer på aldret bindemidler kan studeres.
- En grundig undersøkelse for å finne de optimale mengdene av de forskjellige rejuvenatorene for de ulike bindemiddelene.

9 Referanser

- Adib, S. H., & Adib, S. H. (2018, Mai 23). *Anvendelse av reparasjonsmetoden fiberduk mettet med bitumen mot tverrgående refleksjonssprekker*, BSc Oppgave. Oslo, Norge: OsloMet.
- Andersson, O. G., Christiansen, A., Helk, U., Josephsen, L., Larsen, H. F., & Nielsen, E. (2018). *Cirkulær Asfaltproduksjon i Danmark*. København, Danmark: Miljøstyrelsen.
- Arnevik, A., Evensen, R., Uthus, N. S., Aksnes, J., Aurstad, J., & Jørgensen, T. (2018). *Retningslinjer asfalt 2019*. Oslo, Norge: Statens Vegvesen, Vegavdelingen.
- Asli, H., Ahmadinia, E., Zargar, M., & Karim, M. R. (2012). *Investigation on physical properties of waste cooking oil - Rejuvenated bitumen binder*. Kuala Lumpur, Malaysia: Center for Transportation Research.
- Aurstad, J. (2018, November 5). Litt om vedlikehold av vegdekker 1. Ås, Akershus, Norge.
- Aurstad, J., Aksnes, J., Berntsen, G., Gryteselv, D., Johansen, R., Lindland, T., . . . Yideti, T. (2016). *Lærebok Vegteknologi*. Trondheim, Norge: Statens Vegvesen, Vegdirektoratet.
- Boyer, R. E. (2000). *Asphalt Rejuvenators "Fact, or Fable"*. Texas, USA: Asphalt Institute.
- Brownridge, J. (2010). *The Role of an Asphalt Rejuvenator in Pavement Preservation: Use and Need for Asphalt Rejuvenation*. California, USA: California Department of Transportation.
- Chen, J. S., Huang, C. C., Chu, P. Y., & Lin, K. Y. (2007, Desember 29). Engineering characterization of recycled asphalt concrete and aged bitumen mixed recycling agent. *Journal of Material Science*, ss. 9867-9876.
- European Asphalt Pavement Association. (2018). *Recommendations for the use of rejuvenators in hot and warm asphalt production*. Brussel, Belgia: European Asphalt Pavement Association.
- Fossum, S. (2018, Februar 20). *Store medisinske leksikon*. Hentet fra <https://sml.snl.no/micelle>
- Garcia, A., Schlangen, E., & Ven, M. v. (2010). *Properties of capsules containing rejuvenators for their use in asphalt concrete*. Delft, The Netherlands: Elsevier Ltd.
- Grilli, A., Gnisci, M. I., & Bocci, M. (2017). *Effect of ageing process on bitumen and rejuvenated bitumen*. Anacona, Italy: Elsevier Ltd.
- Hunter, D. N., Read, J., & Self, A. (2015). *Shell Bitumen Handbook*. London, England: ICE Publishing.
- Johannsen, K. (2018, Oktober 23). Use of rejuvenators in hot recycling. Oslo, Norge: Eurovia.
- Jørgensen, T. (2018, September 18). Vegdekker - grunnleggende egenskaper. Ås, Akershus, Norge.
- Karlsson, R., & Isacsson, U. (2011). *Bitumen Rejuvenator Diffusion as Influenced by Ageing*. Stockholm, Sweden: Division of Highway Engineering.
- Karlsson, R., Isacsson, U., & Ekblad, J. (2006, November 14). Rheological characterisation of bitumen diffusion. *Journal of Materials Science*, ss. 101-108.
- Kontrollordningen For Asfaltgjenvinning (KFA). (2019). *Veileder i gjenbruk av asfalt*. Høvik, Akershus: Veiteknisk Institutt.

- Kuang, D., Feng, Z., Yu, J., Chen, X., & Zou, B. (2011, March 12). A new approach for evaluating rejuvenator diffusing into aged bitumen. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, ss. 43-46.
- Larsen, Ø. (2018, Oktober 25). Friksjon. Ås, Akershus, Norge.
- Lerfald, B. O. (2000). *Ageing and Degradation of Asphalt Pavements on Low Volume Roads*. Trondheim, Norway: The Norwegian University of Science and Technology.
- Lerfald, B. O., Anderson, E. O., Bragstad, R., Aurstad, J., Jørgensen, T., & Lange, G. (2004). *Sluttrapport SINTEF*. Trondheim, Norge: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Lu, X., Soenen, H., & Laukkanen, O. V. (2017). *Aging og bituminous binders in asphalt pavements and laboratory test*. London, United Kingdom: Taylor Francis Group.
- Marais, C. P. (1974). *Tentative mix-design criteria for gap-graded bituminous surfaces*. Pretoria, South Africa: National Institute for Road Research.
- Mirochnikova, O. (2015). *Effekter av tilsatt gjenbruksasfalt på egenskaper for asfaltbetong med polymermodifisert bindemiddel for bruk på høytrafikkert veg*. Trondheim, Norge: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Moen, F. (2018, Oktober 9). Vegmaterialer - kvalitet og kontroll. Ås, Akershus, Norge.
- Olsson, K. (2018, Oktober 23). Försökssträckor med ökad återvinning (SBUF). Oslo, Norge: Nabin.
- Ongel, A., & Hugener, M. (2015). *Impact of rejuvenators on aging properties of bitumen*. Duebendorf, Switzerland: Elsevier Ltd.
- Oxigil. (2019, Mars 23). *Oxigil*. Hentet fra Oxidized bitumen: <http://www.oxigil.com/eng/oxidized-bitumen/what-is-oxidized-bitumen/>
- Pay, P. (2017). *Effect of polymer modified bitumen on deformation characteristics of low-traffic asphalt pavements*. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology.
- Radenberg, I. M., Flottmann, N., Koenig, M., & Hilfert, T. (2016). *Extended bitumen testing in Germany*. Pague, Czech Republic: Euroasphalt & Eurobitume.
- Ruud, O. E. (2009, Februar 14). *Store norske leksikon*. Hentet fra Bituminøse bindemidler: https://snl.no/bitumin%C3%B8se_bindemidler
- Sandmann, T. (2015, October 20). *PMB AND RECYCLING. PMB AND RECYCLING, EXPERIENCES FROM GERMANY*. Oslo, Norge: Total, NaBin.
- Scholz, T. V. (1995). *Durability of bituminous paving mixtures*. Nottingham, United Kingdom: The University og Nottingham.
- Statens Vegvesen. (2014). *Standard for drift og vedlikehold av riksveger*. Oslo, Norge: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2015). *Laboratorieundersøkelser*. Oslo, Norge: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2018). *Vegbygging*. Oslo, Norge: Vegdirektoratet.
- Tanghe, T., Lemoine, G., Nosler, I., & Kloet, B. (2012). *Influence of rejuvenating additives on recycled asphalt (RAP) properties*. Istanbul, Turkey: Eurasphalt & Eurobitume.

- Trangen, I.-E. L. (2016). *En sammenligning av metoder formekanistisk-empirisk dimensjonering av vegoverbygninger for norske forhold*. Ås, Norge: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Wendel, M. (2016, Januar 21). Foryngning av asflat i kretsloppet. Oslo, Norge: PEAB.
- Wess, M. A., Olsen, D. D., & Sweeney, D. H. (2005). *Asphalt (Bitumen)*. Ohio, USA: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Wivelstad, G. (2017). *Bruk av georadar til å undersøke tilstanden til veikonstruksjoner*. Ås, Norge: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Yideti, T. F. (2018, September 18). Dimensjonering av vegoverbygninger i Norge. Ås, Akershus, Norge.
- Yideti, T. F. (2018, September 6). Vegens oppbygning. Ås, Akershus, Norge.
- Yousef, M. (2018). *Asfaltbindemiddel materialer: Bitumen*. Akershus, Norge: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Zwan, J. v. (2012). *How to diminish the carbon footprint of asphalt roads*. Istanbul, Tyrkia: Eurasphalt & Eurobitume.

Vedlegg A

A.1 Arbeidsskjema Mykningspunkt

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: ID963 R001	dato: 27/3-19	sign.: k20	rapportert resultat: 38,2 °C
------------------------	---------------	------------	------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
6:30			7:15

TID	Test I			Test II			Test III			
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	
3	15,3									
4	20,1	4,8	-0,2							
5	24,7	4,7	-0,5							
6	29,6	5,0	-0,5							
7	34,7	5,0	-0,5							
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Figur graf OK?										
Testens varighet:										
varighet×5°C/min:										
MT a:	38,1	Gradient: Ok		a:	Gradient:		a:	Gradient:		
MT b:	38,2	ΔT: 0,1		b:	ΔT:		b:	ΔT:		
MT gjennomsnitt:	38,2			MT gjennomsnitt:				MT gjennomsnitt:		

Tabell A-1: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Nynas 160/220

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: 10963 - Re 002	dato: 28/3-19	sign.: k20	rapportert resultat: 38,0 °C
----------------------------	---------------	------------	------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
6 35			7 20

TID	Test I			Test II			Test III			
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	
	Vann/glycerol <i>Vann</i>			Vann/glycerol			Vann/glycerol			
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring			
	Tid start: <i>8 46</i>			Tid start:			Tid start:			
3	<i>15,1</i>									
4	<i>19,9</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,1</i>							
5	<i>24,6</i>	<i>4,7</i>	<i>-0,4</i>							
6	<i>29,7</i>	<i>5,1</i>	<i>-0,3</i>							
7	<i>34,9</i>	<i>5,2</i>	<i>-0,1</i>							
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Figur graf OK?										
Testens varighet:										
varighet×5°C/min:										
MT a:	<i>37,8</i>	Gradient:	<i>ok</i>	a:	Gradient:	a:	Gradient:	a:	Gradient:	
MT b:	<i>38,1</i>	ΔT:	<i>0,3</i>	b:	ΔT:	b:	ΔT:	b:	ΔT:	
MT gjennomsnitt:	<i>38,0</i>			MT gjennomsnitt:				MT gjennomsnitt:		

Tabell A-2: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Revive RA

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: 10963 - Re003	dato: 29/3-19	sign.: kso	rapportert resultat: 35,8 °C
---------------------------	---------------	------------	------------------------------

satt i varmeskap 630	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt 745
-------------------------	---------------	--------------	---------------------

TID	Test I			Test II			Test III		
	Vann/glycerol			Vann/glycerol			Vann/glycerol		
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring		
	Tid start: 10:15			Tid start:			Tid start:		
Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	
3	14,8								
4	19,8	5,0	0,0						
5	24,7	4,9	-0,1						
6	29,6	5,0	-0,1						
7	34,7	5,0	-0,1						
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet × 5 °C/min:									
MT a: 35,6	Gradient: ok			a: ..	Gradient		a:	Gradient:	
MT b: 35,9	ΔT: 0,3			b: ..	ΔT:		b:	ΔT:	
MT gjennomsnitt: 35,8			MT gjennomsnitt:			MT gjennomsnitt:			

Tabell A-3: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Sylvaroad

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: <i>ld 963-Re004</i>	dato: <i>1/4-19</i>	sign.: <i>ks</i>	rapportert resultat: <i>37,6°C</i>
---------------------------------	---------------------	------------------	------------------------------------

satt i varmeskap <i>635</i>	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt <i>710</i>
--------------------------------	---------------	--------------	----------------------------

TID	Test I			Test II			Test III			
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	
3	<i>14,8</i>									
4	<i>19,6</i>	<i>4,8</i>	<i>-0,2</i>							
5	<i>24,3</i>	<i>4,7</i>	<i>-0,5</i>							
6	<i>29,2</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,6</i>							
7	<i>34,2</i>	<i>5,0</i>	<i>-0,6</i>							
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Figur graf OK?										
Testens varighet:										
varighet x 5°C/min:										
MT a:	<i>37,2</i>	Gradient:	<i>ok</i>	a:	Gradient:	a:	Gradient:	a:	Gradient:	
MT b:	<i>37,9</i>	ΔT:	<i>0,7</i>	b:	ΔT:	b:	ΔT:	b:	ΔT:	
MT gjennomsnitt:	<i>37,6</i>			MT gjennomsnitt:				MT gjennomsnitt:		

Tabell A-4: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Nygen 910

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: 1d963-Re005	dato: 2/4-19	sign.: k28	rapportert resultat: 38,0 °C
-------------------------	-----------------	---------------	---------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
640			725

TID	Test I			Test II			Test III		
	Vann/glycerol			Vann/glycerol			Vann/glycerol		
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring		
	Tid start:			Tid start:			Tid start:		
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5
3	15,0								
4	20,1	5,0	0,0						
5	25,0	4,7	-0,3						
6	30,0	5,4	+0,1						
7	35,2	5,1	+0,2						
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet×5°C/min:									
MT a:	37,9	Gradient: 0h		a:	Gradient:		a:	Gradient:	
MT b:	38,0	ΔT: 0,1		b:	ΔT:		b:	ΔT:	
MT gjennomsnitt:			38,0	MT gjennomsnitt:			MT gjennomsnitt:		

Tabell A-5: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Nynas 250/330

Etter korttidsaldringssimulering – RTFOT

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: <i>Id 963 RTFOT R2021A</i>	dato: <i>24/4-19</i>	sign.: <i>ked</i>	rapportert resultat: <i>434°C</i>
---	----------------------	-------------------	-----------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
------------------	---------------	--------------	--------------

TID	Test I			Test II			Test III		
	Vann/glycerol			Vann/glycerol			Vann/glycerol		
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring		
	Tid start:			Tid start:			Tid start:		
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5
3	<i>16,2</i>								
4	<i>21,2</i>	<i>5,0</i>	<i>0,0</i>						
5	<i>26,4</i>	<i>5,2</i>	<i>+0,2</i>						
6	<i>31,6</i>	<i>5,2</i>	<i>+0,4</i>						
7	<i>36,7</i>	<i>5,2</i>	<i>+0,6</i>						
8	<i>41,6</i>	<i>4,8</i>	<i>+0,4</i>						
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet×5°C/min:									
MT a:	<i>43,0</i>	Gradient:	<i>0,6</i>	a:	Gradient:	a:	Gradient:		
MT b:	<i>43,6</i>	ΔT:	<i>0,6</i>	b:	ΔT:	b:	ΔT:		
MT gjennomsnitt:		<i>43,4</i>		MT gjennomsnitt:		MT gjennomsnitt:			

Tabell A-6: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Nynas 160/220 etter RTFOT

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---


Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: <i>Id 963 RTFOT Re022</i>	dato: <i>25/4-19</i>	sign.: <i>628</i>	rapportert resultat: <i>44,6°C</i>
--	----------------------	-------------------	------------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
------------------	---------------	--------------	--------------

TID	Test I			Test II			Test III		
	Vann/glycerol			Vann/glycerol			Vann/glycerol		
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring		
	Tid start:			Tid start:			Tid start:		
Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	
3	<i>15,8</i>								
4	<i>21,0</i>	<i>5,0</i>	<i>0,0</i>						
5	<i>25,7</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,1</i>						
6	<i>31,1</i>	<i>5,4</i>	<i>+0,3</i>						
7	<i>36,2</i>	<i>5,1</i>	<i>+0,4</i>						
8	<i>41,3</i>	<i>5,2</i>	<i>+0,6</i>						
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet×5°C/min:									
MT a:	<i>44,5</i>	Gradient:	<i>ok</i>	a:	Gradient:	a:	Gradient:		
MT b:	<i>44,5</i>	ΔT:	<i>0,0</i>	b:	ΔT:	b:	ΔT:		
MT gjennomsnitt:			<i>44,6</i>	MT gjennomsnitt:			MT gjennomsnitt:		

Tabell A-7: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Revive RA etter RTFOT

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: <i>Id 963 RTFOT Re 023</i>	dato: <i>6/5-19</i>	sign.: <i>ksd</i>	rapportert resultat: <i>40,4°C</i>
---	---------------------	-------------------	------------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
			<i>740</i>

TID	Test I			Test II			Test III		
	Vann/glycerol			Vann/glycerol			Vann/glycerol		
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring		
	Tid start: <i>9:25</i>			Tid start:			Tid start:		
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5
3	<i>14,8</i>								
4	<i>19,6</i>	<i>4,8</i>	<i>-0,2</i>						
5	<i>24,5</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,3</i>						
6	<i>29,4</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,4</i>						
7	<i>34,2</i>	<i>4,8</i>	<i>-0,6</i>						
8	<i>39,2</i>	<i>5,1</i>	<i>-0,5</i>						
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet × 5°C/min:									
MT a: <i>40,2</i>		Gradient: <i>0,6</i>		a:		Gradient:		a:	
MT b: <i>40,4</i>		ΔT: <i>0,2</i>		b:		ΔT:		b:	
MT gjennomsnitt: <i>40,4</i>			MT gjennomsnitt:			MT gjennomsnitt:			

Tabell A-8: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Sylvaroad etter RTFOT

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: <i>ld 963 RTFOT Re 024</i>	dato: <i>7/5-19</i>	sign.: <i>ked</i>	rapportert resultat: <i>42,4°C</i>
---	---------------------	-------------------	------------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
			<i>7:30</i>

TID	Test I			Test II			Test III		
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5
3	<i>14,5</i>								
4	<i>19,3</i>	<i>4,8</i>	<i>-0,2</i>						
5	<i>24,2</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,3</i>						
6	<i>29,1</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,4</i>						
7	<i>34,1</i>	<i>5,0</i>	<i>-0,4</i>						
8	<i>39,0</i>	<i>5,0</i>	<i>-0,4</i>						
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet $\times 5^\circ\text{C}/\text{min}$:									
MT a:	<i>42,3</i>	Gradient:	<i>ok</i>	a:	Gradient:	a:	Gradient:		
MT b:	<i>42,4</i>	ΔT :	<i>0,1</i>	b:	ΔT :	b:	ΔT :		
MT gjennomsnitt:	<i>42,4</i>			MT gjennomsnitt:		MT gjennomsnitt:			

Tabell A-9: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Nygen 910 etter RTFOT

 Statens vegvesen	Lab og vegteknologiseksjonen - Ressursavdelingen - Region midt - Sentrallaboratoriet Trondheim
--	---

Arbeidsskjema Mykningspunkt NS-EN 1427:2007

prøvenr: <i>ld 963 RTFOT Re025</i>	dato: <i>29/4-19</i>	sign.: <i>h20</i>	rapportert resultat: <i>42,8°C</i>
--	----------------------	-------------------	------------------------------------

satt i varmeskap	ut til røring	reoppvarming	ferdig støpt
------------------	---------------	--------------	--------------

TID	Test I			Test II			Test III		
	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5	Temp	ΔT per m	diff fra 5
	Vann/glycerol <i>Vann</i>			Vann/glycerol			Vann/glycerol		
	T ved lagring			T ved lagring			T ved lagring		
	Tid start: <i>9:15</i>			Tid start:			Tid start:		
3	<i>15,3</i>								
4	<i>20,0</i>	<i>4,8</i>	<i>-0,2</i>						
5	<i>24,9</i>	<i>4,7</i>	<i>-0,5</i>						
6	<i>29,9</i>	<i>5,1</i>	<i>-0,4</i>						
7	<i>34,6</i>	<i>4,9</i>	<i>-0,5</i>						
8	<i>39,7</i>	<i>5,0</i>	<i>-0,5</i>						
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Figur graf OK?									
Testens varighet:									
varighet×5°C/min:									
MT a: <i>42,4</i> Gradient: <i>ok</i> a: Gradient:									
MT b: <i>43,0</i> ΔT: <i>0,6</i> b: ΔT:									
MT gjennomsnitt: <i>42,8</i> MT gjennomsnitt: MT gjennomsnitt:									

Tabell A-10: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblandingen med Nynas 250/330 etter RTFOT

A.2 Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt –
Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	1d 963 prøve R001
Materialetype:	B160/220
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	27/3-19
Signatur:	Koo

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	407	120-112	7 ⁴³	8 ¹⁵	-22	-27	Nei
Kommentar:							
2:	417	122-	8 ²⁵	9 ¹⁵	-26	-31	Nei
Kommentar:							
3:	406	123-115	9 ³⁶	10 ²¹	-29	-27	Ja
Kommentar:							
4:	403	122-114	10 ³²	11 ⁵⁵	-27	-31	Nei
Kommentar:							
5:	414	122	12 ⁰⁶	12 ⁰⁵	-29	-25	Nei
Kommentar:							
6:	415						
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{\text{+}}{2} = \text{_____} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-11: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nynas 160/220



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.**Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007****Opplysninger om prøven:**

Labprøvenr:	1d 963 Re 002
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	28/3-19
Signatur:	K28

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	409	120-113	7 ⁴⁵	8 ¹⁵	-24	-30°	Nei
Kommentar:							
2:	407	122-114	8 ²⁵	9 ²⁰	-29	-25	Nei
Kommentar:							
3:	407	123-114	9 ³¹	10 ²⁰	-27	-25	Ja
Kommentar:							
4:	408	122-116	10 ³¹	11 ³⁷	-26	-25	Ja
Kommentar:							
5:	405	122-115	11 ⁴⁷				
Kommentar:							
6:	405						
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-25 + -25}{2} = \underline{-25} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \underline{\quad\quad\quad} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-12: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Revive RA



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	12963 Re003
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	29/3-19
Signatur:	K28

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	407	119-112	7 ⁴⁰	8 ¹⁰	-25	-33	Nei
Kommentar:							
2:	417	122-114	8 ²⁰	9 ²⁰	-31	-32	Ja
Kommentar:							
3:	412	122-113	9 ³¹	10 ²⁸	-31	-28	Nei
Kommentar:							
4:	409	123-114	10 ³⁸	11 ³⁸	-30	-34	Nei
Kommentar:							
5:	404	122-114	11 ⁴⁸	12 ⁵⁰	-30	-27	Nei
Kommentar:							
6:	407						
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{\text{+}}{2} = \text{_____} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-13: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Sylvaroad



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt –
Sentrallaboratoriet TrondheimSist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	Id 963 Re004
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	1/4-19
Signatur:	Ka

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	420	120-113	7 ⁴⁶	8 ¹⁶	-25	-29	Nei
Kommentar:							
2:	409	119-114	8 ²⁰	9 ²⁴	-29	-23	Nei
Kommentar:							
3:	418	122-	9 ³⁴	10 ²²	-25	-26	Ja
Kommentar:							
4:	415	122	10 ³²	11 ³³	-25	-32	Nei
Kommentar:							
5:	401	121-114	11 ⁰²	12 ⁴¹	-25	-27	Ja
Kommentar:							
6:	411	122-114	12 ⁵¹				
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-26 + -27}{2} = \underline{-27} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \underline{\quad\quad} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-14: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nygen 910



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt –
Sentrallaboratoriet TrondheimSist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	1d 963 R2005
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	2/4-19
Signatur:	U20

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	400	120-113	7 ⁴⁵	8 ¹⁸	-25	-28	Nei
Kommentar:							
2:	402	123-115	9 ²⁷	9 ²²	-28	-27	Ja
Kommentar:							
3:	407	122-115	9 ³¹	10 ²⁵	-27	-29	Ja
Kommentar:							
4:	400	122-115	10 ³⁶				
Kommentar:							
5:	402						
Kommentar:							
6:	410						
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-27 + -29}{2} = \underline{-28} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-15: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nynas 250/330

Etter korttidsaldringssimulering – RTFOT



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	1d 963 RTFOT Re 021A
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	24/4-19
Signatur:	K20

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (±10±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	411	123-116	8 ⁰⁰	8 ³²	-20	-30	NEI
Kommentar:							
2:	406	123-116	8 ⁴²	9 ³⁹	-28	-19	NEI
Kommentar:							
3:	409	125-	9 ⁴⁶	10 ³²	-19	-27	NEI
Kommentar:							
4:	410	125-117	10 ⁴²	11 ³⁹	-25	-25	JA
Kommentar:							
5:	410	123-115	11 ⁵¹	12 ⁴⁰	-25	-30	NEI
Kommentar:							
6:	417	124-116	12 ⁴⁹	13 ⁴⁶	-25	-23	JA
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-25 + -23}{2} = -24 \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-16: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nynas 160/220 etter RTFOT



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	Id 963 RTFOT Re 022
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	25/4-19
Signatur:	KW

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	409	125-117	813	848	-25	-26	JA
Kommentar:							
2:	417	125	900	950	-26	-28	JA
Kommentar:							
3:	413	125	1008	1054	-16	-26	Nei
Kommentar:							
4:	409						
Kommentar:							
5:	411						
Kommentar:							
6:	405						
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-26 + -28}{2} = -27^\circ\text{C} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-17: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Revive RA etter RTFOT



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	Id 963 RTFOT Re 023A
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	6/5-19
Signatur:	Ksp

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (+10±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?	
1:	413	123-116	8 ⁰³	8 ³⁰	-20	-30	Nei	<input type="checkbox"/>
Kommentar:								
2:	408	118-112	8 ¹⁵	9 ³¹	-28	-26	Ja	<input checked="" type="checkbox"/>
Kommentar:								
3:	411	128-118	9 ⁴⁵	10 ³⁵	-28	-32	Nei	<input type="checkbox"/>
Kommentar:								
4:	401	126-118	10 ⁴⁴	11 ⁴³	-28	-28	Ja	<input checked="" type="checkbox"/>
Kommentar:								
5:	412	126	11 ⁵³					
Kommentar:								
6:	400							
Kommentar:								

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene |T₁ - T₂| ≤ 3°C

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-26 + -28}{2} = -27 \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-18: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblanding med Sylvaroad etter RTFOT



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	Id 963 RTFOT ReO24
Materialetype:	
Oppgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	7/5-19
Signatur:	ks

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (410±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	406	125-117	8 ⁰⁰	838	-20	-33	Nei
Kommentar:							
2:	406	125-117	8 ⁴⁸	958	-28	-32	Nei
Kommentar:							
3:	411	125-116	9 ⁵⁹	1058	-31	-30	Ja
Kommentar:							
4:	412	123-115	10 ⁴¹	1202	-31	-29	Ja
Kommentar:							
5:	405	125-	12 ¹³				
Kommentar:							
6:	406						
Kommentar:							

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{-30 + -29}{2} = -30^\circ \text{ (oppgis i hele grader) } \pm \text{_____ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-19: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nygen 910 etter RTFOT



Statens vegvesen

Lab og vegteknologiseksjonen – Ressursavdelingen – Region midt – Sentrallaboratoriet Trondheim

Sist revidert
1/11-12 W.H.

Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt NS-EN 12593:2007

Opplysninger om prøven:

Labprøvenr:	1d963 RTFOT Re 025
Materialetype:	
Opgitt Fraass bruddpunkt:	
Utført dato:	29/4-19
Signatur:	1020

Testdata:

Parallell:	Vekt [g]: (+10±10mg)	Temp ved prep.:	Ferdig prep.:	Start test:	EBP [°C] (forventet)	BP [°C] (målt)	*Resultat godkjent?
1:	416	125-119	833	90 ^s	-25	-16	Nei
Kommentar:							
2:	415	125-118	915	95 ^s	-16	-30	Nei
Kommentar:							
3:	405	126	100 ^s	110 ¹	-20	-26	Nei
Kommentar:							
4:	408	124	110 ¹	120 ³	-24	-31	Nei
Kommentar:							
5:	402	124-116	1213	131 ⁵	-24	-33	Nei
Kommentar:							
6:	401	124	132 ⁵	1443			
Kommentar:	1443						

*To krav for at testresultatet skal være godkjent:

1. Målt bruddpunkt (BP) = Forventet bruddpunkt (EBP) ± 2°C. (Maskinen starter bøyning 10°C før EBP.)

2. Maks differanse mellom de to parallellene $|T_1 - T_2| \leq 3^\circ\text{C}$

Dersom 1. er oppfylt, men ikke 2.: resultatet kan da oppgis som et gjennomsnitt av 4 målinger med oppgitt spredning.

$$\text{Testresultat} = \frac{\text{+}}{2} = \text{_____} \text{ (oppgis i hele grader)} \pm \text{_____} \text{ (eventuell spredning)}$$

Tabell A-20: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblanding med Nynas 250/330

A.3 Analyserapporter fra MSCRT-testing



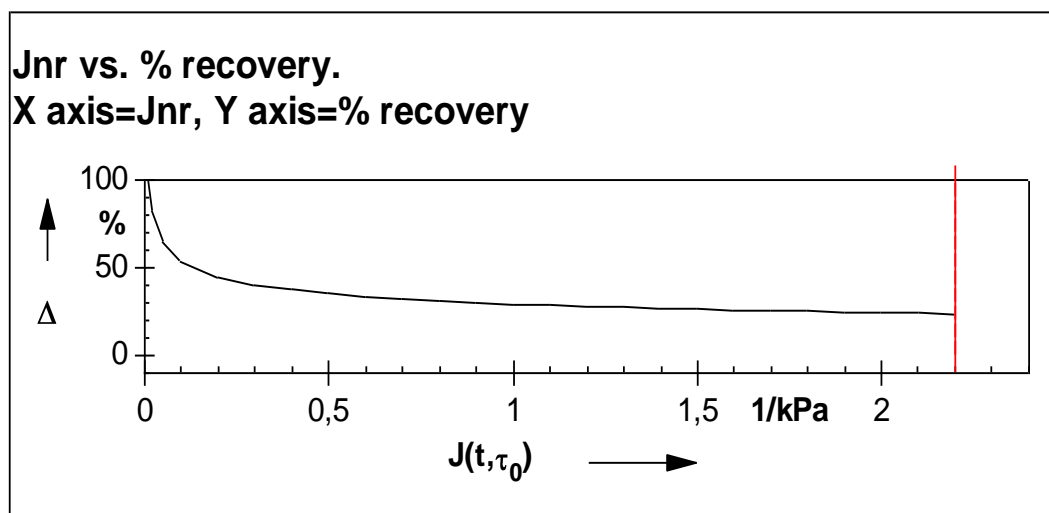
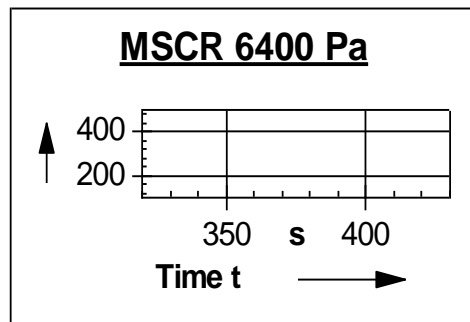
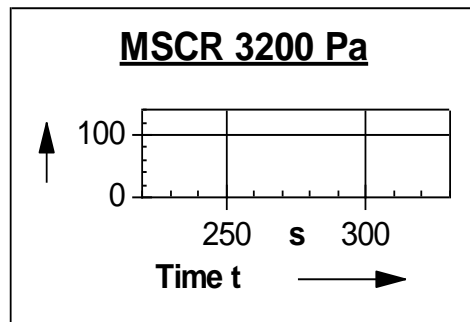
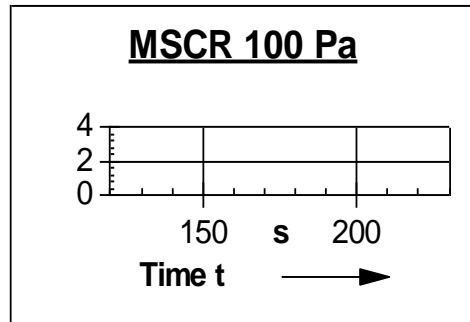
MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)
 =====
 Date: 27.03.2019
 Time: 08:31:39
 Name: Id 963 MSCRT_0823_190327 1
 Sample: R001 p1-run1_190327
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9982°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 0,529 %
 3.2 kPa: -0,6437 %
 6.4 kPa: -0,9026 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 221,6828 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 270,631 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: -40,2261 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 3,9157 1/kPa
 3.2 kPa: 4,1286 1/kPa
 6.4 kPa: 4,2827 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 5,4383 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 9,3725 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 3,7313 %





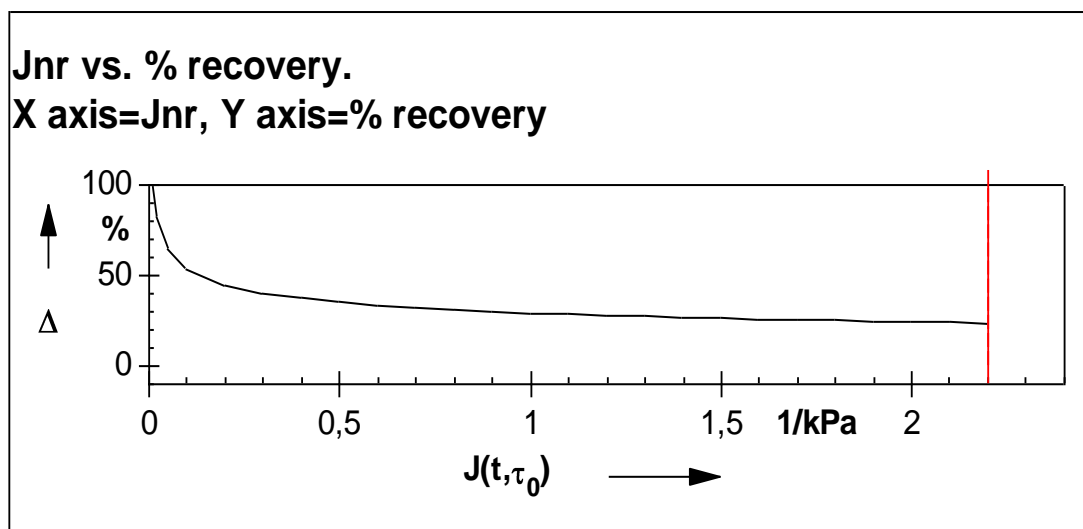
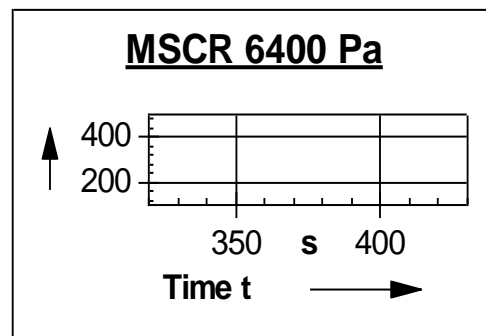
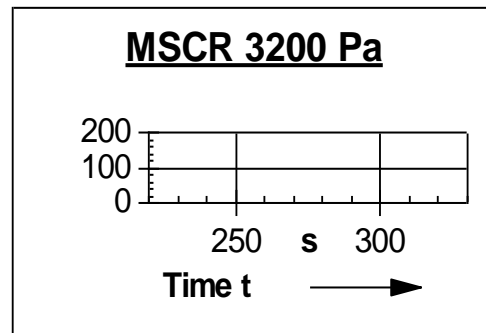
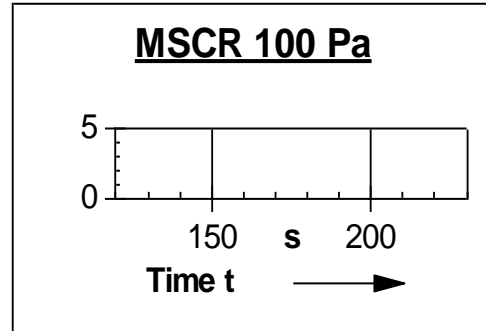
MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)
 =====
 Date: 28.03.2019
 Time: 08:32:28
 Name: MSCRT Id 963_0824_190328 1
 Sample: Re 002 p1-run1_190328
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9921°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 0,4247 %
 3.2 kPa: -0,7944 %
 6.4 kPa: -1,1042 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 287,0422 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 359,9959 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: -39,0039 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 4,4579 1/kPa
 3.2 kPa: 4,7794 1/kPa
 6.4 kPa: 5,0266 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 7,2112 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 12,7563 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 5,1721 %





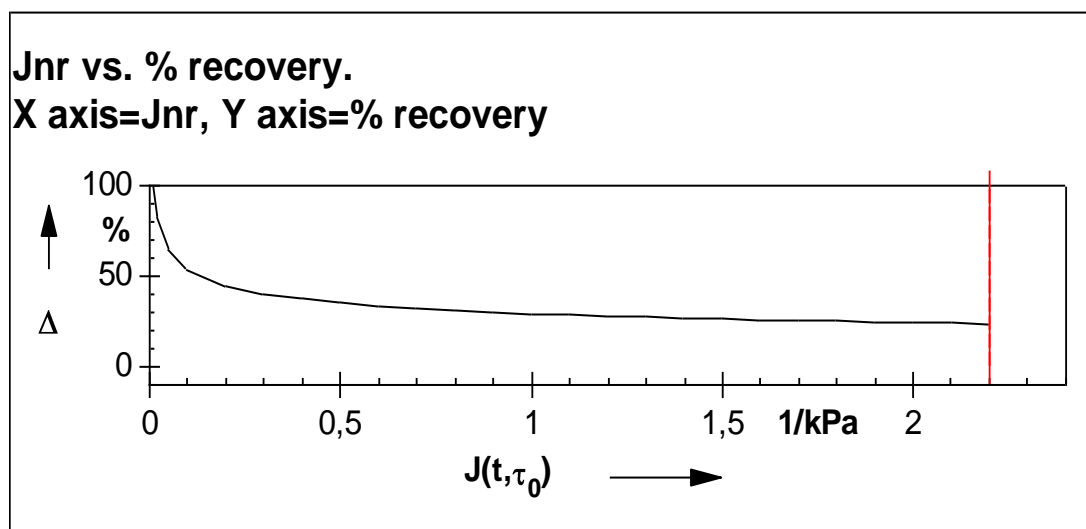
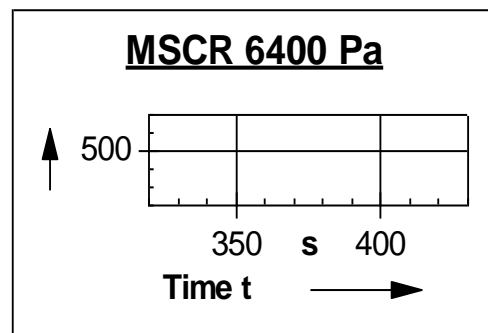
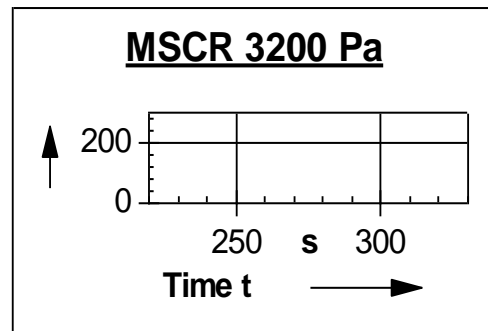
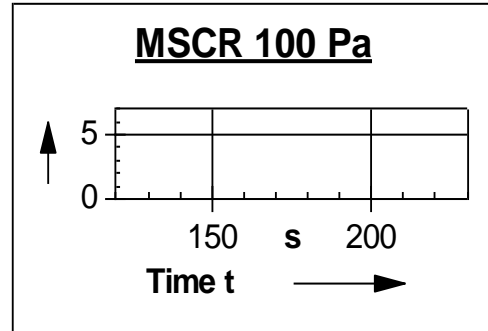
MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)
 =====
 Date: 29.03.2019
 Time: 08:26:02
 Name: MSCRT Id 963_0817_190329 1
 Sample: Re 003 p1-run 1_ 190329
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9958°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: -0,516 %
 3.2 kPa: -1,5163 %
 6.4 kPa: -1,7807 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: -193,8587 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: -245,1032 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: -17,4385 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 6,3861 1/kPa
 3.2 kPa: 6,8553 1/kPa
 6.4 kPa: 7,188 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 7,3474 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 12,5559 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 4,852 %





MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)

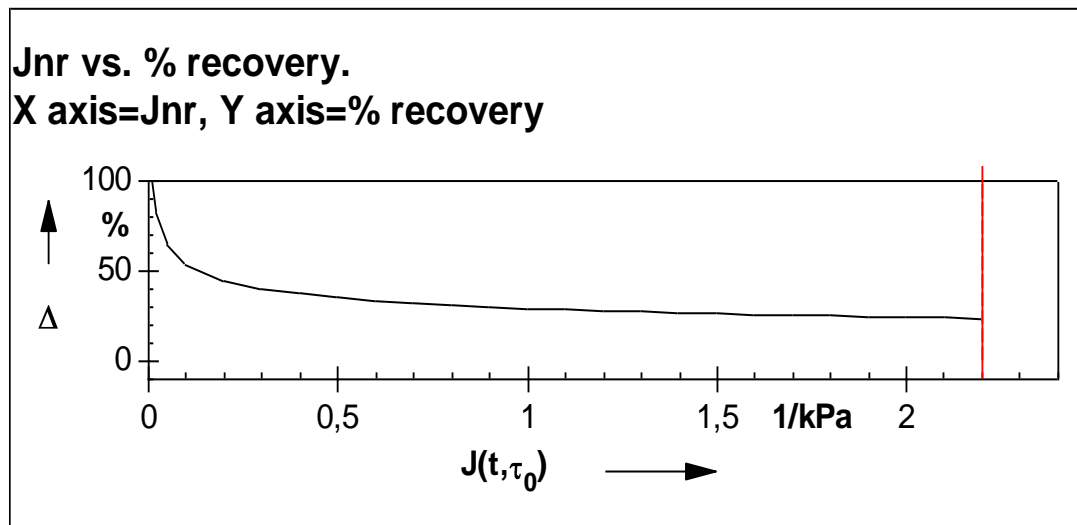
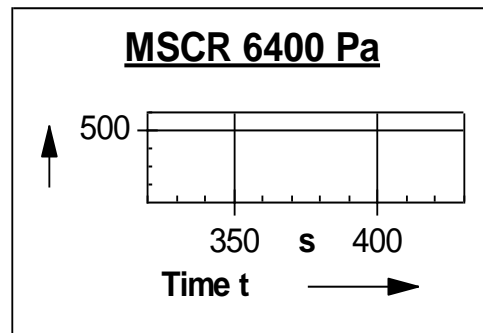
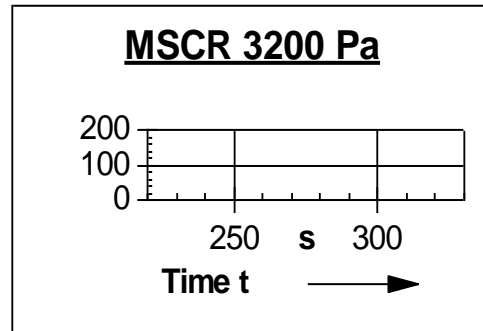
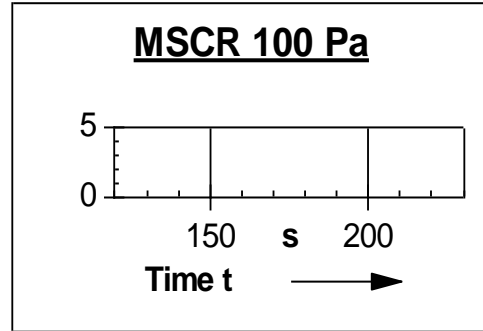
=====
 Date: 01.04.2019
 Time: 08:30:44
 Name: Id 963 MSCRT_0822_190401 1
 Sample: Re 004 p1-run1_ 190401
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9984°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 0,2717 %
 3.2 kPa: -0,9946 %
 6.4 kPa: -1,2808 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 466,1289 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 571,485 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: -28,7757 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 4,9447 1/kPa
 3.2 kPa: 5,3061 1/kPa
 6.4 kPa: 5,571 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 7,3098 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 12,6672 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 4,9924 %





MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)

=====
 Date: 02.04.2019
 Time: 08:37:03
 Name: Id 963 MSCRT_0829_190402 1
 Sample: Re005 MSCRT p1-run1190402_
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9986°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY

0.1 kPa: 0,3351 %
 3.2 kPa: -0,7986 %
 6.4 kPa: -1,0402 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES

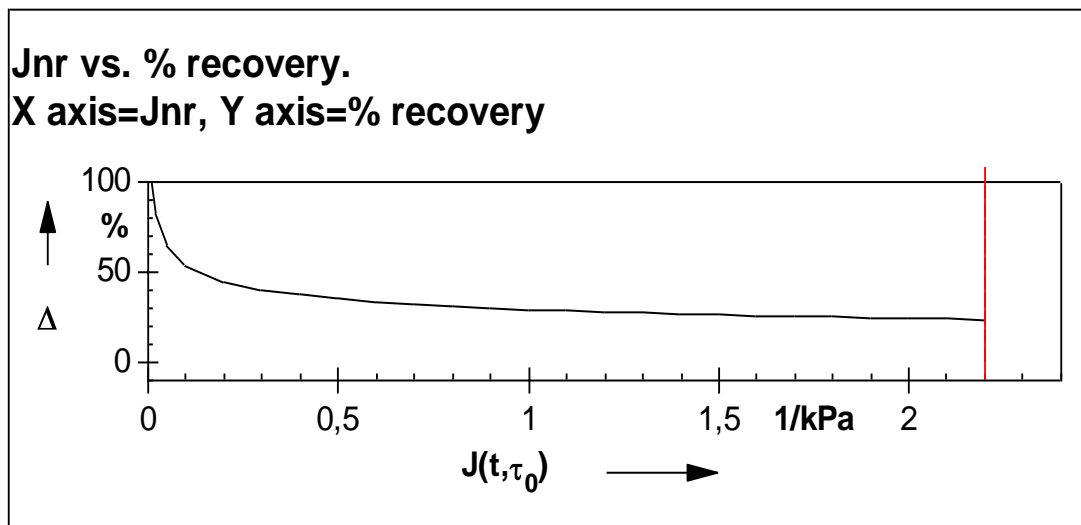
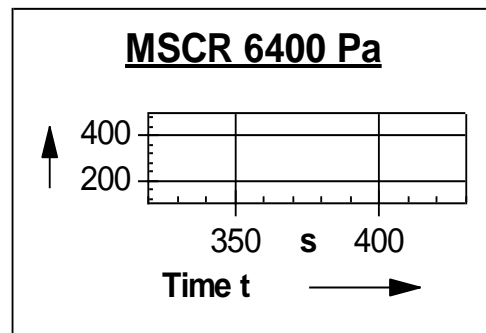
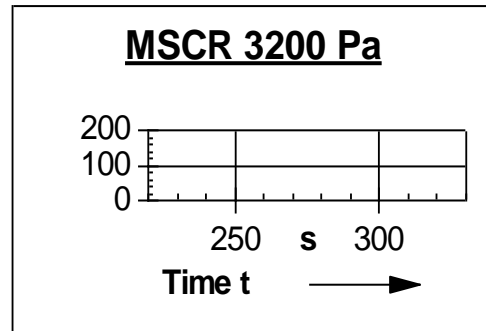
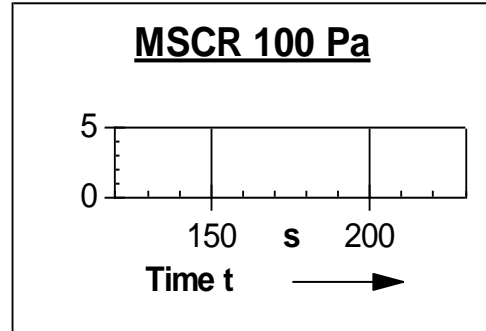
0.1 kPa, 3.2 kPa: 338,3097 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 410,3982 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: -30,2499 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)

0.1 kPa: 4,2488 1/kPa
 3.2 kPa: 4,5061 1/kPa
 6.4 kPa: 4,6715 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr

3.2 kPa, 0.1 kPa: 6,0551 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 9,948 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 3,6706 %



Etter korttidsaldringssimulering – RTFOT



MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)

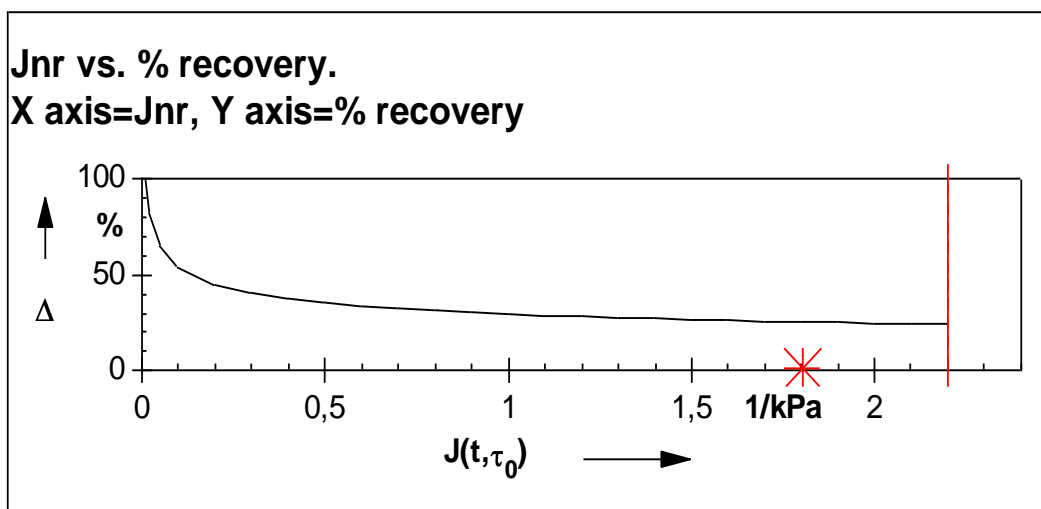
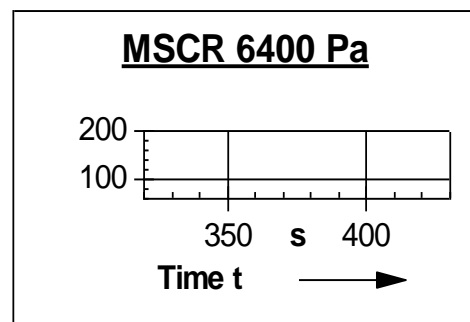
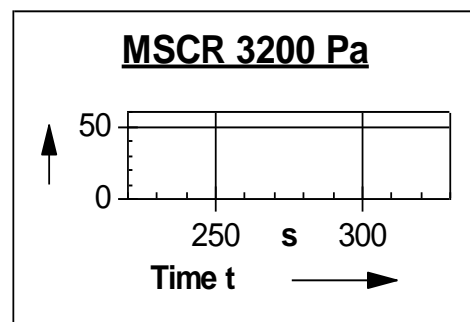
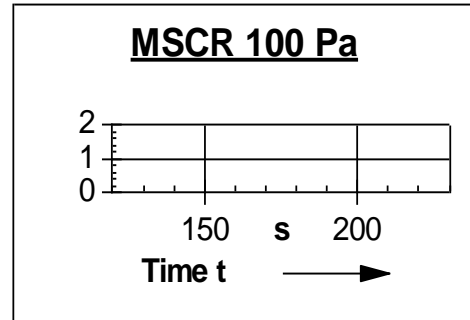
 Date: 24.04.2019
 Time: 08:46:27
 Name: RTFOT Id 963 MSCRT__0838_190424 1
 Sample: RTFOT Re021 p1-run1_
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,977°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 4,8496 %
 3.2 kPa: 1,4299 %
 6.4 kPa: 0,6279 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 70,516 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 87,0521 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: 56,085 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 1,6636 1/kPa
 3.2 kPa: 1,8019 1/kPa
 6.4 kPa: 1,897 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 8,317 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 14,0314 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 5,2757 %



Tabell A-26: MSCRT-rapport for innblandingen med Nynas 160/220 etter RTFOT



MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)

=====
 Date: 25.04.2019
 Time: 09:25:29
 Name: RTFOT Id 963 MSCRT__0917_190425 1
 Sample: RTFOT Re 022 p1-run1_
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9998°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY

0.1 kPa: 4,7878 %
 3.2 kPa: 1,5544 %
 6.4 kPa: 0,6804 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES

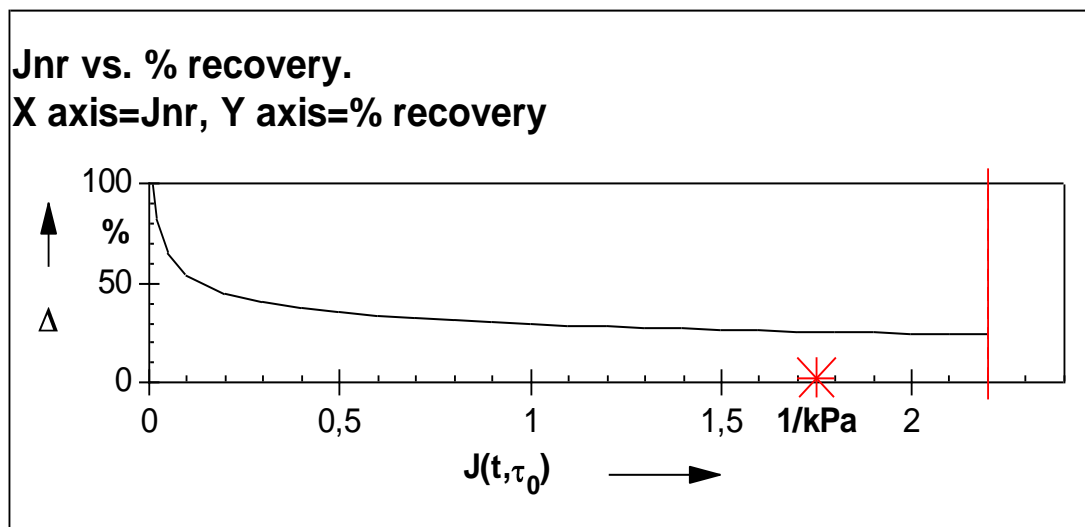
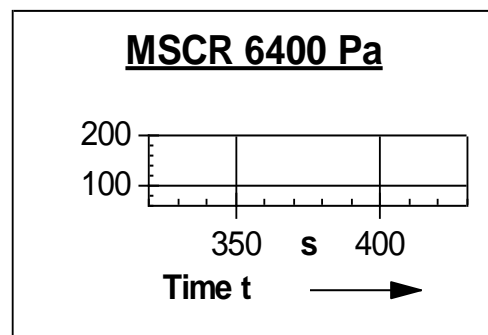
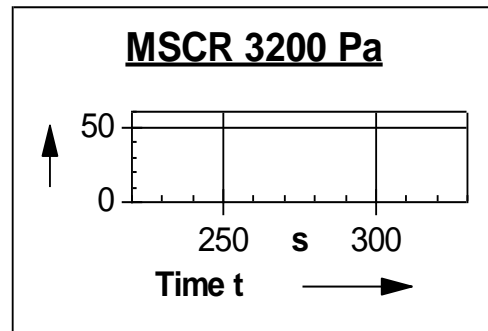
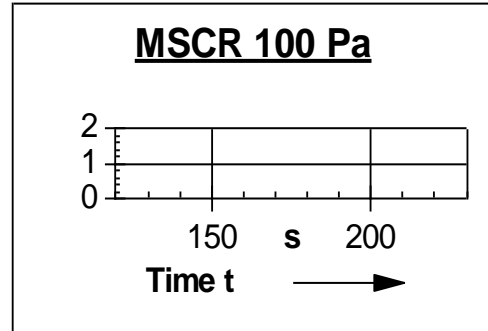
0.1 kPa, 3.2 kPa: 67,5338 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 85,7884 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: 56,2265 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)

0.1 kPa: 1,6225 1/kPa
 3.2 kPa: 1,7518 1/kPa
 6.4 kPa: 1,8463 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr

3.2 kPa, 0.1 kPa: 7,9698 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 13,7955 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 5,3957 %





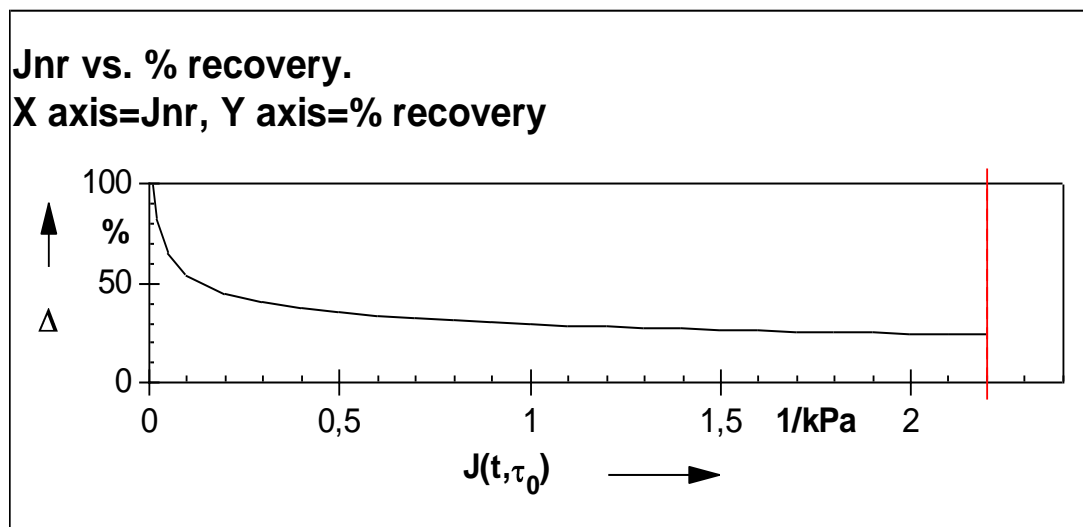
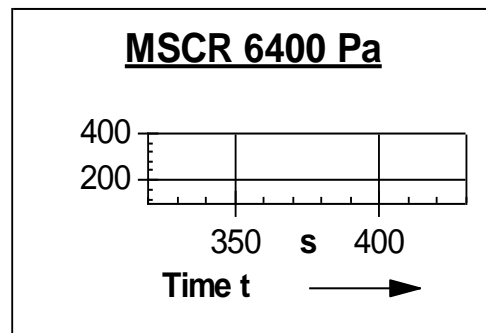
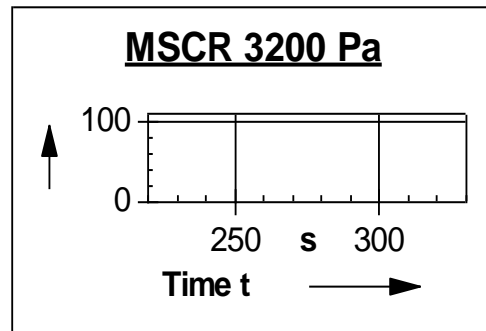
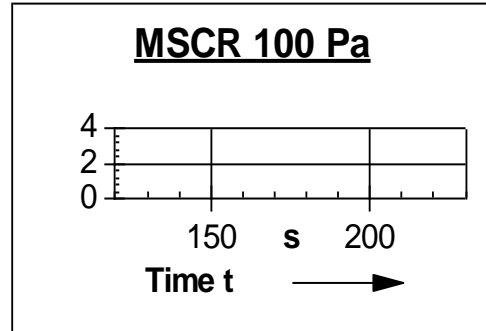
MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)
 =====
 Date: 06.05.2019
 Time: 14:10:44
 Name: RTFOT Id 963 MSCRT__1402_190506 1
 Sample: MSCRT RTFOT RE 023 p4-run2_
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9937°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 2,4146 %
 3.2 kPa: 0,0422 %
 6.4 kPa: -0,4259 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 98,2532 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 117,6375 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: 1 109,6801 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 3,0836 1/kPa
 3.2 kPa: 3,3647 1/kPa
 6.4 kPa: 3,5601 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 9,1163 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 15,4552 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 5,8093 %





MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)

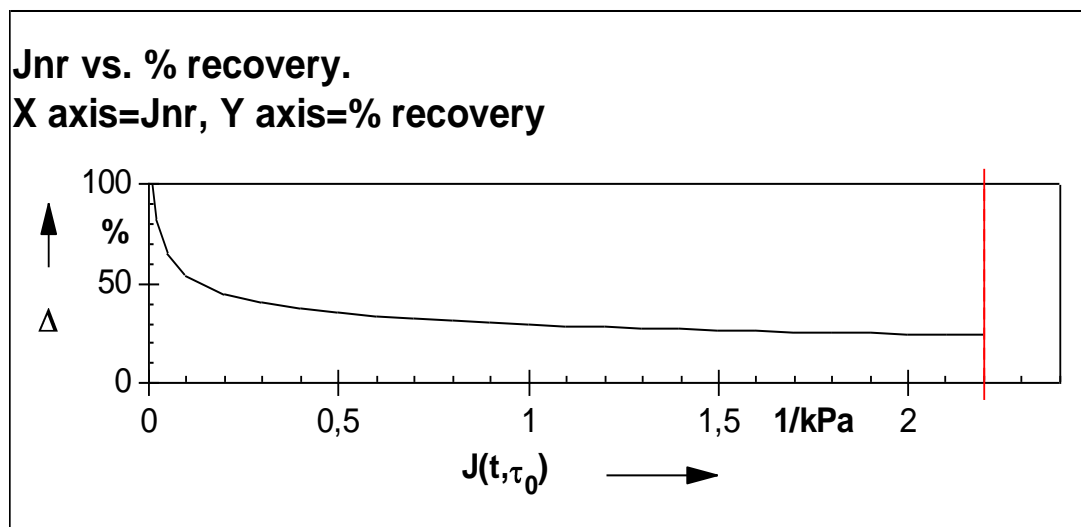
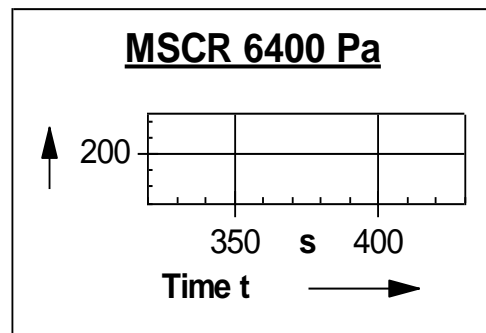
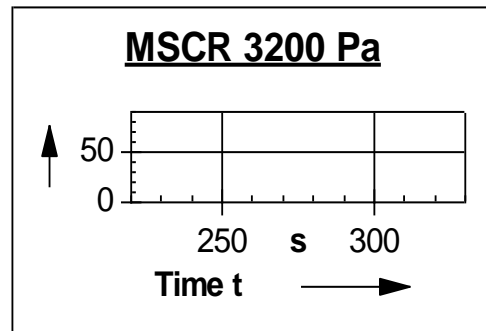
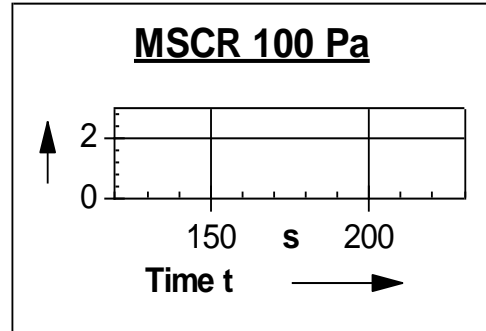
=====
 Date: 07.05.2019
 Time: 09:13:59
 Name: RTFOT Id 963 MSCRT__0905_190507 1
 Sample: RTFOT Re 024 p1-run1_
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9993°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 3,6021 %
 3.2 kPa: 0,6811 %
 6.4 kPa: 0,0597 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 81,0906 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 98,3439 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: 91,242 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 2,3224 1/kPa
 3.2 kPa: 2,5344 1/kPa
 6.4 kPa: 2,6752 1/kPa

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 9,1266 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 15,19 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 5,5564 %



Tabell A-29: MSCRT-rapport for innblandingen med Nygen 910 etter RTFOT



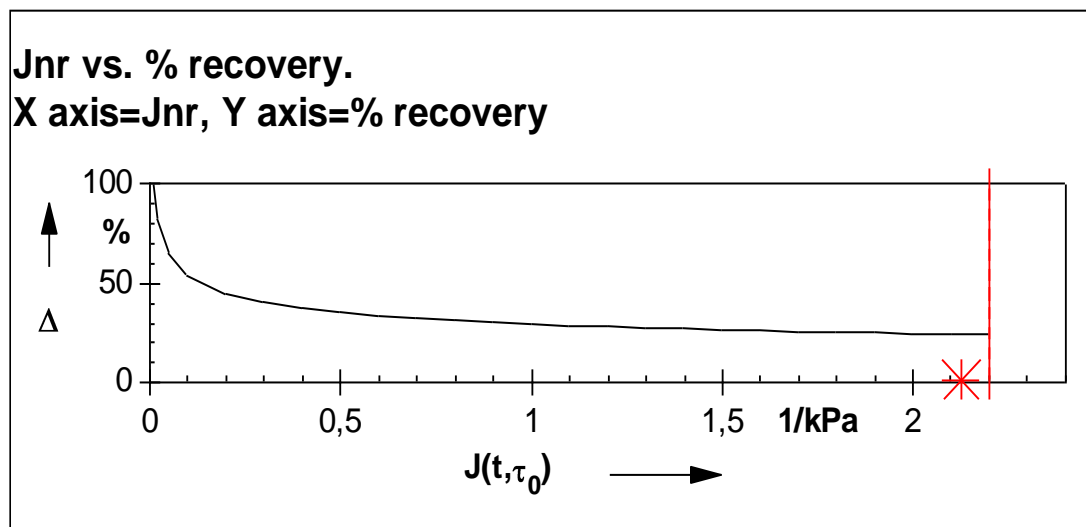
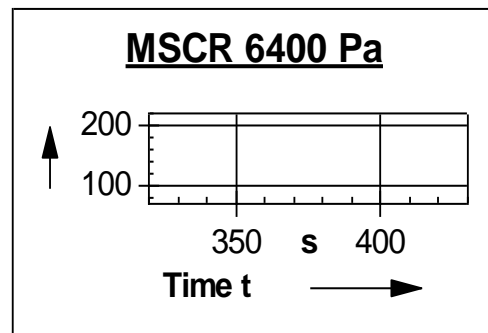
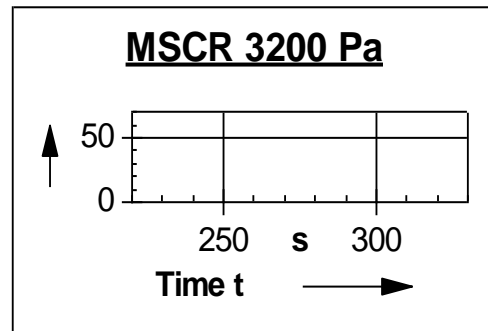
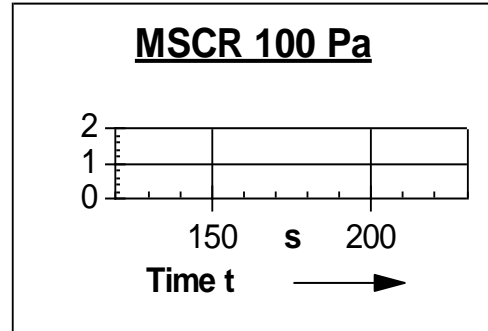
MSCR (0.1 / 3.2 / 6.4 kPa)
 =====
 Date: 29.04.2019
 Time: 09:29:06
 Name: RTFOT Id 963 MSCRT__0921_190429 1
 Sample: RTFOT Re 025 p1-run1_
 Remark:
 Operator: Kjersti Solstad
 File: C:\Users\Wenche\Documents\Anton Paar\Rheoplus\03 Prosjekter
 Temperature: 49,9979°C

AVERAGE PERCENT RECOVERY
 0.1 kPa: 3,9055 %
 3.2 kPa: 0,9198 %
 6.4 kPa: 0,2964 %

PERCENT DIFFERENCE BETWEEN AVERAGE PERCENT RECOVERIES
 0.1 kPa, 3.2 kPa: 76,4495 %
 0.1 kPa, 6.4 kPa: 92,4109 %
 3.2 kPa, 6.4 kPa: 67,7753 %

AVERAGE NON-RECOVERABLE CREEP COMPLIANCE (Jnr)
 0.1 kPa: 1,9628 1/kPa
 3.2 kPa: 2,1272 1/kPa
 6.4 kPa: 2,2288 1/kPa

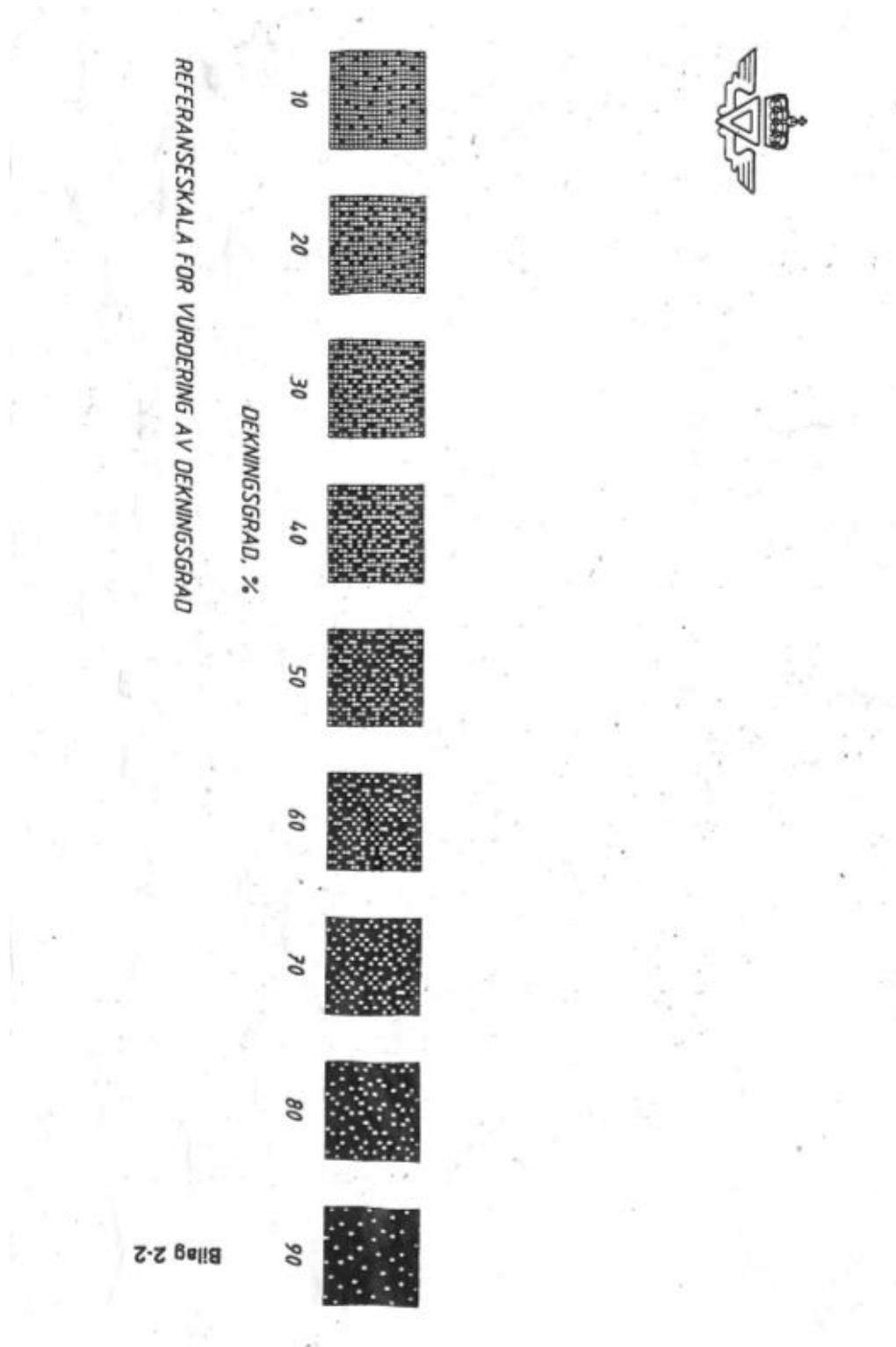
PERCENT DIFFERENCE BETWEEN Jnr
 3.2 kPa, 0.1 kPa: 8,3751 %
 6.4 kPa, 0.1 kPa: 13,5526 %
 6.4 kPa, 3.2 kPa: 4,7774 %



Vedlegg B

B.1 Rulleflaske

Skjema for vurdering av dekningsgrad



Figur B-1: Skjema for vurdering av dekningsgrad i Rulleflaske-test

Dekningsgrad for de bindemiddeldekte steinene

Flaske nr.	0t [%]	6t avg [%]	24t avg [%]	48t avg [%]	72t avg [%]	Prøve nr.
1	100	43,3	10,0	0,0	0,0	Re006
2	100	48,3	10,0	0,0	0,0	Re006
3	100	46,7	8,3	0,0	0,0	Re007
4	100	48,3	6,7	0,0	0,0	Re007
5	100	41,7	6,7	0,0	0,0	Re008
6	100	40,0	8,3	0,0	0,0	Re008
7	100	45,0	6,7	0,0	0,0	Re009
8	100	50,0	10,0	0,0	0,0	Re009
9	100	53,3	10,0	0,0	0,0	Re010
10	100	53,3	6,7	0,0	0,0	Re010
11	100	90,0	71,7	51,7	35,0	Re011
12	100	90,0	73,3	55,0	40,0	Re011
13	100	85,0	63,3	45,0	33,3	Re012
14	100	82,5	66,7	48,3	33,3	Re012
15	100	95,0	65,0	45,0	30,0	Re013
16	100	90,0	68,3	48,3	31,7	Re013
17	100	85,0	60,0	41,7	31,7	Re014
18	100	87,5	60,0	38,3	30,0	Re014
19	100	82,5	66,7	45,0	26,7	Re015
20	100	87,5	65,0	46,7	31,7	Re015

Tabell B-1: Dekningsgrad etter 0, 6, 24, 48 og 72 timer i %

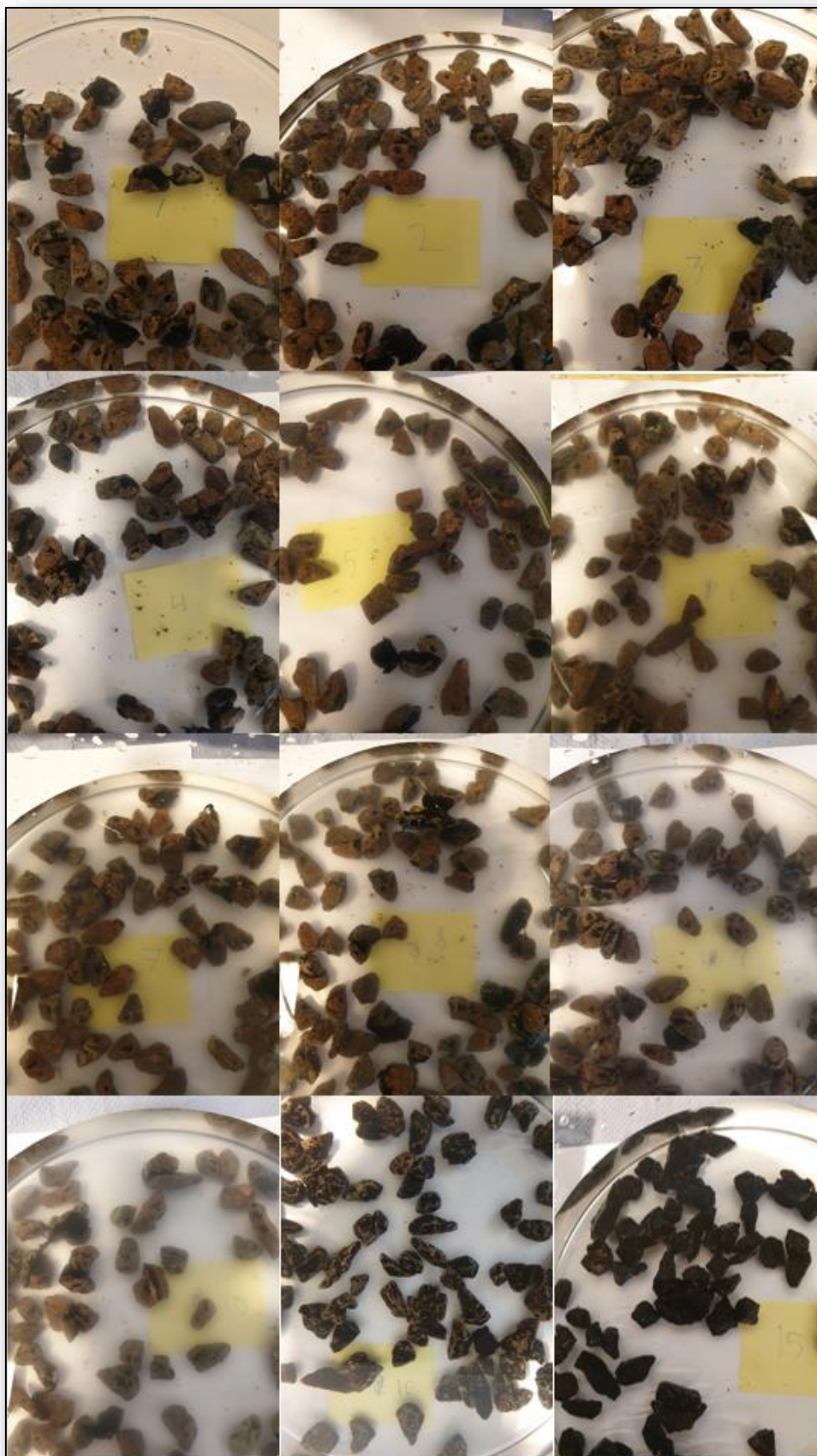
Bilder av innblanding, oppbevaring og testing for Rulleflaske-test



Figur B-2: Steinene før påføring av bindemiddel og etter påføring av bindemiddel



Figur B-3: Oppbevaring i varmeskap før Rulleflaske-test og ved testing



Figur B-4: Steinene med de ulike innblandingene fra rulleflaske-test etter 72 timer, nr. 15 er etter 6 timer

Vedlegg C

C.1 Bilder av Vendskak-prøvene



Figur C-1: Bjønndalen og filler blandet sammen med GjB



Figur C-2: Vendskak-plugger før testing



Figur C-3: Vendskak-plugger før testing



Figur C-4: Vendskak-plugger før testing



Figur C-5: Vendskak-plugger etter testing, 2-3,2-2,2-1 er med amin og 1-3,1-2,1-4 er uten amin

Vedlegg D

D.1 Figur liste

Figur 1-1: Oversikt over hvordan sirkulær økonomi kan bidra til klima nøytralitet (Olsson, 2018)	1
Figur 1-2: Prøvingsplan.....	5
Figur 2-1: Lagene i en veioverbygning samt fordeling av trafikklasten gjennom lagene (Yideti, Vegens oppbygning, 2018).....	7
Figur 2-2: Eksempel på fleksible og stive veioverbygninger (Yideti, Vegens oppbygning, 2018).....	11
Figur 2-3: Former for spordannelse (Aurstad, et al., 2016).....	14
Figur 2-4: Langsgående og tversgående sprekker på veibanen (Aurstad, Litt om vedlikehold av vegdekker 1, 2018)	16
Figur 2-5: Materialelegenskaper og krav (Moen, 2018).....	18
Figur 2-6: Fremstilling av bitumen ved destillering av råolje (Adib & Adib, 2018)	20
Figur 2-7: Modell av sammensetningen til bitumen (Yousef, 2018)	21
Figur 2-8: Typisk aldringsprosess for bitumen (Adib & Adib, 2018).....	22
Figur 2-9: Eksempel på utforming av en bitumen lagringstank (Hunter, Read, & Self, 2015)	30
Figur 2-10: Forholdet mellom forandring i mykningspunkt og temperaturen til blandingen (Hunter, Read, & Self, 2015)	31
Figur 2-11: Effekten av bitumen tykkelse på aldringsindeksen (Hunter, Read, & Self, 2015)	31
Figur 2-12: Eksempel på en bitumen test data chart (Aurstad, et al., 2016)	33
Figur 2-13: Spesifikasjoner for normerte massetyper (Jørgensen, 2018)	36
Figur 2-14: Prinsippet og rekkefølgen for de forskjellige trinnene i asfaltproduksjon (Andersson, et al., 2018).....	39
Figur 2-15: Temperaturgrenser for ulike produksjonsteknikker (Andersson, et al., 2018)	40
Figur 2-16: De typiske endringene i den kjemiske sammensetningen til asfalt (Brownridge, 2010)....	45
Figur 2-17: Eksempel på et blandingsdiagram for en bestemt type rejuvenator og gjenvunnet asfalt (European Asphalt Pavement Association, 2018)	47
Figur 2-18: Effekten av rejuvenator på bitumen aldring (Johannsen, 2018)	48
Figur 3-1: Apparat for måling av penetrasjon	52
Figur 3-2: Apparat for måling av mykningspunkt	53
Figur 3-3: Eksempel på Cannon-Fenske kapillarviskosimeter (Aurstad, et al., 2016)	55
Figur 3-4: Dynamisk skjær rheometer apparat	57
Figur 3-5: Eksempel på resultat fra MSCRT-test på et bindemiddel (Pay, 2017)	58
Figur 3-6: Apparat for måling av Fraass bruddpunkt til venstre, og plateprepareringsapparat til høyere	59
Figur 3-7: Skisse av apparat for Thin Film Oven Test (Aurstad, et al., 2016)	60
Figur 3-8: Apparat for Rolling Thin Film Oven Test	62
Figur 3-9: Apparatet som ble brukt for Rulleflaskemetoden	64
Figur 3-10: Apparatet som ble brukt for Vendskak Test	65
Figur 4-1: Gjenvunnet bitumen fra granulat og ferskt bitumen brukt i det eksperimentelle arbeidet	68
Figur 4-2: De ulike rejuvenatorene som ble brukt i det eksperimentelle arbeidet.....	71
Figur 4-3: Illustrasjon av Wetfix AP17	72
Figur 5-1: Mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene	78
Figur 5-2: Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene.....	79
Figur 5-3: Elastisiteten til bindemiddelet for de ulike innblandingene	80

Figur 5-4: "Ikke-gjenvinnbar deformasjon", eller plastisk deformasjon til bindemiddelet for de ulike innblandingene.....	81
Figur 5-5: Spenningssensitiviteten til bindemiddelet for de ulike innblandingene	81
Figur 5-6: Kompleks modulus for de ulike innblandingene.....	83
Figur 5-7: Fasevinkel for de ulike innblandingene.....	83
Figur 5-8: Rulleflaske-test for bindemiddelet i de ulike innblandingene uten amin.....	84
Figur 5-9: Rulleflaske-test for bindemiddelet i de ulike innblandingene med amin	85
Figur 5-10: Mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT.....	87
Figur 5-11: Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT	88
Figur 5-12: Kompleks modulus for de ulike innblandingene etter RTFOT	89
Figur 5-13: Fasevinkel for de ulike innblandingene etter RTFOT	90
Figur 6-1: Kompleks modulus for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer	92
Figur 6-2: Fasevinkel for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer	92
Figur 6-3: Fasevinkel og kompleks modul plottet i et tapsmodul mot lagringsmodul diagram for innblandingene ved 40 °C.....	93
Figur 6-4: Mykningspunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene før og etter RTFOT	95
Figur 6-5: Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene før og etter RTFOT	96
Figur 6-6: Kompleks modulus for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer før og etter RTFOT	96
Figur 6-7: Fasevinkel for de ulike innblandingene ved ulike temperaturer før og etter RTFOT	97
Figur 6-8: Plastisk deformasjon til ferskt og aldret bindemiddel for de ulike innblandingene.....	98
Figur 6-9: Spenningssensitiviteten til ferskt og aldret bindemiddel for de ulike innblandingene	98
Figur B-1: Skjema for vurdering av dekningsgrad i Rulleflaske-test.....	135
Figur B-2: Steinene før påføring av bindemiddel og etter påføring av bindemiddel	137
Figur B-3: Oppbevaring i varmeskap før Rulleflaske-test og ved testing	137
Figur B-4: Steinene med de ulike innblandingene fra rulleflaske-test etter 72 timer, nr. 15 er etter 6 timer	138
Figur C-1: Bjønndalen og filler blandet sammen med GJB	139
Figur C-2: Vendskak-plugger før testing	140
Figur C-3: Vendskak-plugger før testing	141
Figur C-4: Vendskak-plugger før testing	142
Figur C-5: Vendskak-plugger etter testing, 2-3,2-2,2-1 er med amin og 1-3,1-2,1-4 er uten amin	142

D.2 Tabelliste

Tabell 2-1: Dekketyper og krav til minimum lagtykkelser (Yousef, 2018).....	7
Tabell 2-2: Dimensjonering av vegger med bituminøst dekke, lagtykkelser i cm (Statens Vegvesen, 2018).....	8
Tabell 2-3: Dimensjonerende frostmengde og maksimal tykkelse på overbygning (Statens Vegvesen, 2018).....	10
Tabell 2-4: Maksimalt tillatt andel av tilsatt resirkulert asfalt i %-vekt (Statens Vegvesen, 2018).....	37
Tabell 2-5: Gjenbrukspotensialer ved de ulike bruksområdene	38
Tabell 3-1: Krav til penetrasjonsgradert veibitumen (Statens Vegvesen, 2018).....	51
Tabell 4-1: Oversikt over leverandører og produkter brukt i eksperimentet	66
Tabell 4-2: Oversikt over bindemiddelbehovet til de ulike testene	67
Tabell 4-3: Penetrasjon og mykningspunkt for GJB og ferskt bindemiddel fra Nynäs	69
Tabell 4-4: Oversikt over viskositeten til de ulike rejuvenatorene	69
Tabell 4-5: Forundersøkelser for GJB, ferskt bindemiddel og alle rejuvenatorene.....	70
Tabell 4-6: Innblandingsmengder i vendskakttest uten amin	73
Tabell 4-7: Innblandingsmengder i vendskakttest med amin.....	73
Tabell 4-8: Innblandingsmengder i rulleflasketest uten amin.....	74
Tabell 4-9: Innblandingsmengder i rulleflasketest med amin.....	75
Tabell 4-10: Innblandingsmengder i DSR-, MP-, og FB-test	75
Tabell 4-11: Innblandingsmengder i RTFOT-herding for første og andre runde.....	76
Tabell 5-1: Oversikt over mykningspunktet for bindemiddelet i de ulike innblandingene.....	77
Tabell 5-2: Oversikt over Fraass bruddpunktet for bindemiddelet i de ulike innblandingene	78
Tabell 5-3: Resultatene fra MSCRT-testing av deformasjonsmotstanden for bindemiddelet i de ulike innblandingene.....	79
Tabell 5-4: Oversikt over MSCRT-test resultatene, G^* og δ for de ulike innblandingene.....	82
Tabell 5-5: Oversikt over mykningspunktet for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT	86
Tabell 5-6: Oversikt over Fraass bruddpunkt for bindemiddelet i de ulike innblandingene etter RTFOT	87
Tabell 5-7: Resultatene fra MSCRT-testingen av deformasjonsmotstanden for bindemiddelet etter RTFOT	88
Tabell 5-8: Oversikt over MSCRT-test resultatene, G^* og δ for de ulike innblandingene etter RTFOT	89
Tabell A-1: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Nynas 160/220.....	105
Tabell A-2: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Revive RA	106
Tabell A-3: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Sylvaroad.....	107
Tabell A-4: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Nygen 910	108
Tabell A-5: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Nynas 250/330.....	109
Tabell A-6: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Nynas 160/220 etter RTFOT	110
Tabell A-7: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Revive RA etter RTFOT	111
Tabell A-8: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Sylvaroad etter RTFOT	112
Tabell A-9: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Nygen 910 etter RTFOT.....	113
Tabell A-10: Arbeidsskjema Mykningspunkt for innblanding med Nynas 250/330 etter RTFOT ...	114
Tabell A-11: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblanding med Nynas 160/220	115
Tabell A-12: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblanding med Revive RA	116
Tabell A-13: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblanding med Sylvaroad	117
Tabell A-14: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblanding med Nygen 910.....	118

Tabell A-15: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nynas 250/330	119
Tabell A-16: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nynas 160/220 etter RTFOT	120
Tabell A-17: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Revive RA etter RTFOT	121
Tabell A-18: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Sylvaroad etter RTFOT	122
Tabell A-19: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nygen 910 etter RTFOT	123
Tabell A-20: Arbeidsskjema Fraass bruddpunkt for innblandingen med Nynas 250/330	124
Tabell A-21: MSCRT-rapport for innblandingen med Nynas 160/220	125
Tabell A-22: MSCRT-rapport for innblandingen med Revive RA	126
Tabell A-23: MSCRT-rapport for innblandingen med Sylvaroad	127
Tabell A-24: MSCRT-rapport for innblandingen med Nygen 910	128
Tabell A-25: MSCRT-rapport for innblandingen med Nynas 250/330	129
Tabell A-26: MSCRT-rapport for innblandingen med Nynas 160/220 etter RTFOT	130
Tabell A-27: MSCRT-rapport for innblandingen med Revive RA etter RTFOT	131
Tabell A-28: MSCRT-rapport for innblandingen med Sylvaroad etter RTFOT	132
Tabell A-29: MSCRT-rapport for innblandingen med Nygen 910 etter RTFOT	133
Tabell A-30: MSCRT-rapport for innblandingen med Nynas 250/330 etter RTFOT	134
Tabell B-1: Dekningsgrad etter 0, 6, 24, 48 og 72 timer i %	136

D.3 Symbolliste

F_{10} = Frostmengde som oppstår hvert 10 år

F_{100} = Frostmengde som oppstår hvert 100 år

E = Ekvivalensfaktor

P = Aksellast

μ = Friksjonskoeffisient

F = Friksjonskraft

N = Normalkraft

G^* = Kompleks modulus

δ = Fasevinkel

ν = Kinematisk viskositet

C = Kalibreringskonstant

t = Gjennomstrømningstid

T_{\max} = Skjærspenning

γ_{\max} = Skjærtøyning

ν_1 = Viskositet før oppherding

ν_2 = Viskositet etter oppherding

ΔV = Relativ økning i kinematisk viskositet

M_0 = Masse tom beholder

M_1 = Masse beholder med prøve før test

M_2 = Massebeholder med prøve etter test

P_1 = Penetrasjon før oppherding

P_2 = Penetrasjon etter oppherding

c = % gjenværende penetrasjon

T_1 = Mykningspunkt før oppherding

T_2 = Mykningspunkt etter oppherding

v_a = Viskositet til blanding av rejuvenator

v_b = Viskositet til blanding av gjenvunnet bitumen

v_{mix} = Viskositet til ønsket blanding

G' = Lagringsmodul

G'' = Tapsmodul

$J_{nr, diff}$ = Spennings sensitivitet

J_{nr} = Plastisk deformasjon

D.4 Forkortelsesliste

MSCRT: Multiple Stress Creep and Recovery Test

DSR: Dynamisk skjær rheometer

RTFOT: Rolling Thin Film Oven Test

TFOT: Thin Film Oven Test

KFA: Kontrollordning for Asfaltgjenvinning

EMPA: Sveitsiske føderale laboratorier

PAV: Pressure Aging Vessel Test

MP: Mykningspunkt

FBP: Fraass bruddpunkt

ÅDT: Årsdøgntrafikk

GjB: Gjenvunnet bitumen

XPS: Ekstrudert polystyren

ME: Mekanistisk empirisk

PMB: Polymermodifisert bitumen

LTA: Lavtemperatur asfalt

WMA: Warm mix asphalt

EAPA: European Asphalt Pavement Association



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway