

Klebing mellom asfaltlag

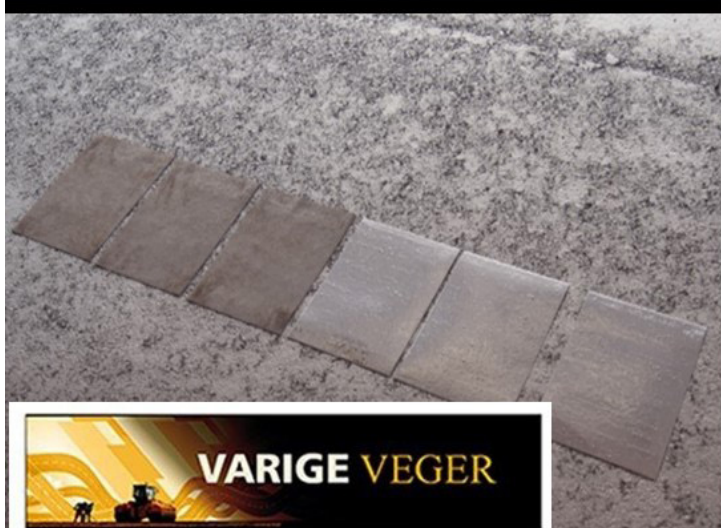
Feltmåling av mengde klebeemulsjon påført og laboratorietesting av skjærbindingsstyrke.

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr.627



Wenche Fløvin



Tittel

Klebing mellom asfaltlag

Undertittel

Feltmåling av mengde klebeemulsjon påført og laboratorietesting av skjærbindingsstyrke

Forfatter

Wenche Hovin & Rabbira Garba Saba

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Vegteknologi

Prosjektnummer

603102

Rapportnummer

Nr.627

Prosjektleder

Leif Bakløkk

Godkjent av

Nils Uthus

Emneord

Klebing, bindingsstyrke, emulsjon, tekstur

Sammendrag

Det oppstår ofte skader som følge av dårlig heft mellom asfaltlagene på det norske vegnettet. Glidning, avflaking, tidlig krakelering og slag hull er skader som ofte kan komme som følge av dårlig heft. Som en av aktivitetene i Varige veger, Del 1 Vegdekker, har det pågått et arbeid med formål om å forbedre kravene som skal sikre god heft. Denne rapporten beskriver resultatet fra dette arbeidet. Kontroll av mengde klebemiddel påført på veg viste at det generelt ble benyttet lavere mengde enn foreskrevet. Utprøving av funksjonsrelatert testmetoden for skjærbindingsstyrke i prEN12697-48 viste at teksturen på underlaget har stor innvirkning på målt bindingsstyrke. Det anbefales å undersøke om bruk av stivere bindemiddel i klebeemulsjonene kan gi høyere bindingsstyrke, uten at dette medfører andre uønskede effekter. Utprøving av andre testmetoder bør vurderes.

Title

Tack Coat Between Asphalt Layers

Subtitle

Measurement of Application Rate and Inter-layer Bond Strength

Author

Wenche Hovin & Rabbira Garba Saba

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Road Technology

Project number

603102

Report number

No.627

Project manager

Leif Bakløkk

Approved by

Nils Uthus

Key words

Tack coat, bond strength, emulsion, texture

Summary

Pavement distresses that might be caused by poor bond between pavement layers such as slippage, de-bonding, cracking and potholes are often observed on Norwegian road network. One of the activities of the Durable Roads project within Work Package 1, Surfacing, has focused on tack coat with an objective of improving the requirements that are set to ensure good bond between asphalt layers. This report describes the results of this activity.

Measurement of tack coat application rate for some paving projects showed that, generally, the existing requirement is not met. Testing for shear bond strength in accordance to prEN 12697 – 48 showed that the texture of the underlying layer can greatly influence the measured shear bond strength. It is recommended to investigate whether or not the use of emulsions based on more stiff binders can improve the shear bond strength. Other methods for measurement of inter-layer bond strength should also be evaluated.

Forord

Vegdekke og dekkefundament utgjør et hovedelement i all vegbygging og dekketilstanden har stor betydning for trafikantene. Kostnadmessig utgjør dekke og dekkefundament en stor del både ved bygging og vedlikehold av veger. Det har lenge vært et stort behov for et faglig løft innenfor vegteknologiområdet og potensialet til forbedringer og besparelser er stort.

Målet med FoU-programmet Varige veger har vært økt dekkelevetid og reduserte årskostnader for hele vegkonstruksjonen på det norske vegnettet.

Programmet har hatt fokus på følgende tre hovedtema:

1. Vegdekker
2. Dimensjonering og forsterkning
3. Kunnskapsformidling og implementering

Programmet har satt i verk tiltak og forbedringer for alle deler av dekkekonstruksjonen. Målsettingen har vært å bidra til kompetanseheving både hos Statens vegvesen og andre byggherrer, entreprenører og konsulenter samt undervisnings- og forskningsinstitusjoner.

I arbeidspakke 1 (Vegdekker), ble det for bindemidler og klebemidler etablert en egen arbeidsgruppe. Denne gruppen har bestått av:

Wenche Hovin	Statens vegvesen, Sentrallaboratoriet Trondheim
Rabbira Garba Saba	Statens vegvesen, Vegteknologiseksjonen i Vegdirektoratet
Torbjørn Jørgensen	Statens vegvesen, Vegteknologiseksjonen i Vegdirektoratet

En av oppgavene til denne arbeidsgruppen har vært å avdekke årsaker til dårlig heft og å foreslå forbedrede krav som sikrer god heft mellom asfaltdekker. Arbeidsgruppen har derfor gjennomført et arbeid som omfattet både laboratorie- og feltforsøk for å kartlegge forhold som fører til dårlig heft, og for å forbedre kravene og kontrollen som skal sikre god heft. Denne rapporten beskriver dette arbeidet.

De fleste feltforsøkene er utført av Rabbira Garba Saba og Wenche Hovin, i tilknytning til pågående asfaltarbeider og med hjelp fra utførende asfaltentreprenører. I tillegg har Frode Malmstrøm ved Asfalt og vegoppmerkingssesksjonen i Region sør og andre fra regionene bidratt med målinger og prøvetaking. Stordelen av denne rapporten er skrevet av Wenche Hovin. Litteraturstudiet er utført av Rabbira Garba Saba. Laboratorietesting er utført av Kjersti Solstad og Wenche Hovin ved Sentrallaboratoriet Trondheim.

Trondheim mai 2016.

Leif Bakløkk

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Innholdsfortegnelse	3
1 Innledning.....	4
2 En litteraturstudie for klebing og heft mellom asfaltdekker.....	5
3 Materialer	14
3.1 Klebeemulsjonene	14
3.2 Strekningene	15
4 Metoder.....	17
4.1 Bindemiddelinnhold i emulsjon og konsistensen på gjenvunnet bindemiddel	17
4.2 Bestemmelse av mengde klebemiddel påført på veg.....	18
4.3 Bestemmelse av bindingsstyrke mellom to asfaltlag	22
4.4 Forsøksoppsett for bindingsstyrke ved varierende mengde klebemiddel og tekstur 24	
4.5 Statistisk analyse	26
5 Resultater	27
5.1 Flaskeprøver av emulsjon	27
5.2 Mengde klebemiddel påført, målt på veg.....	30
5.3 Bindingsstyrke	36
6 Diskusjon	64
6.1 Separasjon.....	64
6.2 Restbindemiddelets stivhet.....	64
6.3 Kontroll av mengde klebemiddel påført på veg.....	65
6.4 Bindingsstyrke	65
7 Konklusjon	77
8 Videre arbeid.....	78
9 Litteraturliste.....	79
Vedlegg	81
1 Flaskeprøver av emulsjon. Penetrasjon og bindemiddelinnhold.	82
2 Strekninger med mengde, tekstur og bindingsstyrke	83
3 Testmetoder for bestemmelse av bindingsstyrke	87

1 Innledning

Det oppstår til stadighet skader som følge av dårlig heft mellom asfaltlagene på det norske vegnettet. Glidning, avflaking, tidlig krakelering og slaghull er skader som kan komme som følge av dårlig heft. Som en av aktivitetene i Varige veger, Del 1 Vegdekker, har det pågått et arbeid med formål om å forbedre kravene som skal sikre god heft.

Kravene som gjaldt ved oppstarten av aktiviteten i 2013 var som følger:

- for mengde klebemiddel påført: *«et forbruk på minimum 0,3 l/m² emulsjon»*,
- for bindingsstyrke mellom lagene: *«tilstrekkelig heft har en når en får opp borkjernen hel uten at den ryker i skillet»*.

Det forelå ingen gjeldende prosedyre for å kontrollere mengde klebeemulsjon påført på veg. Metoden for kontroll av heft er kvalitativ, hvor heften enten er tilstrekkelig eller ikke, uten måling av bindingsstyrke, og bedømmelsen vil være avhengig av utstyr og utførelse under prøveuttak. Det eksisterte ikke krav til klebeemulsjonene, hverken til brytningshastighet, til bindemiddelinnhold eller til restbindemiddelets reologiske egenskaper.

Arbeidet som presenteres i denne rapporten har gått ut på følgende:

- 1: En litteraturstudie for klebing og heft mellom asfaltdekker
- 2: Undersøkelse av forholdene rundt klebingen, slik den er i Norge i dag
- 3: Utprøving av en funksjonsrelatert testmetoden for bindingsstyrke mellom to asfaltlag

Det konkrete arbeidet omfatter følgende:

- Bestemmelse av bindemiddelinnhold i flaskeprøver av klebeemulsjon tatt fra traktortank eller lagertank, for å avdekke om det forekommer problemer med separasjon.
- Bestemmelse av stivhet på gjenvunnet bindemiddel fra emulsjoner benyttet til klebing.
- Måling av mengde klebemiddel påført på veg, for å se om gjeldende krav overholdes.
- Utprøving av testmetode for måling av skjærbindingsstyrke på borkjerner fra veg. En metode som er på veg inn som en teststandard i det europeisk standardiseringssystemet.
 - Høsting av data, for vurdering av testmetoden og eventuelt aktuelle kravverdier.
 - Feltforsøk med måling av bindingsstyrke varierte forutsetninger, som type klebemiddel, mengde klebemiddel og teksturen på underlaget.
 - Måling av bindingsstyrke over tid, for å se på utvikling av bindingsstyrke etter en driftsperiode.

2 En litteraturstudie for klebing og heft mellom asfaltdekker

Det ble gjort et litteratursøk for å få oversikt over klebingsproblematikken generelt og undersøkelser som har blitt gjort i andre land for å studere klebing og klebemidler i asfaltdekker. Det viste seg at det har vært økende fokus på klebing og klebemidler i det siste tiåret i flere land. Mange undersøkelser har blitt gjort for å evaluere effekten av mengde og typer klebemiddel samt for å utvikle testmetoder for bestemmelse av bindingsstyrke mellom to asfaltlag.

Det er mange faktorer som påvirker bindingsstyrken mellom to asfaltlag. Disse omfatter:

- Mengde klebemiddel (emulsjon)
- Type klebemiddel (emulsjon)
- Bindemiddelinnhold i emulsjon
- Ensartethet av emulsjonssprøyting
- Type asfaltmasse (maks steinstørrelse)
- Overflatetekstur/ruhet
- Overflatens renhet
- Temperatur
- Normal kraft/trykk (belastning)

Det blir selvsagt for omfattende og komplekst å undersøke alle disse faktorene i et forskningsprosjekt. Derfor har undersøkelsene som er blitt gjort fokusert bare på noen få av disse faktorene.

I følge litteraturen har bindingsstyrken mellom to asfaltlag følgende komponenter (Kulkrani 2004):

- Adhesjon – påvirkes av type og mengde klebemiddel
- Steinmaterialets gjensidig sperring eller forrigling på kontaktoverflaten mellom to lag påvirkes av overflatetekstur
- Friksjon – påvirkes av de overnevnte komponentene

Følgende er en kort sammenfatning av noen av undersøkelsene som var gjort på klebing og klebemidler.

I USA er det utført et stort forsknings- og utviklingsprosjekt på klebing og klebemidler i regi av NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) Mohammad et al (2012). Målet med prosjektet var å finne ut/bestemme:

- Optimal mengde klebemiddel
- Optimale metoder og utstyr for sprøyting
- Beste klebemiddeltyper
- Testmetoder for bestemmelse av bindingsstyrke og sprøytingskvalitet både i lab og felt

Arbeidet omfattet både lab og feltforsøk, samt spørreundersøkelse på internasjonalt nivå. Full-skala teststrekninger ble bygget ved Louisianas transportforskningscenter (Louisiana

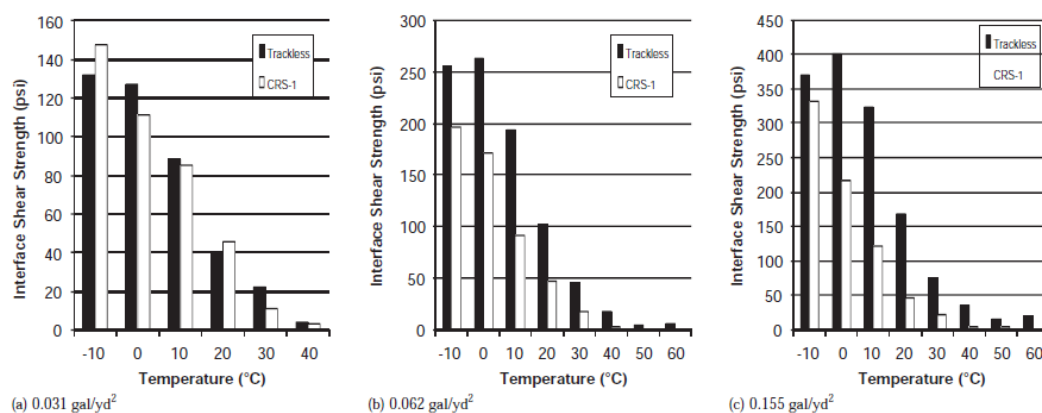
transportation research center) der fem type klebemidler og tre nivå med mengde klebemidler ble utprøvd. Klebemidlene var to sakte-brytende emulsjoner (SS-1h og SS-1), en raskt-brytende emulsjon (CRS -1), trackless emulsjon (NTSS - 1HM), og PG 64 - 22. Trackless emulsjon er en spesiell emulsjon med et stivt basisbindemiddel som bryter i løpet av 5 - 15 minutter. Nytt asfaltdekke ble lagt over forskjellige typer underlag; gammelt asfaltdekke, frest asfaltdekke, nytt asfaltdekke, og rillet betongdekke. I dette prosjektet ble det utviklet en testmetode som heter «Louisiana Tack Coat Quality Tester (LTCQT)» for å vurdere kvaliteten til klebingen i felt. Forfatterne hevdet at denne metoden kan brukes av vegmyndigheter for å evaluere og sammenligne forskjellige klebemidler og mengder. Denne metoden er basert på ATacker™ test som hevdes å være i stand til å teste både skjærstyrke og strekkstyrke for klebing både i lab og i felt. I dette prosjektet ble det gjort omfattende litteratursøk som, blant annet, ga en god oversikt over eksisterende testmetoder og utstyr for bestemmelse av bindingsstyrke. Kopi av en tabell som gir denne oversikten er gitt i vedlegg 3. I dette prosjektet ble det også utført omfattende laborietesting ved bruk av en SBT (shear bond strength test) prosedyre ved bruk av et utstyr som heter «Louisiana Interlayer Shear Strength Test (LISST). Testingen ble utført på 100mm prøver ved belastningshastighet på 2,5mm/min. Følgende er noen av konklusjonene fra prosjektet.

- Trackless emulsjonen kom ut som best og raskt-brytende emulsjonen som dårligst når det gjelder sammenligning av type klebemidler.
- For alle klebemidlene var, skjærbindingsstyrken størst ved den største mengden på 0,7 l/m² restbindemiddel. Grunnen til dette kan være teststrekningens veldig gamle asfaltdekke som trengte mer klebemiddel enn normalt.
- Forholdet mellom bindingsstyrken målt med sidetrykk til den målt uten sidetrykk er alltid større enn 1. Dette forholdet øker med avtagende mengde restbindemiddel. Dette vil si at ved testing av bindingsstyrke uten sidetrykk får man konservative verdier, altså blir man på sikkerhetsside.
- Det fins direkte sammenheng mellom tekstur på underlaget og bindingsstyrke. Frest underlag ga den største bindingsstyrke etterfulgt av betongdekke, gammelt asfaltdekke, og nytt asfaltdekke. Det viste seg at effekten av klebemiddelmengde er avhengig av tekstur på underlaget og høyere klebemiddelmengder ga mindre bindingsstyrke for nytt asfaltdekke, men det motsatte var tilfelle for frest og gammelt asfaltdekke. Derfor anbefalte forfatterne å bruke mengder for de forskjellige underlagtyper som vist i Tabell 1.

Tabell 1 Anbefalt restbindemiddel (Mohammad et al 2012)

Type underlag	Anbefalt mengde restbindemiddel (L/m ²)
Nytt asfaltdekke	0,16
Gammelt asfaltdekke	0,25
Frest asfaltdekke	0,25
Betongdekke	0,2

- Målt bindingsstyrke for prøver som var laget i lab er mye høyere enn for borprøver fra felt. Høye klebemiddelmengder ga lavere bindingsstyrke for labprøver, men for borprøver ga høye klebemiddelmengder høye bindingsstyrkeverdier.
- Synkende testtemperatur ga økende bindingsstyrke. Bindingsstyrken for trackless emulsjonen var mye høyere enn bindingsstyrken for raskt-brytende emulsjonen ved temperatur over 40 °C (se Figur 1)
- Ut i fra analyser gjort ved bruk av FE metode var minimumsgrense for laboratoriemålt bindingsstyrke ca. 40 psi (=0,276MPa).



Figur 1 Effekten av testtemperaturen på bindingsstyrke (Mohammad et al 2012)

I Sveige er det utført et forskningsprosjekt i regi av SBUF som het prosjekt limning. Del 2 av prosjektet gikk på evaluering av testmetoder for bestemmelse av bindingsstyrke (Magnusson 2013). To testmetoder, pull-off test (dragtest) og SBT, ble vurdert med hensyn på repeterbarhet og praktisk anvendbarhet. Både labprøver og feltprøver, med 150 mm diameter, ble testet. To typer klebemidler, BE50R og BeTs (polymermodifisert emulsjon med 70 % bitumeninnhold) ble brukt for å lime et AB 16 lag med et ABS 16 lag. Det ble også produsert prøver uten bruk av klebemidler. Klebemiddelmengden var på 0,5 kg/m² for BE50R og 0,36 kg/m² for BeTs.

Resultatene fra prosjekt limning var ikke entydige; noen av prøvene uten klebemiddel hadde bedre bindingsstyrke enn de med klebemiddel særlig for prøvene som ble laget i lab. Konklusjonen fra dette prosjektet var at begge testmetodene er repeterbare og anvendbare men skjærtesten (SBT) er mer praktisk og mindre krevende.

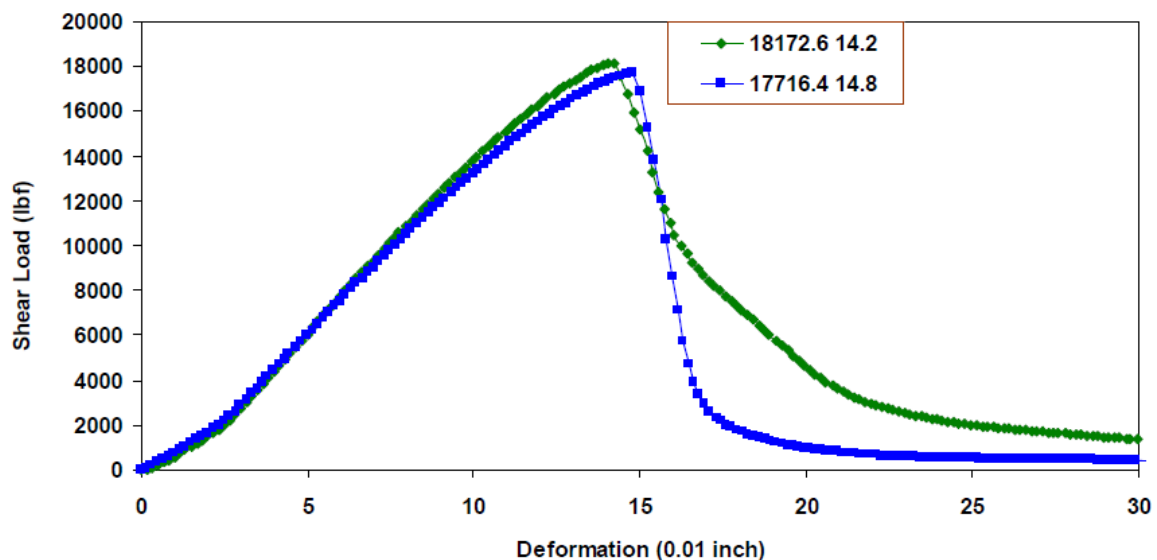
West et al (2005) utførte en omfattende laboratorie- og feltundersøkelse på klebing og klebemidler for staten Alabama i USA. Undersøkelsen pågikk i to trinn; det første trinnet omfattet laboratorieundersøkelse for å utvikle en testprosedyre for bestemmelse av bindingsstyrke (shear bond strength, SBT) og det andre trinnet omfattet felt undersøkelse for å validere testprosedyren.

I det første trinnet ble effekten av følgende faktorer undersøkt:

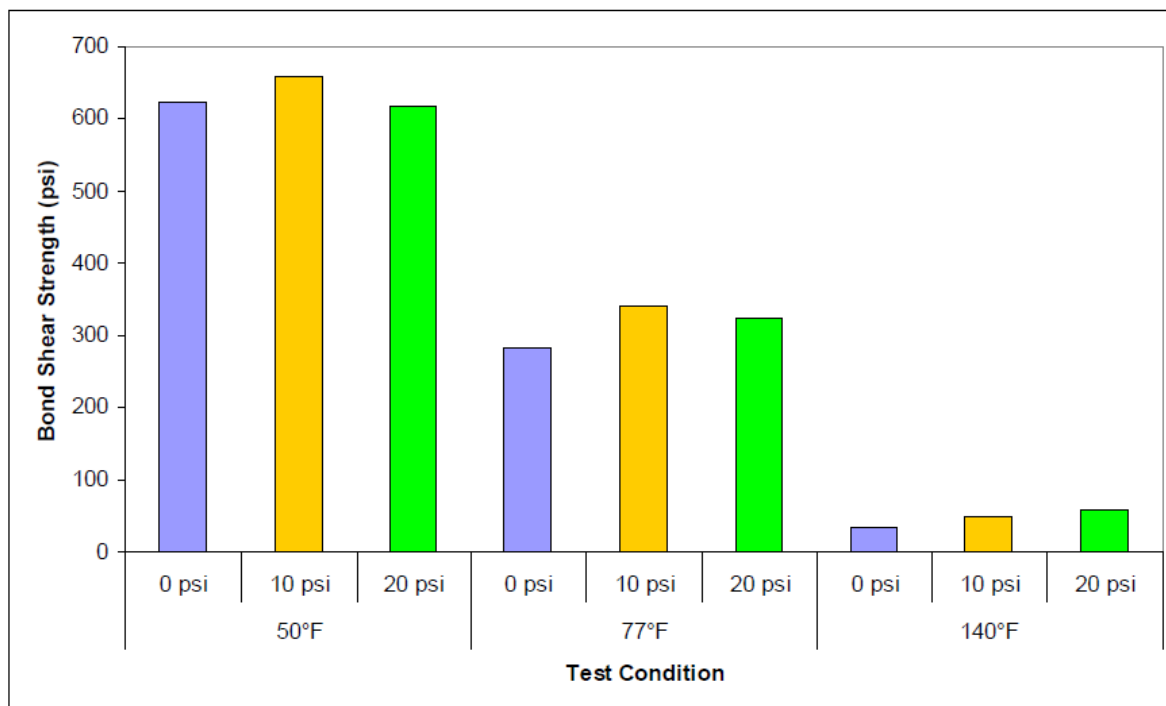
- Temperatur
- Sidetrykk
- Type masse
- Type klebemiddel
- Mengde klebemiddel

Bindingsstyrken ble målt på 150 mm diameter prøver som var laget i laboratoriet. Testingen ble utført ved bruk av SBT utstyr som er tilrettelagt for å påføre sidetrykk. Prøvene ble belastet med skjærhastighet på 50,8mm/minutt og ved tre sidetrykknivåer på 0, 10, og 20 psi (0, 0,07 og 0,14 MPa). Testingen ble utført ved tre testtemperaturer på 10, 25 og 60 °C. Tre typer klebemidler; PG 64 - 22, CRS-2 (raskt-brytende emulsjon), CSS-1 (sakte-brytende emulsjon) ble testet. Tre nivåer med mengde emulsjon på 0,18, 0,36, 0,54 L/m² (basert på rest bindemiddel) og tre nivåer med mengde PG 64 -22 på 0,09, 0,23, 0,36 L/m² ble undersøkt.

Figur 2 og Figur 3 viser noen resultater fra undersøkelsen.



Figur 2 Typisk last-deformasjonsplot (West et al 2005)



Figur 3 Effekten av temperatur på bindingsstyrke (West et al 2005)

Følgende er hovedkonklusjonene fra laboratorieforsøket:

- Alle faktorene som var undersøkt hadde statistisk signifikant effekt på bindingsstyrken. Testtemperatur var faktoren som hadde størst effekt på bindingsstyrken, økende temperatur fører til kraftig reduksjon i bindingsstyrken (Figur 3).
- SBT metoden er i stand til å skille mellom de forskjellige klebemidlene både på 25 °C og 60 °C
- Effekten av sidetrykk varierer med temperatur. Ved høy temperatur øker bindingsstyrken med økende sidetrykk men ved lav- og middeltemperatur er det lite sammenheng mellom bindingsstyrken og sidetrykk.
- PG bindemidlet gir høyere bindingsstyrke enn emulsjonene.
- Lavere klebemiddelmengde gir bedre bindingsstyrke.
- Forskjellige massetyper (forskjellige maks steinstørrelser) gir forskjellige bindingsstyrker.

Feltundersøkelsen omfattet måling av klebemiddelmengde og bestemmelse av bindingsstyrken for prøver som var tatt fra felt. Syv dekkeleggingsprosjekter var omfattet i denne undersøkelsen. Konklusjonen fra denne delen av arbeidet var:

- Målt bindingsstyrke for feltprøver varierte fra 0 til 300 psi (0 til 2,07 MPa). Bindingsstyrken for feltprøver var mye mindre enn bindingsstyrken for

laboratorieprøver. Gjennomsnittlig bindingsstyrke for alle feltprøver var på 108,7 psi (0,75Mpa).

- Fresing av eksisterende dekket gir betydelig bedre bindingsstyrke.
- PG 64 – 22 ser ut til å gi bedre bindingsstyrke enn emulsjonene.
- Det var ingen forskjell mellom bindingsstyrken for prøvene som var tatt mellom hjulspor og de som var tatt i hjulspor.
- Bindingsstyrken for dekket som ble lagt ved bruk av Novachip sprederen er betydelig høyere enn dekkene som ble lagt ved bruk av vanlige utleggere.
- Mindre klebemiddelmengde ser ut til å gi høyere bindingsstyrke på en del av prosjektene.

Sutanto (2009) utførte en PhD-studie som gikk på evaluering av bindingsstyrke mellom to asfaltlag. Dette studiet omfattet ganske detaljert litteratursøk om effekten av dårlig klebing på tilstandsutvikling på vegen samt om testmetoder for bestemmelse av bindingsstyrke. Noen av hovedfunnene fra litteratursøket var:

- I de fleste tilfeller skjer bindingsbrudd mellom slitelag og bindlag og i områder der det oppstår horisontale spenninger forårsaket av bremsing, svingning, akselerering og deselerering.
- Bindingsbrudd fører ofte til oppsprekking og horisontale permanente deformasjoner.
- Bindingsbrudd kan redusere vegdekkets levetid betydelig.
- Teoretiske analyser viser at bindingsgraden mellom to lag har stor betydning for fordeling av spenninger og tøyninger som utvikler seg under trafikkbelastning.
- Testmetodene for bestemmelse av bindingsstyrke kan deles i tre: skjærstyrke-test, strekkstyrke-test, og dreiemomentstyrke-test. Av disse testmetodene er det skjærstyrke-test metoden som anses å være mer realistisk og enklere å utføre.

Dette studiet omfattet også videreutvikling (forbedring) av Leutner metoden for å tilpasse metoden til testing av bindingsstyrke mellom tynne slitelag (mindre enn 30mm tykk) og bindlag. Forbedringen omfattet liming av aluminiumplate eller Ska prøvestykke til det tynne laget. Forfatteren hevdet at forbedringen reduserer effekten av lagtykkelse på bindingsstyrken og gir bedre testresultater. Effekten av dårlig bindingsstyrke ble også undersøkt i laboratoriet ved å simulere trafikkbelastning ved bruk av bl. A. wheel-tracking utsyr. Resultatet viste at bindingsstyrken øker med antall belastninger. Omfattende testing av bindingsstyrke ble utført ved bruk av den forbedrede Leutner metoden for å etablere en database for bindingsstyrken mellom forskjellige typer asfaltlag. Resultatet viste at:

- Bindingsstyrken for laboratorieprøver varierte mellom 1,12 MPa og 2,68 MPa
- Aldring av prøvene i ovn ved 85 °C i 120 timer resulterte i økning av bindingsstyrken med 16 % – 41 %
- Gjennomsnittlig bindingsstyrke for prøver som var tatt fra felt varierte mellom 0,9 MPa og 1,67 MPa.

I Sveits har flere laboratorie- og feltforsøk blitt utført for å undersøke bindingsstyrke mellom forskjellige lag i vegoverbygningen der forskjellige type klebemidler ble brukt (Raab & Partl 2004). Arbeidet som pågikk i flere år resulterte i utvikling av et testutstyr og metode som heter «Layer-parallel direct shear (LPDS)». Denne metoden bygget på Leutner metoden som ble utviklet i Tyskland i 1970 tallet. LPDS metoden ble inkludert i Sveitsiske nasjonalstandarder. Testresultater som ble publisert fra disse forsøkene viser i midlertid at bindingsstyrke verdiene varierer ganske mye med stor variasjonsbredde. I følge Raab et al (2009) var det Sveitsiske minimumskrav for bindingsstyrke mellom asfaltlagene 1,3 MPa for bindingsstyrke mellom slite- og bærelag og 1,1 MPa for bindingsstyrke mellom to bærelag. Tilsvarende krav som er satt i Østerrike er 0,8 MPa for bindingsstyrke mellom slite- og bindlag og 0,5MPa for bindingsstyrke mellom bind- og bærelag eller mellom to bærelag (Raab et al 2009). Nåværende Sveitsiske krav for bindingsstyrke mellom slite - og bindlag er 15KN for 150mm prøver, dvs. 0,85MPa (Christiane Raab 2014, e-post kommunikasjoner).

Al-Qadi et al (2008) gjorde et omfattende laboratorieforsøk for å vurdere effekten av forskjellige klebemidler på bindingsstyrken mellom asfaltdekker og betongdekker. To typer sakte-brytende emulsjon (SS-1h og SS-1hP) og en raskt-brytende bitumenløsning (RC -70) var omfattet i forsøket. Forsøket var basert på skjærstyrkemåling ved kontaktoverflaten ved bruk av shear bond strength testing (SBT) med skjærhastighet på 12mm/minutt på 100mm prøver. Konklusjonen fra dette forsøket var at emulsjonene gir bedre bindingsstyrke enn bitumenløsningen. Basert på målt bindingsstyrke på kontaktoverflaten mellom asfalt og betong konkluderte forfatterne at optimalt rest klebemiddelmengde er på ca. 0,18L/m². Forsøket viste også at frest underlag gir bedre bindingsstyrke, mens fuktighet/vann i kontaktoverflaten reduserer bindingsstyrken kraftig. Resultatene fra forsøket viste at test temperatur har en stor innflytelse på bindingsstyrkeverdiene.

Kulkarni (2004) utført en PhD-studie som gikk på bl.a. analyse av effekten av type klebemiddel og klebemiddelmengde på bindingsstyrken mellom de forskjellige lagene i vegoverbygningen. Her var det to typer klebemidler, medium-brytende emulsjon (CMS -2) og PG 64 -22 bindemiddel, som ble brukt for klebing av asfaltslitelaget. SBT testing med skjærhastighet på 1,0 og 2,5 mm/minutt ble brukt for å bestemme bindingsstyrken. Prøvestørrelsen var på 150mm. Klebemiddelmengden varierte mellom 0,24 L/m² og 1,1L/m² men det er ikke kjent om disse mengdene er rest bindemiddel eller total emulsjonsmengde. Resultatet viste at PG 64 - 22 gir bedre bindingsstyrke enn emulsjonen.

Clark et al (2010) utførte et laboratorieforsøk for å evaluere forskjellige trackless klebemidler. Forsøket omfattet fem trackless midler og en raskt- brytende emulsjon (CRS-1). Bindingsstyrken ble målt ved bruk av både SBT og strekk-test. Konklusjonen fra dette forsøket var:

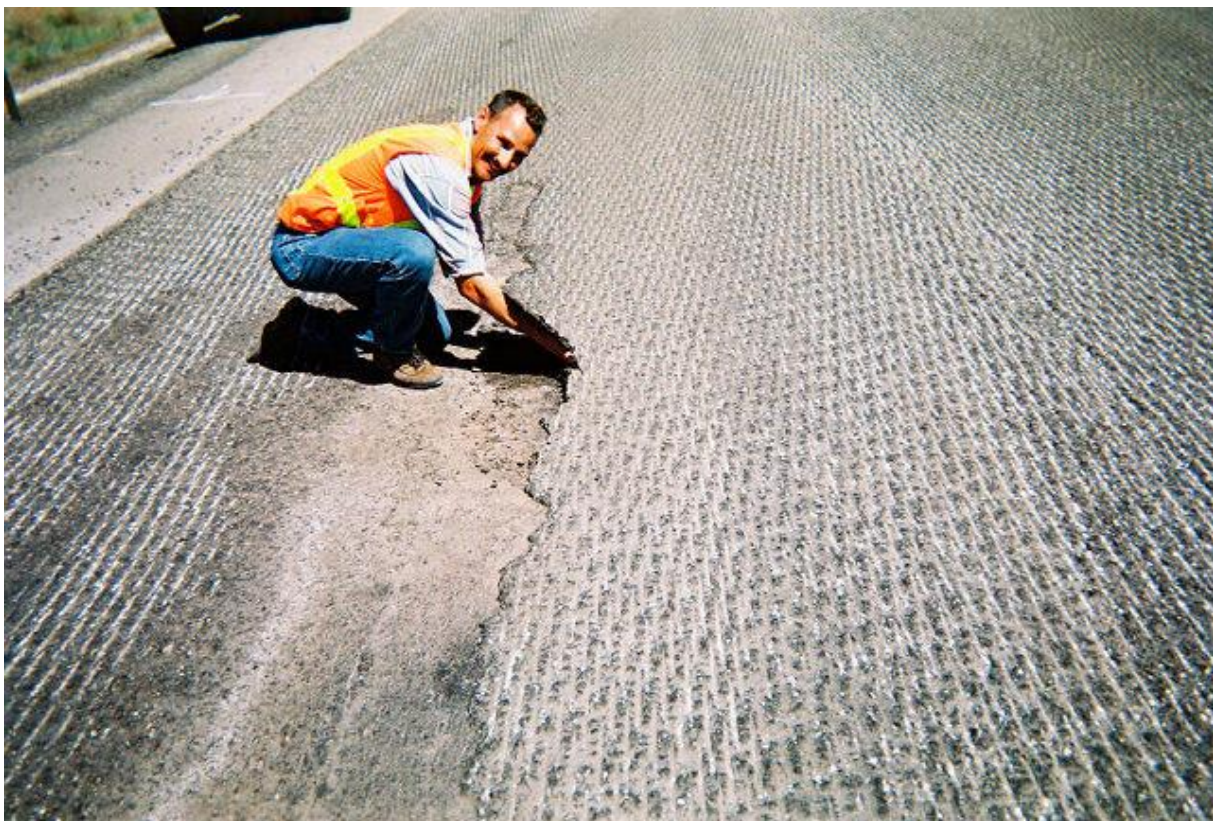
- Trackless klebemidlene ga bedre bindingsstyrke enn CRS-1. Alle trackless klebemidlene ga bedre bindingsstyrke enn CRS-1 men tre av dem hadde også høyere standardavvik.
- Trackless klebemidlene ga bedre strekkstyrke enn CRS-1 men fire av dem hadde også høyere standardavvik.

Chen et al (2012) publiserte resultat fra et studie som ble utført for å vurdere effekten av trackless klebemiddel på motstand mot oppsprekking, såkalt «top – down cracking». En laboratorieundersøkelse ble utført ved bruk av et spesielt utstyr for å måle utvikling av oppsprekking. Testprøvene ble laget i laboratorium ved bruk av gyrtator. En type trackless klebemiddel med to mengdenivåer og en vanlig emulsjon (CRS-1) var omfattet i testingen. Konklusjonen fra dette studiet var at trackless klebemiddel gir bedre motstand mot oppsprekking.

Muench & Moomaw (2008) rapporterte om en studie som ble utført i staten Washington i USA. Målet med studien var å finne ut om bindingsvikt mellom asfaltlagene er et betydelig problem. Studien omfattet både felt- og laboratorieundersøkelser. Konklusjonen var:

- Bindingsbrudd/bindingsvikt skjer i statens vegdekker.
- Bindingsbruddet er mest sannsynlig forårsaket av dårlig klebemiddelmengde eller inntrenging av vann ved dekkeskader. Ved langsgående skjøl kan årsaken for bindingsbrudd være dårlig komprimering.

Figur 4 viser et bilde av et av stedene der de fant svikt i bindingen mellom asfaltlagene.



Figur 4 Bindingsbrudd i asfaltdekker (Muench & Moomaw 2008)

Hariyadi et al (2013) utførte en teoretisk studie for å analysere effekten av dårlig klebing mellom to asfaltlag. Analysen ble utført ved bruk av dataprogrammet BISAR. Forskjellige nivåer med bindingsgrad mellom asfaltlagene ble simulert ved å variere «shear spring compliance» som er parameteren som uttrykker bindingsgraden mellom lagene i BISAR programmet. Analysen fokuserte på beregning av den horisontale strekktoyningen på

bunnen av asfaltlaget og den vertikale sammentrykkende tøyningen på toppen av undergrunnen. Analysen viste at bindingsgraden har stor effekt på tøyningene.

Konklusjoner for litteraturstudiet

Ut i fra litteratursøket som er beskrevet i dette kapitelet kan man konkludere at:

1. Skjærbindingsstyrketesting (shear bond strength testing) er den mest realistisk og mest brukte testmetode for bestemmelse av bindingsstyrke mellom to asfaltlag. Testing ved bruk av denne metoden kan utføres med eller uten sidetrykk. Testingen med sidetrykk er litt komplisert og gir mer variasjon i testresultatet. Testingen uten sidetrykk er enklere og anses å gi mer konservative bindingsstyrkeverdier.
2. Både 150mm-prøver og 100mm-prøver er blitt brukt i de forskjellige forsøkene.
3. Bindingsstyrken mellom to asfaltlag påvirkes av både klebemiddelmengde og type samt overflateegenskaper og komprimering.
4. Målte bindingsstyrkeverdier for laboratorieprøver er høyere enn bindingsstyrkeverdiene for feltprøver i de fleste tilfeller.
5. Testtemperatur har stor effekt på bindingsstyrken. Det at bindingsstyrken går tydelig ned når testtemperaturen går opp, kan tyde på at restbindemiddelets viskositet er en av komponentene som bidrar til bindingsstyrken.
6. Anbefalinger angående optimal klebemiddelmengde varierer mye.
7. Det fins ikke tilstrekkelig datagrunnlag for å anbefale minimumsgrense for bindingsstyrken.

3 Materialer

3.1 Klebeemulsjonene

Det inngår 4 ulike bitumenemulsjoner og 2 polymermodifiserte emulsjoner. Emulsjonene som inngår i prosjektet er anonymisert av hensyn til produsentene. For å holde de ulike emulsjonene fra hverandre, er de gitt bokstavidentitet. For forkortelser i figurer og tabeller, er bitumenemulsjonene betegnet BE og de polymermodifiserte emulsjoner er betegnet PMBE.

De to polymermodifiserte emulsjonene, er modifisert ved tilsetning av lateks i vannfasen i emulsjonen. Det er altså ikke snakk om emulsjon av polymermodifisert bindemiddel, men emulsjon av bitumen som er emulgert i en vannfase med en emulgert polymer (lateks).

I Tabell 2 er emulsjonene som inngår i prosjektet listet opp, med dokumenterte verdier for egenskapene som omtales i rapporten. Emulsjonene er produsert i 3 forskjellige land, som kan ha ulike nasjonale regler for spesifisering av produktene. Samtidig kom EN 13808 ut i ny utgave i 2013, hvor klasseinndelingene for brytningsegenskaper var endret fra tidligere utgave. Det framgår ikke av hverken produktstandarden eller teststandarden for brytningsverdi hvorfor en slik endring er gjort, men en omregningsfaktor er endret i teststandarden. CE-merking av emulsjoner var ikke obligatorisk ennå da prosjektet startet i 2013. Disse faktorene har bidratt til uoverensstemmelser og varierende dokumentasjon av emulsjonene som inngikk i prosjektet. Tabellen er fylt ut etter beste evne ut fra de opplysningene som utførende entreprenør leverte.

Tabell 2 Emulsjonene som inngår i prosjektet

	*Type- betegnelse	Inngående bitumengrad	Penetrasjon @ 25 °C etter fordamping [¹ / ₁₀ mm]	Brytnings- verdi
BE-A	C52BF3	160/220	≤ 150	70-155
BE-B	C50B3	160/220	≤ 220	70-130
BE-C	C50B3	160/220	> 50	«mediumbrytende»
BE-D	C50B2	160/220	Ikke gitt	50-100
PMBE-O	C50BP3	? + lateks	≤ 150	70/130
PMBE-P	C65BP2	160/220 + lateks	≤ 220	50/100

*Emulsjonene er gitt typebetegnelse i henhold til reglene i EN 13808:2013, som ikke nødvendigvis stemmer med produktdatabladet som fulgte prøven.

Typebetegnelsen forteller at alle emulsjonene er kationiske, da alle betegnelsene starter med C.

Bindemiddelinholdet er 50 % for de fleste, men 52 og 64 forekommer også. Verdiene kan variere med ± 2 % fra dokumentert verdi.

B står for vegbitumen. P betyr at det er tilsatt polymer, enten ved at bindemiddelet er polymermodifisert eller at polymeren er tilsatt før, under eller etter emulgering. F betyr at emulsjonen er tilsatt mer enn 3 % fluks (m/m).

Det siste tallet i betegnelsen angir hvilken brytningsegenskapsklasse som er dokumentert. Disse klassene ble betydelig endret i standarden fra 2005-utgaven til 2013-utgaven. Dette er vist i Tabell 3.

I det nasjonale tillegget fra 2011, var brytningshastighetene «rask», «medium» og «sakte» knyttet til de ulike brytningsverdiklassene. Disse betegnelsene samsvarer ikke nødvendigvis med brytningshastigheter i andre land. I ASTM har de for eksempel helt andre testemetoder og definisjoner til å skille mellom rask-, medium- og saktebrytende emulsjoner.

Tabell 3 Inndeling i ytelsesklasser for brytningsverdi referert til ny og gammel standard.

Ytelsesklasser for Brytningsverdi	Tekniske krav i EN 13808:2005 (brytningshastighet i hht NA:2011)	Tekniske krav i EN 13808:2013
Klasse 1	oppgis	
Klasse 2	≤ 80 (rask)	< 110
Klasse 3	50–100 (rask)	70–155
Klasse 4	70–130 (medium)	110–195
Klasse 5	120–180 (medium)	>170
Klasse 6	170–230 (sakte)	
Klasse 7	≥ 220 (sakte)	

3.2 Strekningene

Prøvestrekningene er betegnet Strekning-A til -X. Strekningene befinner seg i vegvesenets region midt, sør, øst og vest.

Prøve: En prøve er gjennomsnittsverdien av flere paralleller (kjerner). Paralleller er tatt ut langs en linje parallelt med kjøreretningen. Stort sett enten i ett hjulspor eller mellom hjulspor. I de aller fleste tilfeller er det tatt ut 3 paralleller (borkjerner i linje parallelt med kjøreretningen), hvor gjennomsnittsverdien utgjør en prøven. Enkelte kjerner utgikk på grunn av feil med prøven eller ved testingen. Fra 3 strekninger (X, L og M) kom det inn flere borkjerner uten merking av prøvested. I disse tilfellene er det beregnet gjennomsnitt på grunnlag av alle kjernene, som så er framstilt som en prøve i figurene.

Prøvefelt: Et begrenset område på en strekning, hvor underlaget og lim-mengden er likt.

Det ble målt mengde klebemiddel påført på de fleste strekningene, men ikke på alle.

Innledningsvis ble det valgt ut 5 strekninger i region midt for en nærmere studie av den valgte testmetoden for bindingsstyrke. Fra 4 av de 5 strekningene som inngikk i den innledende studien, ble det tatt ut nye kjerner fra samme sted ett år etter legging og første prøveuttak, for å se på utvikling av bindingsstyrke for disse 4 strekningene.

Senere i prosjektet ble det gjennomført en kontrollert studie av sammenhengen mellom mengde klebemiddel påført og resulterende bindingsstyrke. Forsøksoppsettet er gitt i kapittel 4.4. Strekningene med gamle underlag med ulike teksturdybder (P, S, R og Q) ble gjennomført i region midt, mens strekning U, med frest underlag er gjennomført i region sør.

I kapittel 5.3.3 Bindingsstyrke på nylagt, frest og gammelt underlag inngår, i tillegg til prøver planlagt og gjennomført i prosjektets regi, også en rekke prøver innkommet fra andre steder i landet.

Det praktiske arbeidet med prøveuttak og testing av bindingsstyrke har pågått i tilsammen 2 år. Totalt omfatter prosjektet måling av bindingsstyrke på i alt 270 borkjerner, hvorav 100 er tatt ut i 2013 og 170 i 2014. Borkjernene er fra til sammen 68 prøvefelt fordelt på 32 strekninger. 22 av prøvefeltene er fra strekninger hvor der er klebet på nylagt underlag, 35 på gammelt underlag og 14 på frest underlag. For 27 av prøvefeltene er det tatt borkjerner både i og mellom hjulspor.

Alle strekningene som inngår i prosjektet er listet opp i Vedlegg 2.

4 Metoder

Det er utført både felt- og laboratoriearbeid. Flaskeprøver av emulsjon er analysert, det er målt mengde klebemiddel påført på veg og det er målt bindingsstyrke på borkjerner.

4.1 Bindemiddelinhold i emulsjon og konsistensen på gjenvunnet bindemiddel

Regler for spesifisering av kationiske bituminøse emulsjoner er gitt i NS-EN 13808¹. Den sier at bindemiddelinhold skal bestemmes ut fra vanninnhold i henhold til prosedyre i EN 1428², eller som summen av restbindemiddel og oljedestillat bestemt i henhold til prosedyre i EN 1431³.

Egenskapene til bindemiddelet i emulsjonen kan bestemmes på restbindemiddel etter EN 1431 eller på gjenvunnet bindemiddel etter kald inndamping i henhold til prosedyre i EN 13074-1⁴. I Statens vegvesens håndbok for Vegbygging, N200, Vedlegg 10, er det imidlertid åpnet for at prosedyre beskrevet i ASTM6934-08⁵ kan benyttes som ett alternativ både for bestemmelse av bitumeninnhold og til testing av bindemiddelegenskapene på restbindemiddelet. Denne metoden er også beskrevet i Statens vegvesens retningslinjer for laboratorieanalyser⁶. I nasjonalt tillegg til NS-EN 13808 er det åpnet for at ASTM6934-08 kan benyttes til bestemmelse av bindemiddelinhold ved produksjonskontroll.

Ved bestemmelse av bindemiddelinhold og ved gjenvinning av bindemiddel, ble ASTM D6934-08 benyttet. Bortsett fra av gjenvinning av polymermodifisert emulsjon og 3 av bitumenemulsjonene. Hvilke prøver dette gjelder er angitt i Vedlegg 1. Restbindemiddelens konsistens ved mellomliggende brukstemperatur ble bestemt ved NS-EN 1426 Penetrasjon med nål ved 25°C.

Flaskeprøver av emulsjon ble tatt direkte fra tanken på limbilen ute på vegen. Dette ble utført på enkelte av strekningene. Prøven ble tatt på 1-liters plastflasker. Det ble tatt ut to slike flasker. Flaskene ble sendt til Sentrallaboratoriet Trondheim for testing.

Før testing ble flaskeprøven forbehandlet på følgende måte: korken ble skrudd opp, luft ble sluppet inn, og korken ble skrudd på igjen. Flasken ble deretter vendt rolig opp og ned minst 10 ganger. Deretter ble den rullet noen ganger frem og tilbake. Emulsjonsprøvene ble ikke forvarmet eller silt før inndamping. Prøvene ble dampet inn, og restbindemiddel ble

¹ NS-EN 13808 Bitumen og bituminøse bindemidler – Regler for spesifisering av kationiske bituminøse emulsjoner

² EN 1428 Bitumen og bituminøse bindemidler – Bestemmelse av vanninnhold i bitumenemulsjoner – Azeotropisk destillasjonsmetode

³ EN 1431 Bitumen og bituminøse bindemidler – Bestemmelse av gjenvunnet bindemiddel og oljedestillat fra bitumenemulsjoner ved destillasjon

⁴ EN 13074-1 Bitumen og bituminøse bindemidler – Gjenvinning av bindemiddel fra bitumenemulsjoner eller bitumenløsninger eller fluksede bituminøse bindemidler – Del 1: Gjenvinning ved fordampning

⁵ ASTM6934-08 Restbindemiddel ved fordampning av bindemiddelemulsjon

⁶ R210.335 Restbindemiddel ved inndamping

benyttet til å beregne bindemiddelinnhold. Den delen av materialet som skulle testes med penetrasjon, ble silt gjennom sikteåpning på 0,5 mm før overføring til penetrasjonskopp.

Ved undersøkelser av bindemiddelegenskaper på bindemiddel fra emulsjoner med lateks, ble emulsjonen forvarmet og gjenvunnet i henhold til EN13074-1.

I sesongen 2013 ble i alt 18 klebeemulsjoner undersøkt. I sesongen 2014 ble i alt 10 klebeemulsjoner undersøkt.

4.2 Bestemmelse av mengde klebemiddel påført på veg

I Norge har vi krav til mengde klebemiddel påført på veg før reasfaltering, men det har vært lite fokus på kontroll av at riktig mengde blir brukt. Det finnes heller ingen standardisert europeisk metode for dette. Innledningsvis i dette prosjektet ble det derfor foretatt noen undersøkelser og vurderinger som ledet fram til de metodene som ble brukt videre i forsøkene. I starten av prosjektet ble det målt mengde lim sprøytet ut på veg, både i form av emulsjon og i form av mengde restbindemiddel etter inndamping av vannet fra emulsjonen. Da resultatene viste at målt mengden restbindemiddel etter inndamping gjerne gav høyere verdier enn målt mengde emulsjon, ble metoden med inndampet restbindemiddel benyttet i det videre arbeidet i prosjektet. Resultatene som viser hvordan måling av mengde emulsjon ga lavere verdier enn måling av restbindemiddel er vist i kapittel 5.2.1.

I det amerikanske standardsystemet, American Society for Testing and Materials (ASTM), finnes det en metode for estimering av påføringshastighet for bituminøse sprøytebiler, ASTM D2995-09⁷, som kan benyttes både til å kontrollere og å kalibrere sprøytebilene. I Statens vegvesens retningslinjer for feltundersøkelser, R211 (1997), er det beskrevet to metoder for bestemmelse av mengde påsprøytet bindemiddel på veg, metode nr 3421 og nr 3422^{8,9}. Disse metodene er imidlertid tilpasset sprøytebiler som benyttes til overflatebehandling og penetrasjonsdekker, hvor større mengde bindemiddel (ikke emulsjon) benyttes.

Med bakgrunn i disse tre metodene, ble det valgt å utføre målingene på følgende måte: 3 forhåndsveide plater, av en gitt størrelse, ble lagt ut på vegen, slik at limbilen passerte over med hjulene på hver side av platene. Platene med klebemiddel ble deretter enten veid ute i felt, pakket i tette og forhåndsveide plastposer for veiing inne på laboratoriet eller lagt i forhåndsveide brett for tørking og veiing inne på laboratoriet. Mengde ble beregnet fra vekt og areal, til kg/m^2 . Mengden kan regnes om fra kg/m^2 til l/m^2 ved å dividere med densiteten [kg/l]. Densitet lik 1,00 kg/l ble benyttet da dette er tilnærmet riktig verdi for alle emulsjoner ved 20°C.

I starten ble plater i flere typer materialer prøvd ut, og det ble målt mengde emulsjon og/eller mengde bindemiddel. Etter de første forsøkene med utprøving, ble resten av målingene som inngår i tallmaterialet i prosjektet fortrinnsvis utført enten som måling av mengde emulsjon på flatpakkede asfaltesker veid i felt, eller målt som mengde bindemiddel

⁷ ASTM D2995-09 Standard Practice for Estimating Application Rate of Bituminous Distributors

⁸ R211.3421 Bindemiddelforbruk, lokkmetoden.

⁹ R211.3422 Bindemiddelfordeling og bindemiddelforbruk bestemt på trefiberplater

på plater av fiberduk¹⁰, etter tørking og veiing inne på laboratoriet. I kapitlene 4.2.1, 4.2.2 og 4.2.3 er disse metodene beskrevet i detalj.

4.2.1 Mengde bindemiddel målt med fiberduk

Det ble gjort en forundersøkelse for å kontrollere at materialet i platene (alene) ikke tapte vekt under tørkeprosedyren, samt at tørkeprosedyren er tilstrekkelig til å fjerne vannet. Fra rull med fiberduk ble det klippet nøyaktig like store prøveplater på 0,250 x 0,350 m. Følgende prosedyre ble benyttet:

1. Sett med prøveplate og aluminiumsbrett nummereres og veies på forhånd.
2. 3 plater festes til vegoverflaten ved bruk av en bit «duct tape» i hvert hjørne. Platene plasseres slik at de befinner seg mellom hjulene når limbilen kjører over og påfører emulsjonen.
3. Etter påføring av emulsjonen, legges platene forsiktig over i aluminiumbrettet, som vist i Figur 5. Se til at det ikke renner emulsjon av prøveplata før den er over i brettet. For transport legges det på lokk.
4. Tilbake på laboratoriet tas lokket av og duct tapen fjernes. Platene plasseres i ett tørkeskap ved 130°C i 30 minutter, for fordamping av vannet i emulsjonen. Etter tørkingen tas brettene ut, og etter kort avkjøling, veies brett med plate og bindemiddel.

Mengde bindemiddel beregnes etter følgende formel:

$$\frac{(vekt\ av\ alubrett\ +\ plate\ +\ bindemiddel\ etter\ tørking) - (tara\ alubrett\ +\ tara\ plate)}{areal\ av\ tarert\ prøveplate} \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

¹⁰ Fiberduk: betyr her et materiale som selges i byggevareforretninger, som gulvbeskyttelse ved malingsarbeider. Denne fiberduken består av et absorberende materiale, og en væsketett underside av tynn plast.



Figur 5 Bildet viser 3 prøveplater plassert i aluminiumsbrett.

4.2.2 Mengde emulsjon målt med fiberduk

1. Sett med prøveplate (0,250 x 0,350 m) og plastpose nummereres og veies på forhånd.
2. 3 plater festes til vegoverflaten ved bruk av en bit «duct tape» i hvert hjørne. Platene plasseres slik at de befinner seg mellom hjulene når limbilen kjører over og påfører emulsjonen. Dette må koordineres med sjåføren for å unngå at platene kjøres over.
3. Straks etter at limbilen har påført emulsjonen, brettes platene forsiktig sammen, to ganger, mens tapen fjernes. Her må man passe på at emulsjonen ikke presses ut. Hver plate plasseres i tilhørende pose, som knytes slik at den blir helt tett. Dette er vist i Figur 6.
4. Posene med prøveplate og emulsjon tas med inn til laboratoriet og veies samme dag.

Mengde emulsjon beregnes fra formelen:

$$\frac{(vekt\ av\ pose + plate + emulsjon) - (tara\ pose + tara\ plate)}{areal\ av\ tarert\ prøveplate} [kg/m^2]$$



Figur 6 Bildene viser hvordan en prøveplate av fiberduk håndteres i felt når mengde emulsjon påført skal bestemmes ved veiing inne på laboratoriet.

4.2.3 Mengde emulsjon målt med asfalteske

(Denne metoden ble benyttet på ett lite antall strekninger undersøkt i region sør.)

1. Det medbringes en transportabel vekt til prøvestedet.
2. Asfalteskene (0,295 x 0,249 m) nummereres og veies før bruk.
3. 3 asfaltesker plasseres i vegbanen på en slik måte at de blir liggende mellom hjulene når limbilen kjører over og påfører emulsjonen.
4. Straks etter at limbilen har påført emulsjonen, plukkes asfalteskene opp, og veies.

Mengde emulsjon beregnes fra formelen:

$$\frac{(vekt\ av\ asfalteske\ +\ emulsjon) - (tara\ asfalteske)}{areal\ av\ asfalteske} \quad [kg/m^2]$$



Figur 7 Mengde emulsjon målt med asfalteske som prøveplate.

4.3 Bestemmelse av bindingsstyrke mellom to asfaltlag

Det finnes flere metoder til å måle bindingsstyrken i limlaget mellom to asfaltlag. Disse er omtalt i litteraturstudiet i kapittel 2. I dette prosjektet valgte vi å benytte en av de 3 metodene som er beskrevet i utkastet til en ny europeisk standard for bestemmelse av bindingsstyrke mellom to asfaltlag. Metoden ble valgt av flere årsaker:

1. Den omtales som den metoden som er mest realistisk i forhold til de krefter limlaget blir utsatt for.
2. Den er minst komplisert å utføre.
3. Det er den mest brukte metoden for bestemmelse av skjærstyrke.

Med denne metoden testes motstanden mot horisontal skjærspenning. Det vil si krefter som oppstår ved akselerering og oppbremsing av trafikken, samt spenninger som oppstår dersom de sammen-limte lagene beveger seg forskjellig ved temperaturendringer.

Testingen ble utført i henhold til beskrivelsen av «Shear Bond Test» (SBT) i utkast til ny europeisk standard prEN 12697-48¹¹ (planlagt utgitt i 2016/2017).

Testen ble utført på 10 cm asfaltkjerner. Det varierte hvor lenge det gikk fra dekkelegging til prøvene ble boret ut, og hvor lang tid det gikk før prøvene ble testet. Det gikk imidlertid aldri mindre enn en uke fra dekkelegging til testing.

Krav til prøve er i henhold til utkastet til standarden som følger:

- Diameter lik (100 ± 2) mm
- Minimum 20 mm tykkelse på dekket over det aktuelle lag-skillet.
- Minimum 70 mm høyde fra bunnen av kjernen og opp til det aktuelle lag-skillet.
- Lag-skillet må ligge som ett normalplan på lengdeaksen til kjernen, med maks tillatt avvik på 7,5 mm.

¹¹ Pr EN12697-48 Bituminous mixtures – Test method for hot mix asphalt – Part 48: Interlayer Bonding

- Kjøreretning skal være påtegnet.

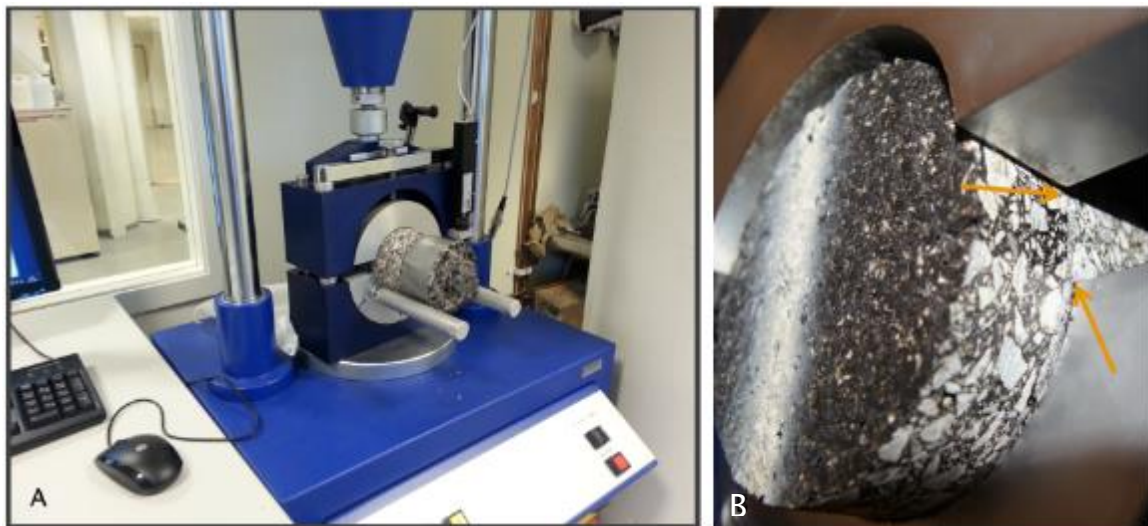
Det aktuelle lag-skille ble markert med sølvtusj, og alle målinger ble utført før temperering av prøve. Kjerner som ikke overholdt kravene, ble ikke inkludert i studien.

På grunn av begrenset tilgang på kjøleskaps plass, varierte det hvordan kjernene ble lagret. Ingen kjerner ble utsatt for temperaturer utenfor området (2 – 22) °C. Kjernene ble enten lagret stående i romtemperatur ved (10–22) °C, eller liggende i takrenne med Ø 125 mm i kjøleskap. Før testing, ble prøvene kondisjonert stående ved (20 ± 1) °C i 16 timer eller mer.

I 2013 ble de fleste prøvene lagret stående i romtemperatur, mens noen ble liggende i halve plastrør (med Ø 125 mm) i kjøleskap. Noen prøver ble lagret i noen dager, mens andre ble lagret i flere uker. Før testing ble prøvene temperert i romtemperatur over natten (> 16 timer). Temperaturen i rommet ble målt på morgenen før testen ble utført. Romtemperaturen lå ofte innenfor (20 ± 1) °C, og aldri mer enn 0,5°C utenfor.

I 2014 ble noen av kjernene lagret i kjøleskap mens andre ble lagret på et kjølig lager, som holdt omtrent 12°C. Ingen ble oppbevart ved romtemperatur, og det gikk generelt kortere tid fra prøveuttak til testing i 2014 enn det det hadde gjort i 2013. Før testing ble kjernene plassert i klimaskap ved (20,0 ± 1,0) °C over natten. Dette innebærer at det var mer nøyaktig kontroll på testtemperaturen for prøvene testet i 2014.

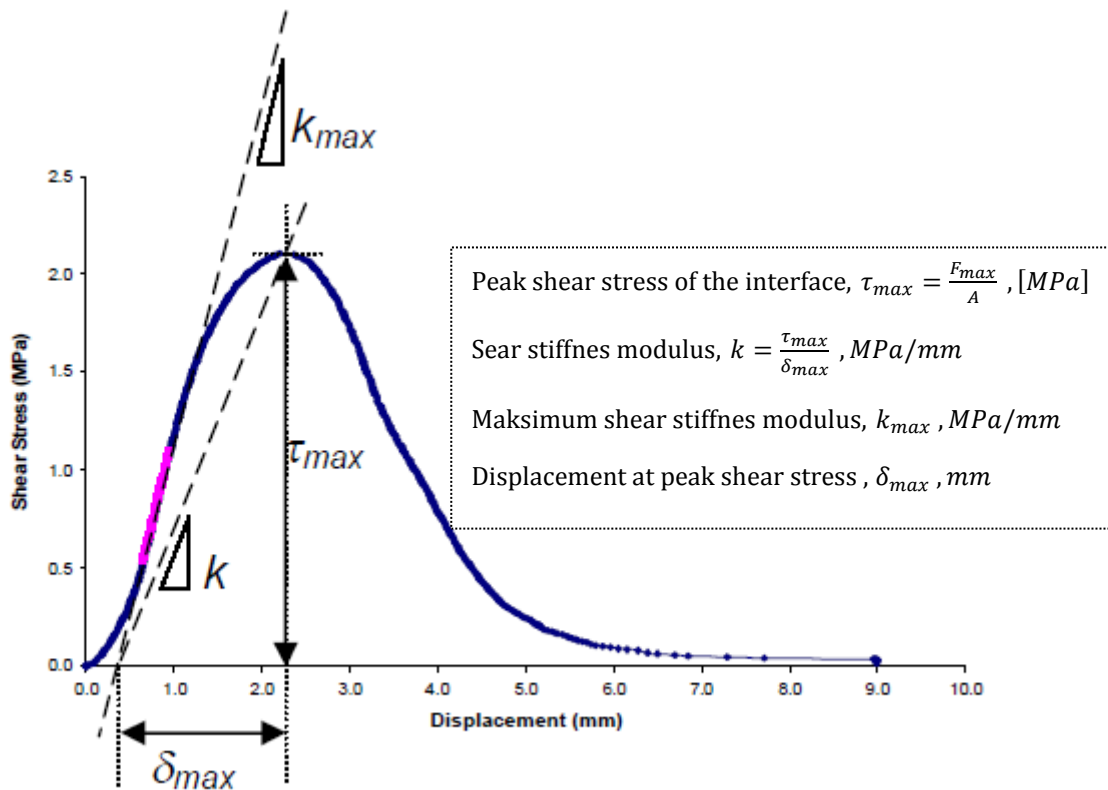
Etter temperering, ble kjernen spent fast i prøveholderen, som vist på bildene i Figur 8. Skjærkraften ble påført med fast hastighet på (50±2) mm/minutt, parallelt med kjøreretningen. Pressa var koblet til PC med programvare som logget kraft og forskyvning.



Figur 8 Bilde A viser hvordan nedre del av kjernen er festet fast mellom to halv-ringer. Bilde B viser hvordan toppen av kjernen er plassert, sett fra den andre siden av pressa.

Som vist i figur 8 ligger lagskillet som skal testes langs kanten på den nedre halv-ringen. Når pressa går ned, vil den øvre halv-ringen gå ned, og forårsake en forskyvning mellom lagene. Prøven spennes inn slik at skjærkraften går parallelt med kjøreretningen.

Figur 9 viser hvilke parametere som beregnes på grunnlag av målte verdier for kraft og forskyvning. Det er maksimum skjærspenningen, τ_{max} , som vurderes og sammenlignes i resultatdelen i denne rapporten.



Figur 9 Loggede verdier for skjærkraft (F) regnes om til skjærspenning (F/A) og plottes som funksjon av forskyvning. Den største verdien skjærkraften når, omtales som skjærstyrke, og dersom bruddet oppstod i lagskillet, omtales dette som bindingsstyrke.

Når testingen er ferdig, inspiseres prøven visuelt. Hvor bruddet oppstod, og bruddflatens utseende noteres. Dersom det er brudd i lagskillet mellom de to asfaltlagene, kan beregnet verdi for τ_{max} omtales som bindingsstyrke. Dersom det er sprekker eller ødeleggelser i asfalt over eller under, eller i ett annet lagskille enn det som skal testes, så vil dette påvirke resultatet.

Kjernene ble fotografert både før og etter testing.

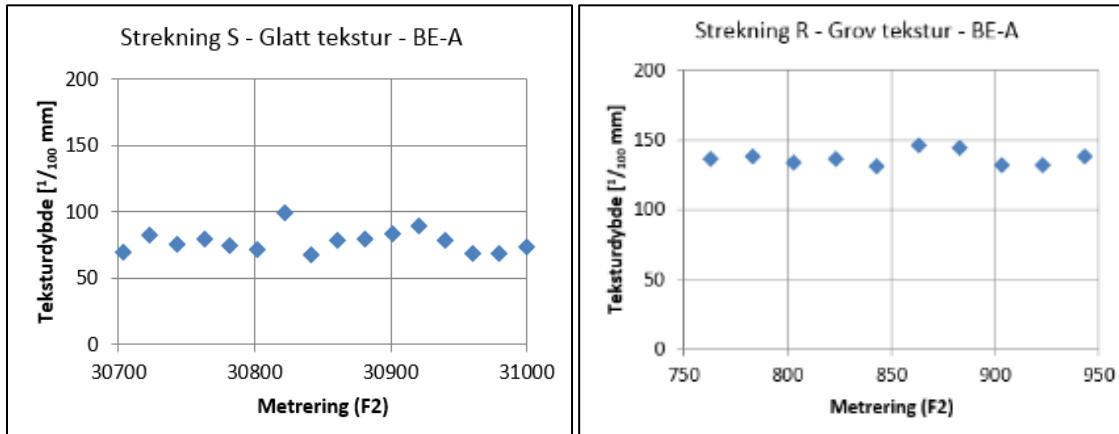
4.4 Forsøksoppsett for bindingsstyrke ved varierende mengde klebemiddel og tekstur

For å vurdere effekten av mengde klebemiddel på bindingsstyrken mellom asfaltlagene, ble det planlagt et forsøksoppsett med tre nivåer for mengde klebemiddel, ulike nivå av teksturdybde på gammelt dekke og med tre typer emulsjon.

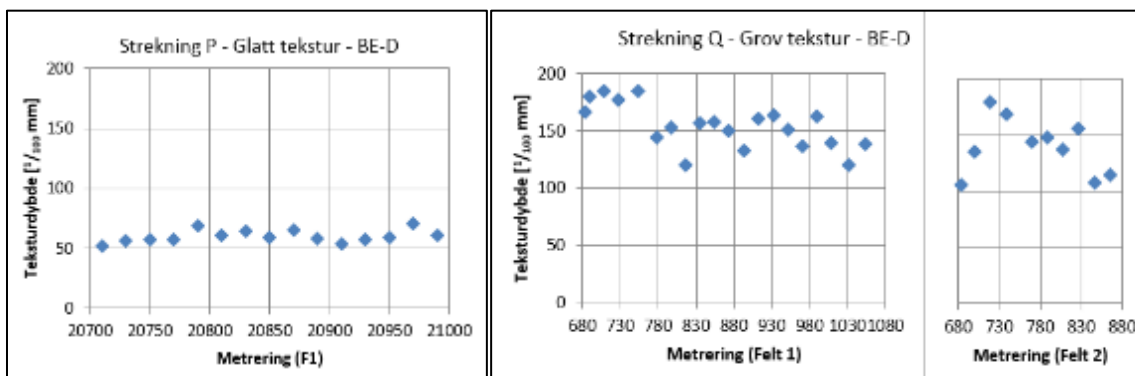
Det ble valgt ut tre typer bitumenemulsjoner som er vanlig i bruk på det norske markedet. Etter en gjennomgang av kontrakter hvor disse emulsjonene skulle benyttet, inkludert uthenting av teksturmålinger fra nasjonal vegdatabank (NVDB), ble det valgt ut en strekning

med glatt tekstur på dekkeoverflaten og en med grov tekstur for hver av to av disse emulsjonene. Den tredje bitumenemulsjonen, bitumenemulsjon B, ble undersøkt på frest underlag.

Teksturdata for de valgte strekningene er vist i Figur 10 og Figur 11.



Figur 10 Teksturdata for de to strekningene som ble valgt ut for å undersøke effekten av mengde av bitumenemulsjon A (BE-A) ble undersøkt.



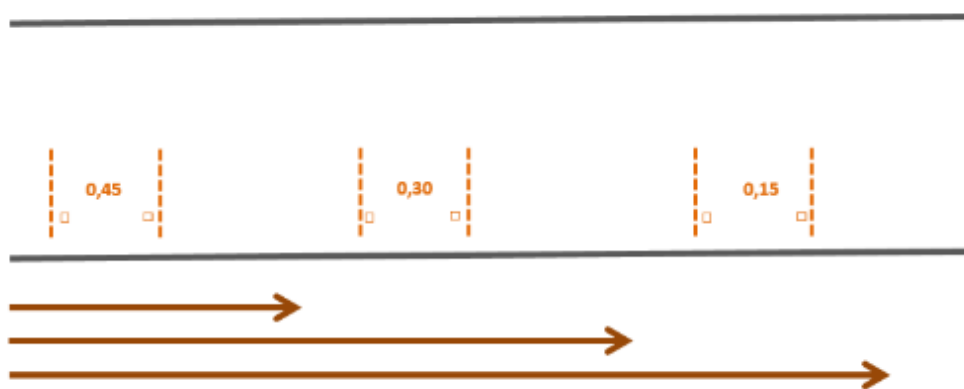
Figur 11 Teksturdata for de to strekningene som ble valgt ut for å undersøke effekten av mengde av bitumenemulsjon D (BE-D) ble undersøkt.

Nivåene av mengde emulsjon som var ønskelig å undersøke var lav: halvparten av dagens krav, altså 0,15 liter emulsjon per kvadratmeter, middels: dagens krav på 0,30 l/m² og høy: en halv gang mer enn dagens krav, altså 0,45 l/m². Målt i mengde bitumen (etter

fordamping av vannet fra emulsjonen) tilsvarer dette for en C50B3 henholdsvis lav: 0,075 kg restbindemiddel per kvadratmeter, middels: 0,15 kg/m² og høy: 0,225 kg/m².

3 prøvefelt langs samme strekning, som dermed har like forutsetninger for binding mellom lagene, i form av værforhold, type emulsjon, utsprøyting (dyser), renhet og tekstur på underlaget, ble benyttet for variasjon i mengde klebemiddel påført.

Påført mengde klebeemulsjon ble variert enten ved justering av utsprøytningshastighet (trykk), ved regulering av farten på limbilen, eller ved 1, 2 og 3 overfarter, som illustrert i Figur 12. Det viste seg å ikke være så enkelt å treffe med tilsiktede mengder påføring. Det var derfor nødvendig med en «kalibrering» av bilene før selve teststrekningene skulle lages. Metoden med 1, 2 og 3 overfarter viste seg å være best egnet, fordi den sikret 3 tydelige nivåer. Denne metoden ble derfor benyttet på de fleste strekningene.



Figur 12 Skissen illustrerer den sikreste måten å få til riktig spredning på de 3 nivåene med mengde klebemiddel. Når limbilen kjørte over strekningen 1, 2 og 3 ganger, så var man bedre sikret å få god spredning i mengde.

4.5 Statistisk analyse

Statistiske analyser er utført ved hjelp av dataanalyse i Excel.

Det er utført korrelasjonsanalyse for å se om det er samvariasjon mellom målt bindingsstyrke og påført mengde klebemiddel. Korrelasjonskoeffisient lik 0 betyr at det ikke er sammenheng mellom de to variablene, mens 1 betyr perfekt positiv korrelasjon og -1 betyr perfekt negativ korrelasjon. I statistikken er det vanlig å tolke R-verdi (absoluttverdi) på følgende måte:

- 0–0,3 ingen/svak korrelasjon
- 0,3–0,6 moderat korrelasjon
- 0,6–1,0 sterk korrelasjon

Det er utført to-sidige t-tester for å se om det er signifikant forskjell mellom resultatene i to datasett. Før t-testen er utført, er det gjennomført F-test, slik at t-testen utføres med riktig antagelse om lik eller ulik variasjon i datasettene. For alle F- og T-tester er signifikansnivået satt til 5 % ($\alpha \leq 0,05$), altså 95% konfidensintervall.

5 Resultater

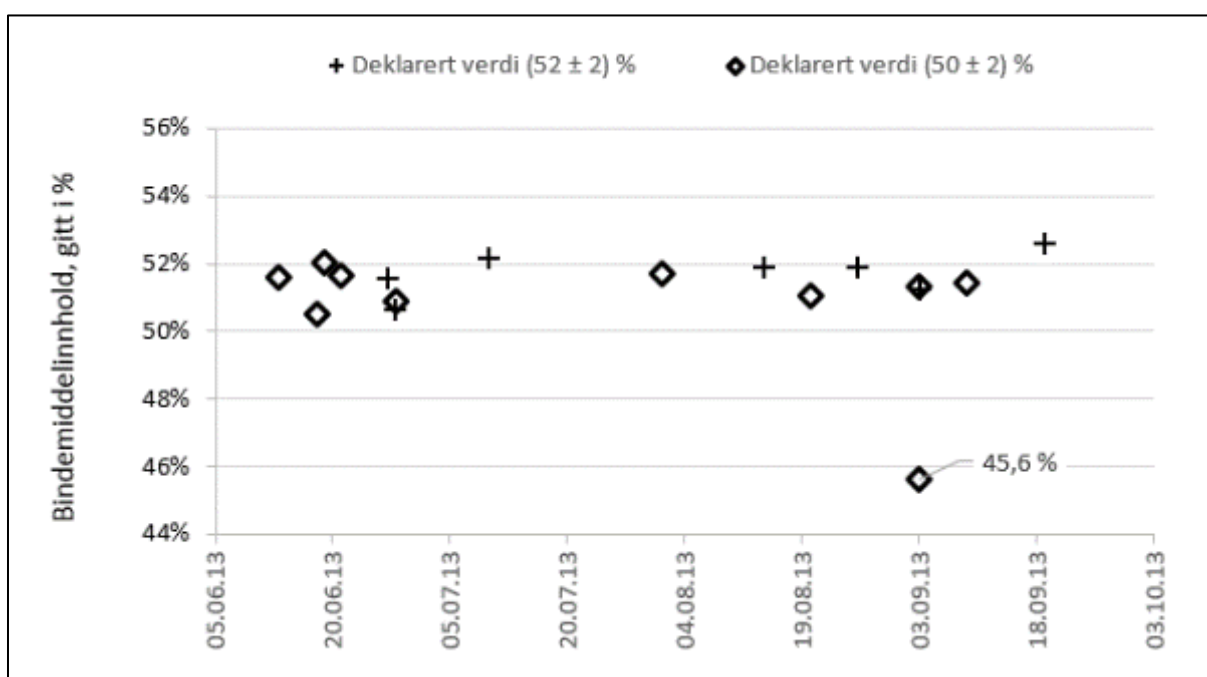
Informasjon og resultater for flaskeprøver av emulsjon og for teststrekningene er samlet i henholdsvis vedlegg 1 og 2.

5.1 Flaskeprøver av emulsjon

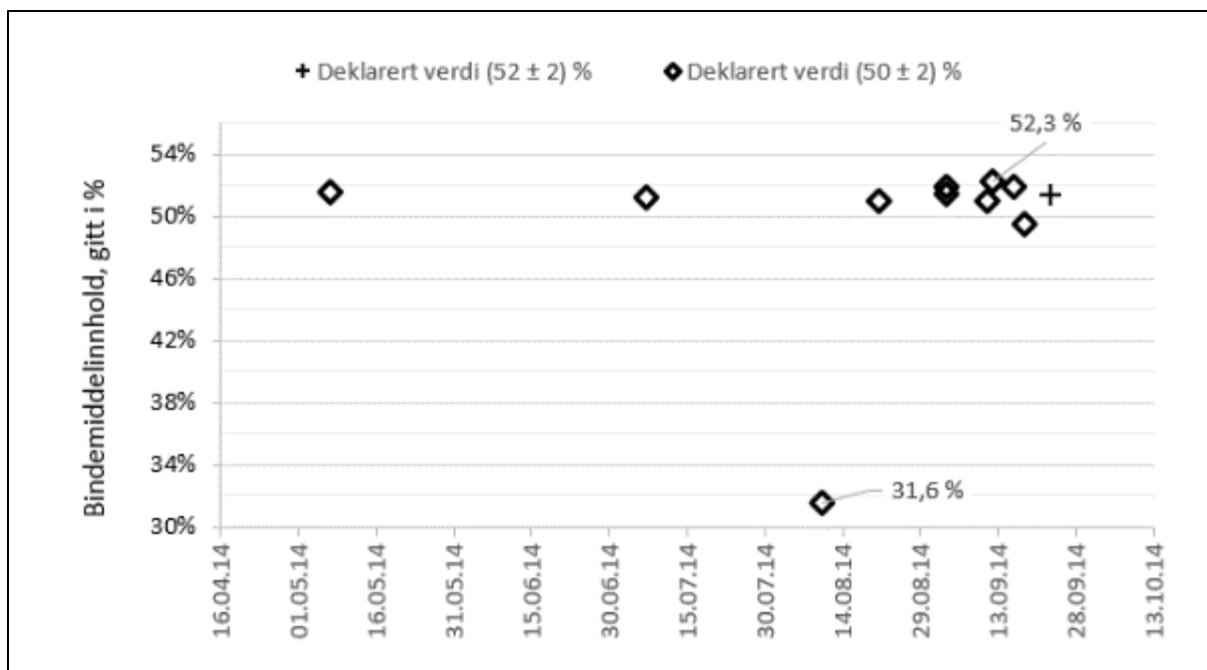
5.1.1 Restbindemiddel etter inndamping

I løpet av sesongene i 2013 og 2014 ble det tatt inn henholdsvis 17 og 11 flaskeprøver av emulsjon, fortrinnsvis tatt ut fra tanken på limbilen. Totalt er 5 typer klebeemulsjoner, hvorav 4 bitumenemulsjoner og 1 polymermodifisert emulsjon, fra totalt 4 forskjellige produsenter representert. Prøveuttakene strekte seg over en tidsperiode fra 13. juni til 9. oktober i 2013 og fra 7. mai til 23. september i 2014. Emulsjonene ble forbehandlet og testet som beskrevet i kapittel 4.1.

Resultater for bindemiddelinhold i emulsjoner tatt ut i 2013 og 2014 er vist i henholdsvis Figur 13 og Figur 14.



Figur 13 Bindemiddelinhold, sortert etter uttaksdato, for 4 typer emulsjoner fra 4 forskjellige produsenter over en tidsperiode fra 13. juni til 19. september i 2013.



Figur 14 Bindemiddelinhold, sortert etter uttaksdato, for 4 typer emulsjoner fra 3 ulike produsenter over en tidsperiode fra 7. mai – 23. september 2014.

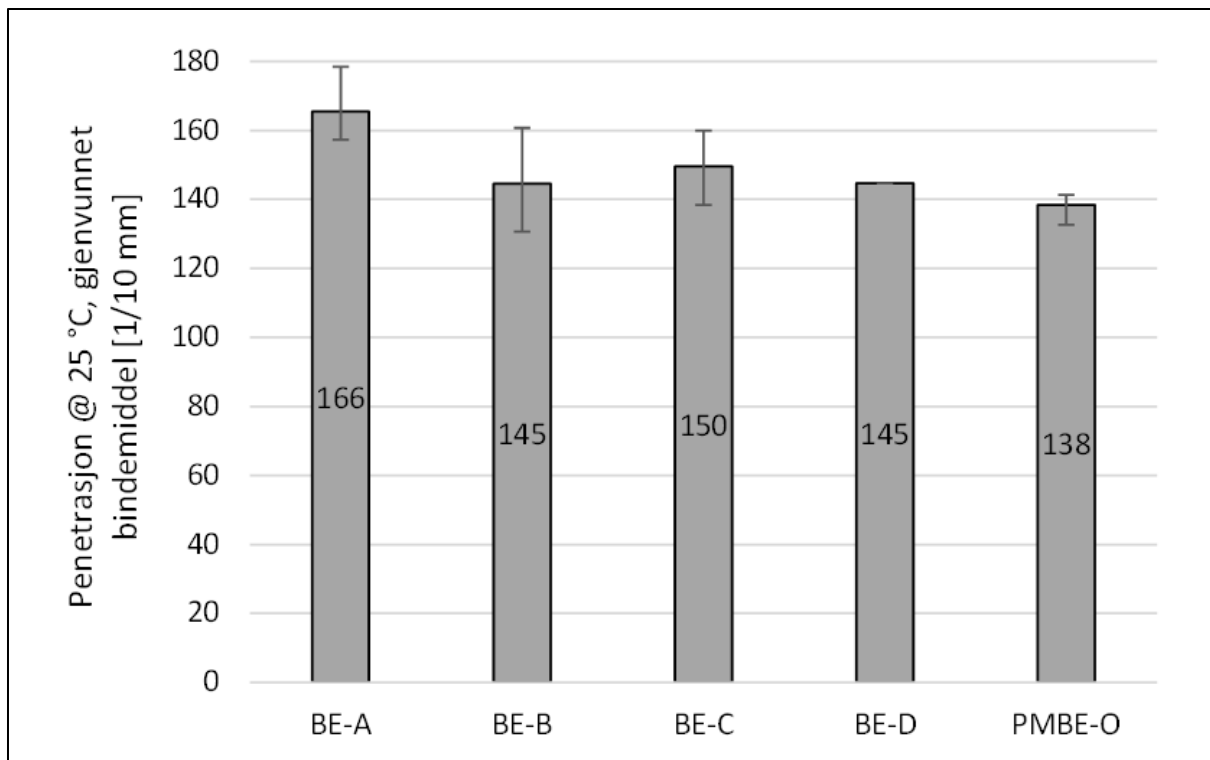
Emulsjonen som er betegnet bitumenemulsjon A var deklart med $(52 \pm 2) \%$ bindemiddelinhold. Samtlige av de målte verdiene for denne emulsjonen ligger innenfor deklart verdi. De øvrige emulsjonene er deklart med $(50 \pm 2) \%$ bindemiddelinhold.

Av de 17 prøvene som ble undersøkt i 2013, ble det avdekket ett avvik, hvor bindemiddelinholdet ble målt til 45,6 % på en emulsjonsprøve med deklart verdi på $(50 \pm 2) \%$. Denne prøven ble tatt ut som følge av mistanke om fortynnet emulsjon, da asfaltkontrolløren observerte at lokket på tanken hadde stått åpen over natta i sterkt regnvær. Resterende målinger lå innenfor deklarte verdier, og vanligvis i øvre område av deklart verdi.

Av de 11 prøvene som ble undersøkt i 2014, ble det avdekket ett betydelig avvik, med målt verdi på 31,6 % for en emulsjonsprøve med deklart verdi på $(50 \pm 2) \%$. Asfaltkontrolløren tok prøve av denne emulsjonen som følge av mistanke om at emulsjonen hadde overvintret på tanken fra året før. Entreprenøren som utførte klebingen har ikke gitt noen forklaring på avviket. Det ble også avdekket ett mindre avvik på 52,3 % for en emulsjonsprøve med deklart verdi på $(50 \pm 2) \%$. +0,3 % vurderes i utgangspunktet som et ubetydelig avvik i denne sammenhengen, men kan samtidig være et tegn på en begynnende separasjon.

5.1.2 Stivhet på bindemiddel gjenvunnet fra emulsjon

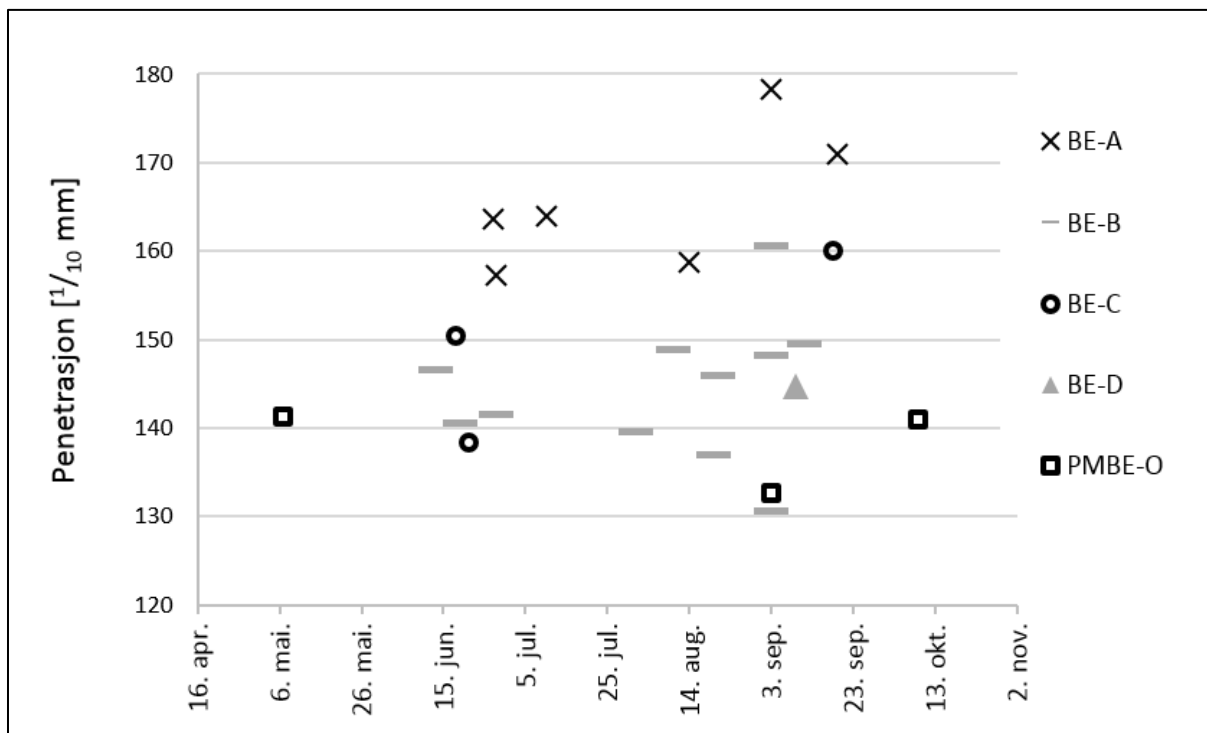
Stivhet på gjenværende bindemiddel etter fordamping av vannet i emulsjonen er målt ved penetrasjon med nål ved 25 °C i henhold til NS-EN 1426. Gjennomsnittsverdier for hver emulsjon er vist i Figur 15, og enkeltmålinger som funksjon av uttaksdato er vist i Figur 16.



Figur 15 Stivheten målt på bindemiddel gjenvunnet fra emulsjon ved fordamping av vann. Gjennomsnittsverdier med variasjonsbredde (dvs høyeste og laveste måling).

t-test viser at emulsjon A er signifikant mykere enn de andre emulsjonene.

For den emulsjonen det er flest prøver av, bitumenemulsjon B, ser det ut til at spredningen i resultatene øker utover i sesongen, hvor både det stiveste og det mykeste resultatet er tatt ut på høsten. For bitumenemulsjon A ser det ut til at prøver tatt ut på høsten (fra og med september) er mykere enn de fra tidligere i sesongen.



Figur 16 Stivheten målt på bindemiddel gjenvunnet fra emulsjon ved fordamping av vann. Diagrammet viser data for både 2013 og 2014, sortert etter uttaksdato.

5.2 Mengde klebemiddel påført, målt på veg

5.2.1 Mengde emulsjon kontra mengde restbindemiddel påført

Bildet i Figur 17 ble tatt under den første feltundersøkelsen. Bildet viser hvordan emulsjonen ble forstøvet under utsprøyting fra denne limbilen. Denne typen utstyr sikrer en jevn fordeling av klebemiddelet på underlaget, samtidig som en god del av vannet fordampes allerede før emulsjonen treffer bakken. Dette skapte umiddelbart bekymring knyttet til mulig avvik mellom mengde emulsjon målt på utlagt plate kontra mengde sprøytet ut fra limbilen. Et annet aspekt er at flere av limbilene hadde varm emulsjon på tanken. Temperaturene variere fra 25 °C til 60°C. Høye temperaturer på emulsjonen som sprøytes ut, bidrar til raskere brytning og fordamping av vann.



Figur 17 Denne sprøytebilen evner å finfordele emulsjonen særdeles godt. Dette sikrer en jevn fordeling av klebemiddelet på underlaget, samtidig som en god del av vannet fordamper allerede før emulsjonen treffer bakken.

Alle tiltak som fører til at vannet fra emulsjonen damper raskere av veien, er fordelaktig for bindingen mellom asfaltlagene, og bør derfor oppmuntres. Det ble derfor utført parallelle målinger av mengde emulsjon (ref. kapittel 4.2.2) og mengde restbindemiddel påført (ref. kapittel 4.2.1). Sammen med resultater for andel bindemiddel i de aktuelle emulsjonene, målt på flaskeprøver tatt fra limbiltanken (ref. kapittel 4.1), kunne mengde emulsjon funnet ved hver av de to metodene sammenlignes. Resultatene er gitt i Tabell 4.

Tabell 4 Tabellen viser resultater for kontroll av klebing på 4 strekninger.

	Bindemiddel [kg/m ²] ¹	Andel bindemiddel ²	Beregnet Emulsjon ³ [kg/m ²]	Målt Emulsjon ⁴ [kg/m ²]	% forskjell ⁵
Strekning I	0,083	51,1 %	0,162	0,159	-2 %
Strekning II	0,087	51,4 %	0,169	0,161	-5 %
Strekning III (forstøvet)	0,090	52,2 %	0,172	0,140	-19 %
Strekning IV (sol og 30°C)	0,080	51,9 %	0,154	0,096	-38 %

¹ Mengde bindemiddel, veid etter fordamping av vannet fra emulsjonen

² Andel bindemiddel i emulsjonen målt på flaskeprøver tatt fra limbiltanken.

³ Mengde emulsjon beregnet fra målt mengde bindemiddel og målt andel bindemiddel.

⁴ Målte verdier for påsprøytet mengde emulsjon.

⁵ % forskjell mellom resultatene for mengde emulsjon når målingen er utført på emulsjon kontra på bindemiddel.

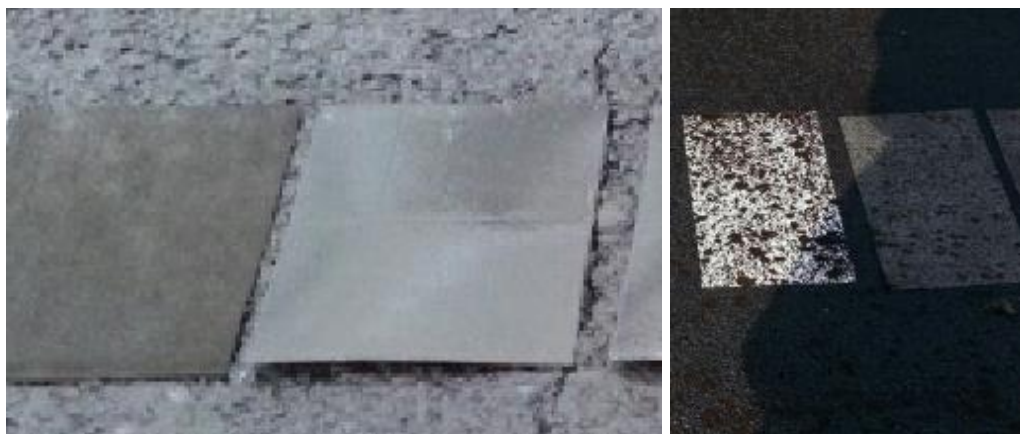
Resultatene i Tabell 4 viser at 2 av 4 strekninger resulterer i en moderat lavere mengde emulsjon, på 2 % og 5 %, når mengde emulsjon er basert på målt mengde emulsjon kontra når mengde emulsjon beregnes fra mengde bindemiddel og % bindemiddelinhold. Bildene i Figur 18 viser hvordan platene og vegoverflaten så ut etter at sprøytebilen hadde passert på disse to strekningene.

Strekning III ble limt med limbilen som er vist i Figur 17. Her ble mengde emulsjon signifikant lavere enn mengde restbindemiddel skulle tilsi, med en forskjell på 19%.

Strekning IV ble limt i ett strålende sommervær. Det var stekende sol og overflatetemperaturen på underlaget ble målt til 30°C. I tillegg oppstod det logistikkproblemer som førte til at fiberdukene som skulle testes for mengde emulsjon ble liggende noen minutter før de ble pakket inn i tette plastposer. For denne strekningen ble resultatet 38 % lavere som følge av vanntap. Bildene i Figur 19 viser hvordan platene og vegoverflaten så ut etter at klebingen var utført.



Figur 18 Bildene viser de to strekningene som gav henholdsvis 2 % (til venstre) og 5 % (til høyre) lavere resultat når mengde emulsjon ble målt kontra når mengde emulsjon ble beregnet fra målt bindemiddelandel og målt mengde bindemiddel (etter fordamping av vann).

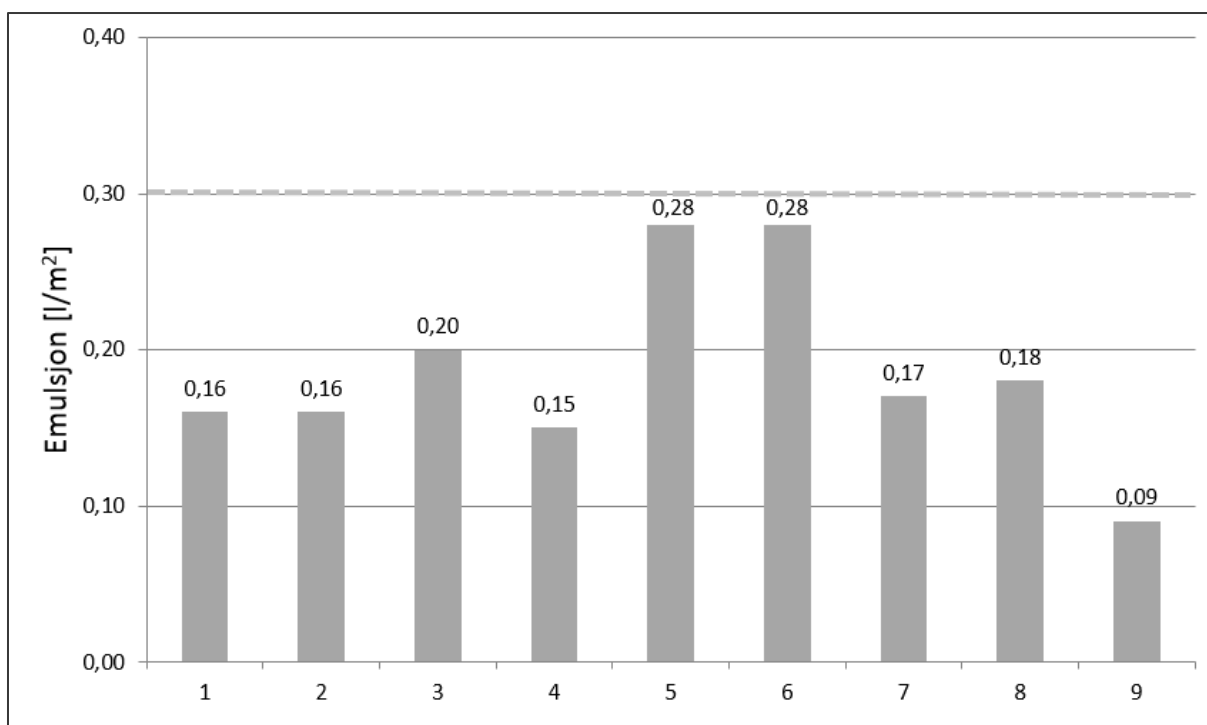


Figur 19 Bildene viser de to strekningene som gav 19 % (til venstre) og 38 % (til høyre) lavere resultat når mengde emulsjon ble målt kontra når mengde emulsjon ble beregnet fra målt bindemiddelandel og målt mengde bindemiddel (etter fordamping av vann).

5.2.2 Kontroll av mengde klebemiddel påført på veg

Gjennom sesongen i 2013 ble det gjennomført kontroll av mengde klebemiddel påført på til sammen 9 strekninger i Midt-Norge. Utførende entreprenør, enten ved koordinatør eller basen for asfaltlaget, ble varslet om planlagt kontroll flere dager i forvegen. Det ble avtalt med limbilsjåførene at de skulle kjøre slik de vanligvis gjør, for å oppnå representative resultater for mengde klebemiddel påført. Det ble målt både mengde restbindemiddel, som angitt i kapittel 4.2.1, og mengde emulsjon, som angitt i kapittel 4.2.2. Resultatene som er oppgitt er basert på det høyeste resultatet, som var måling av mengde restbindemiddel. Det påpekes at en svakhet ved denne metoden er at mengde påført ble målt i en bredde på 35 cm mellom hjulsporene. Det er altså ikke målt totalt mengde påført i hele vegbredden. Bortsett fra enkelte tette dyser, var det ikke synlige forskjell i bredden, men dette er ikke målt kvantitativt i dette prosjektet. Resultatene av målt mengde klebemiddel påført er vist i Figur 20. For å kunne sammenligne med gjeldende krav, er målte verdier gitt i liter emulsjon per kvadratmeter.

Ingen av de undersøkte strekningene lå innenfor kravet på minimum 0,30 liter emulsjon per kvadratmeter.



Figur 20 Grafisk fremstilling av mengde emulsjon påført for 9 undersøkte strekninger.

Det ble ofte observert rengjøring av dyser ved ankomst på varslede klebekontroller. Dette forgår gjerne med propanbrenner, som vist på bildet i Figur 21.

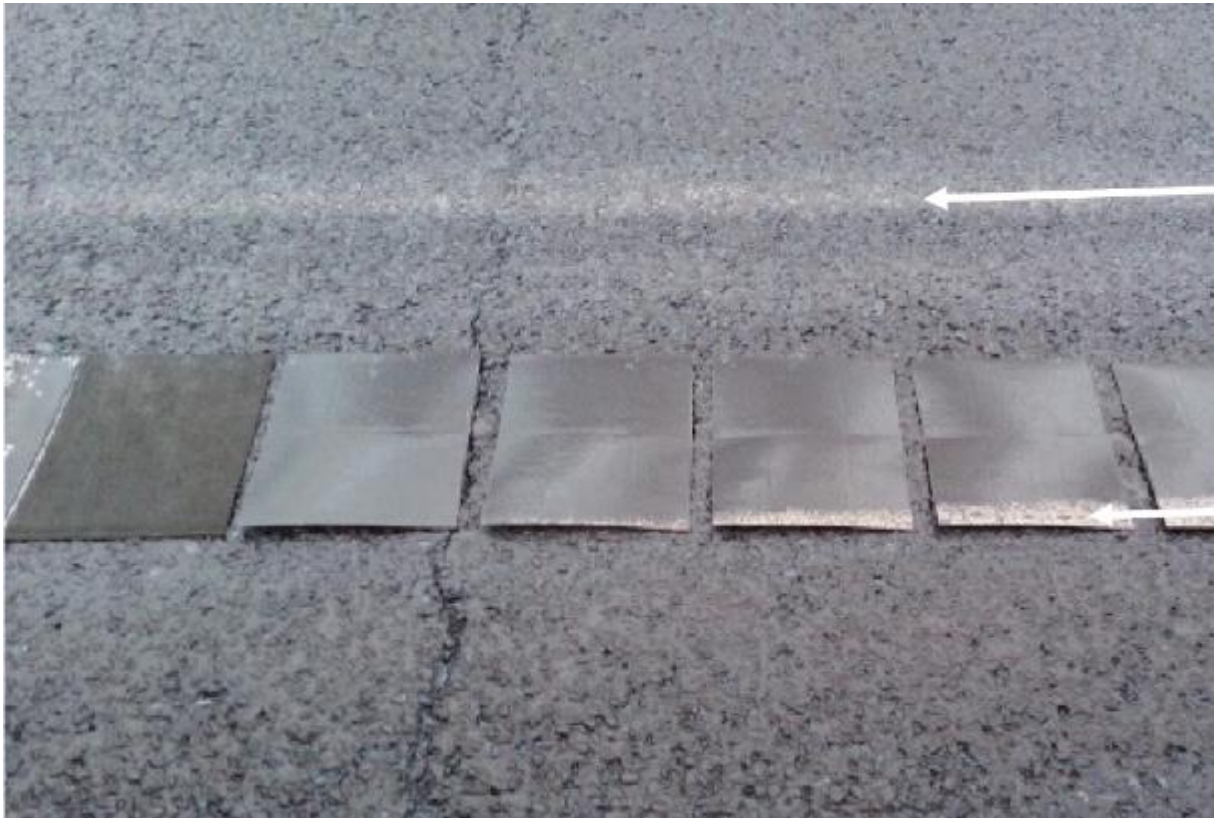
Figur 22– Figur 24 viser et utvalg av bilder tatt på feltoppdrag i dette prosjektet.



Figur 21 Rensing av dyser med propanbrenner.



Figur 22 Bildet viser ett eksempel på hvordan det kan se ut når mengden er så lav at dysene ikke gir tilstrekkelig overlapp, og spredningen blir ujevn. Her var det planlagt å lime med 0,15 liter emulsjon per m², men målt verdi viste at det ble 0,073 liter emulsjon per m². Underlaget her er frest. Denne strekningen ble forkastet og inngår ikke i datasettene.



Figur 23 Bildene viser et tilfelle med 2 tette dyser.



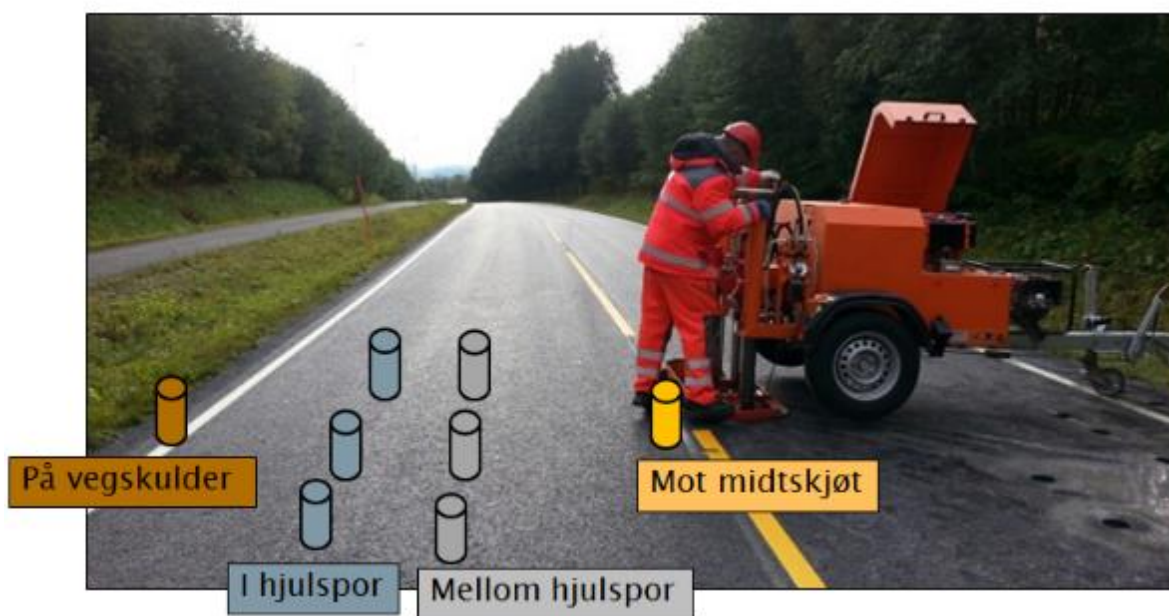
Figur 24 Bildet viser to typer prøveplater. Mengden er 0,28 l emulsjon/m². Underlaget er nylagt asfalt.

5.3 Bindingsstyrke

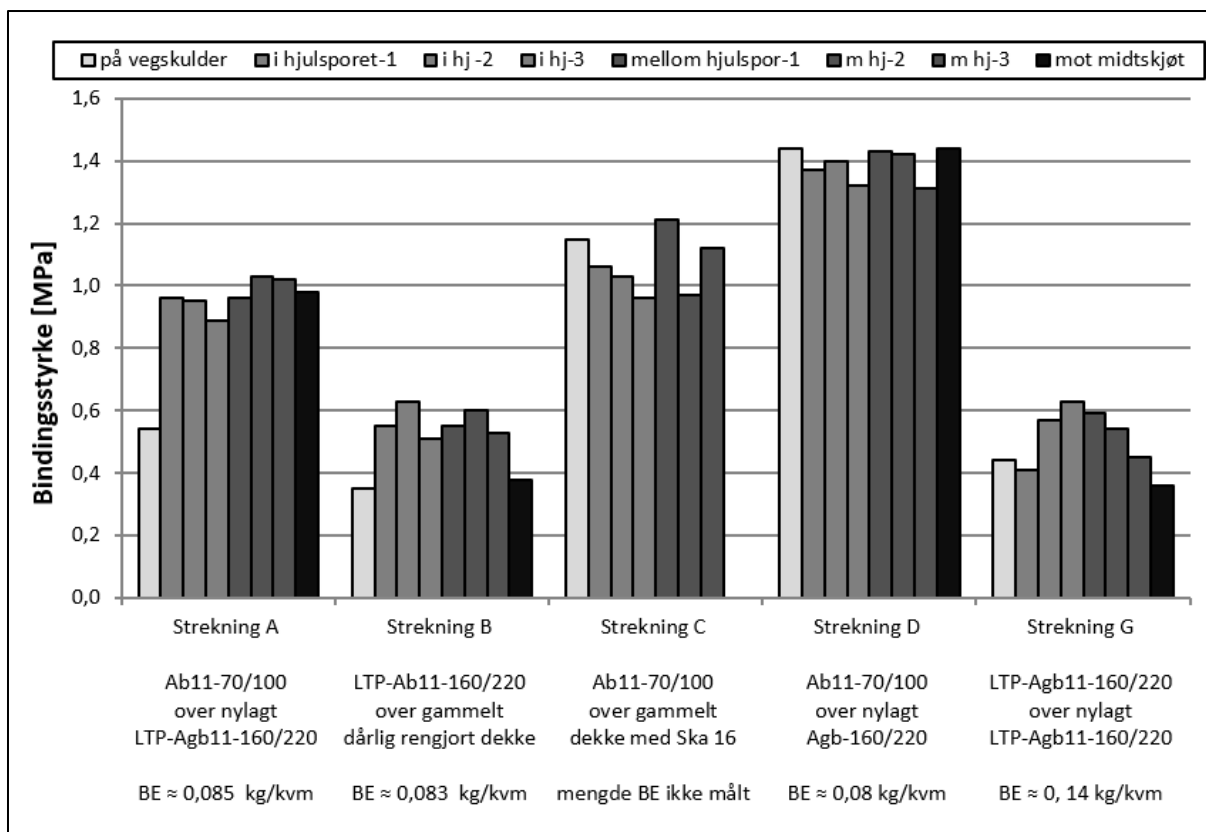
5.3.1 Innledende detaljert studie av 5 strekninger

For 5 av de strekningene som inngår i prosjektet, ble det tatt ut borkjerner fra hele vegbredden. Planen var å få tatt ut en borkjerne på vegskulderen, tre i ytre hjulspor, tre mellom hjulspor og en inn mot midtskjøten. Prøveuttaket er illustrert på bildet i Figur 25. Hensikten var å få undersøkt hvordan bindingsstyrken varierer på tvers av vegen, er den spesielt dårlig inn mot midtskjøten og ute på vegskulderen. Hvilken betydning har det for måleresultatet om prøvene er tatt i eller mellom hjulspor? Hvor stort er standardavviket, og hvor mange prøver bør tas for å få en akseptabel måleusikkerhet? Resultatene er gitt i Figur 26.

Ved vurdering av resultatene for målt bindingsstyrke, ble det tatt utgangspunkt i det sveitsiske kravet på $\tau \geq 0,85$ MPa. Med unntak av borkjerne tatt på vegskulder på strekning A, ligger målte verdier for strekning A, C og D over 0,85 MPa. For strekning B og G ligger imidlertid resultatet for samtlige borkjerner under 0,85 MPa. Hva som skiller strekningene med god bindingsstyrke fra strekningene med dårlig bindingsstyrke framgår av beskrivelsene som følger.



Figur 25 Illustrasjon av planlagt prøveuttak for testing av bindingsstyrke i hele vegbredden.



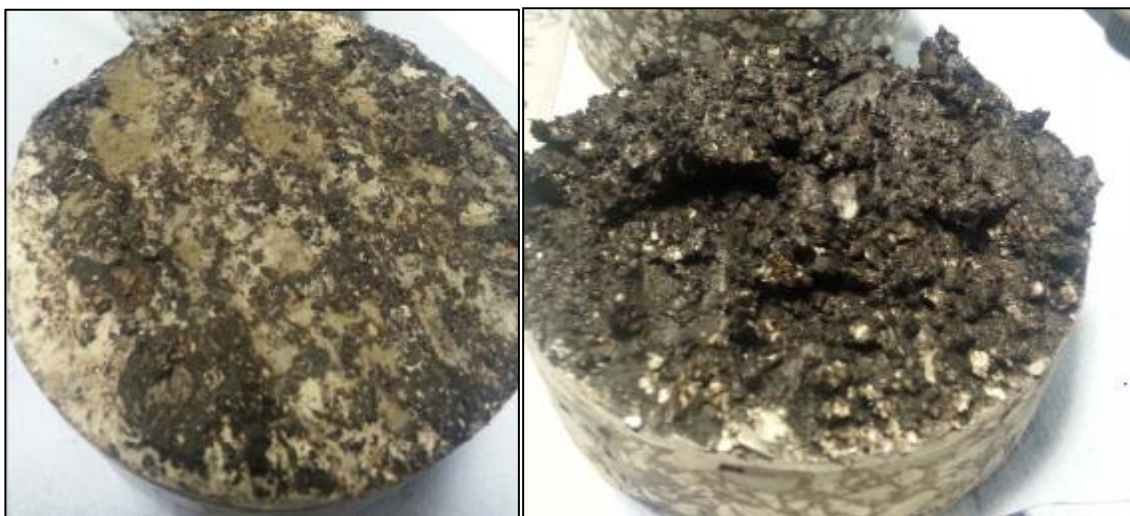
Figur 26 Grafisk framstilling av bindingsstyrke over hele vegbredden for 5 ulike strekninger utført i 2013. Mengde klebemiddel er basert på restbindemiddel. Her er hver søyle en borkjerne.

Strekning A

På strekning A ble mengde klebemiddel og bindingsstyrke målt mellom nylagt oppretting av lavtemperaturprodusert (LTP) Agb 11-160/220 og slitelag av Ab 11-70/100. Arbeidene var utført på dagtid, med overskyet oppholdsvær og anslagsvis 15°C. Målt mengde tilsvarte omtrent halvparten av kravet på 0,3 liter emulsjon per m² (kravet tilsvarer 0,15 kg restbindemiddel per m²). Emulsjonen var medium brytende, og inneholdt mer enn 3% fluks. Til tross for lav mengde klebemiddel, ble bindingsstyrken tilfredsstillende, med unntak av borkjernen som var tatt på vegskulderen. Bruddflaten på denne kjernen var tydelig skitten, til tross for at underlaget var nylagt. For alle de andre borkjernene, kom bruddet i asfaltmassen i opprettingslaget. Bindingsstyrken i selve klebingen kan altså være enda sterkere enn målt verdi tilsier. Bilder fra feltmåling av mengde klebemiddel påført er vist i Figur 27. Bilde av bruddflatene på to av borkjernene etter testing av bindingsstyrke er vist i Figur 28.



Figur 27 Bilder tatt under feltmåling av mengde klebemiddel påført på strekning A. Bildet til venstre viser underlaget rett etter limbilen har passert. Bildet til høyre viser hvor godt emulsjonen er fordelt på en hvit papp-plate.



Figur 28 Bildet til venstre viser nedre bruddflate på borkjerne tatt ute på vegskulderen på strekning A. Det er tydelig at underlaget var skittent da det nye dekket ble lagt. Bildet til høyre viser hvordan bruddet gikk i asfaltmassen i opprettingslaget på borkjerne tatt mellom hjulspor på strekning A.

Strekning B

På strekning B var det klebet med en medium brytende emulsjon på ett gammelt dekke før legging av et slitelag med lavtemperaturprodusert Ab11-160/220. Arbeidene var utført på dagtid, med overskyet oppholdsvær og anslagsvis 15°C. Målt mengde klebemiddel påført tilsvarte omtrent halvparten av kravet. Lave verdier på målt bindingsstyrke viser at det var dårlig heft mellom lagene. Bildene i Figur 29 viser hvordan vegbanen så ut før og etter påføring av klebeemulsjonen på denne strekningen. Det gamle underlaget var ikke rengjort

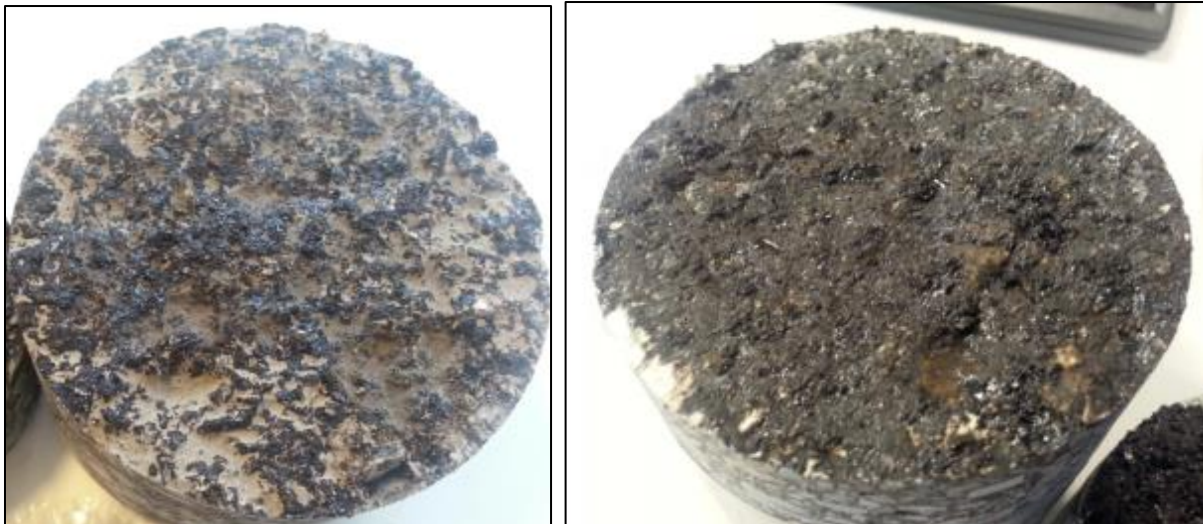
før dekkelegging, og, i tillegg til at vegskulderen var spesielt skitten, var det også resten av vegbanen litt uren. Bildene i Figur 30 viser hvordan klebemiddelet klistret seg til bildekkene og dermed ble fjernet fra overflatene der asfaltbilene og utleggeren kjørte i klebingen. Bildene ble tatt i oppstarten, og problemet ble mindre etter hvert. Mengdemåling og borkjerner ble tatt mer enn hundre meter forbi punktet der dette bildet ble tatt. Bruddflatene på borkjerner viste seg å være våte etter testing av bindingsstyrke. Dette til tross for at borkjernerne hadde stått 10 dager i romtemperatur før testingen ble utført. Bildene i Figur 31 viser hvordan bruddflatene for to av borkjernerne for denne strekningen så ut etter testing. Det første forsøket på å ta ut prøve fra vegskulderen på denne strekningen endte med en 4-delt «kjerne», som vitnet om dårlig heft mellom lagene på vegskulderen gjennom flere generasjoner med dekkelegging. Det kan være flere potensielle årsaker til svak bindingsstyrke mellom lagene på denne strekningen. Dårlig rengjøring og lite effektiv fjerning av overskuddsvann fra emulsjonen som følge av både sen brytningshastighet på emulsjonen og redusert effekt av avdampingen som følge av lavtemperaturprodusert asfalt i dekket som ble lagt over.



Figur 29 Bilder fra strekning B, rett før og rett etter klebingen er utført.



Figur 30 Bildene viser hvordan emulsjonen festet seg til dekkene og det gamle underlaget ble helt blottlagt i hjulsporene.



Figur 31 Borkjerner fra Strekning B: Bildet til venstre viser at det er mye skitt på bruddflaten på borkjerne tatt fra vegskulderen. Bildet til høyre viser bruddflaten til en borkjerne tatt i ytre hjulspor. Denne overflaten er både litt skitten og litt våt.



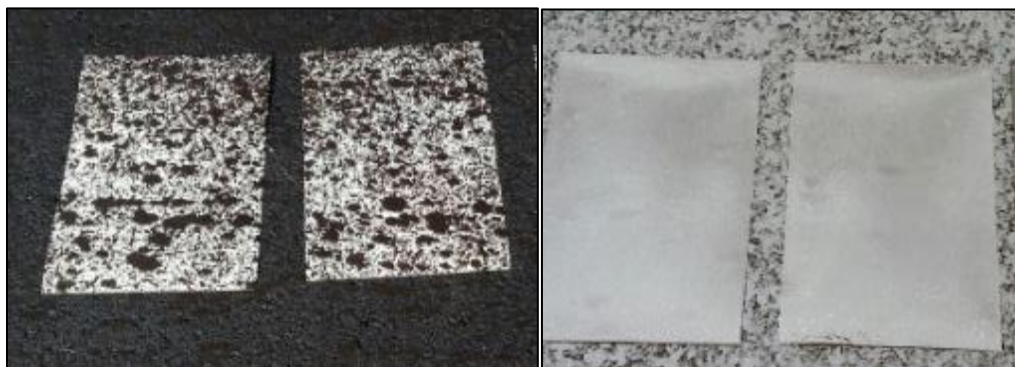
Figur 32 Den første prøven som ble forsøkt boret ut på vegskulderen på strekning B kom ut i 4 biter/lag.

Strekning C

På strekning C ble det klebet med en medium brytende emulsjon med mer enn 3% fluks. Undersøkelsene ble gjort mellom det gamle dekket (Ska16) og oppretting med Ab11-70/100 (+ slitelag over der igjen). Det ble ikke målt mengde påført i dette limlaget, men flere målinger utført med samme limbil og samme sjåfør gjør at det kan antas at mengden lå betydelig under kravet på 0,3 liter emulsjon per m². Målt verdier for bindingsstyrke viste at det var god heft mellom lagene. Dette er en flere-felts veg, og den prøven som heter vegskulder, er egentlig inn mot midtrabatten.

Strekning D

På strekning D ble det klebet med en medium brytende emulsjon med mer enn 3 % fluks, mellom nylagt oppretting av Agb11-160/220 og slitelag av Ab11-70/100. Arbeidene ble utført i strålende sol og mer enn 25 °C. Mengde klebemiddel påført tilsvarer omtrent halvparten av kravet på 0,3 liter emulsjon per m², men bindingsstyrken ble meget god. Feil ved monteringen av sprøyteutstyret førte til at emulsjonen dryppet ned på underlaget i store dråper på denne strekningen. Bildene i Figur 33 viser hvite prøveplater fra to strekninger med omtrent lik mengde (0,080 kontra 0,085 kg restbindemiddel/ m²) av samme type emulsjon. Bildet til venstre ble tatt på strekning D, og viser hvordan emulsjonen ble påført i store dråper/klatter på grunn av feil innstilling av sprøyteutstyret. Bildet til høyre viser hvordan omtrent samme mengde emulsjon blir fordelt når sprøyteutstyret finfordeler emulsjonen i en dusj av ørsmå dråper (strekning A). Forskjellen blir feite dråper med udekkede partier kontra heldekkende tynn film. Det er interessant å se på hvilken effekt den ene og andre sprøyteeffekten har på bindingsstyrken, men en slik sammenligning er ikke egnet for disse to strekningene. For det første var underlaget nylagt på begge strekningene, hvilket betyr at alt steinmateriale allerede var dekket med ferskt bitumen, og dermed ikke har samme kritiske behov for klebing. For det andre var værforholdene ganske forskjellig, og viktigst av alt, så gikk bruddet delvis i asfaltmassen for strekning A, hvilket betyr at målt verdi ikke viser bindingsstyrken i klebingen mellom lagene.



Figur 33 Bilder av hvite prøveplater fra to strekninger med omtrent lik mengde (0,080 kontra 0,085 kg restbindemiddel/m²) av samme type emulsjon, men med forskjellig sprøyteutstyr. Bildet til venstre er fra strekning D, til høyre fra strekning A.

Under første forsøk på å måle mengde klebeemulsjon påført på strekning D, oppstod det en misforståelse mellom den utenlandske limbilsjåføren og prøvetakeren. Dette førte til at

første forsøk ga et testområde som var klebet rikelig med 3 overfarer. Mengden ble målt til 0,2 kg restbindemiddel per m². Det ble tatt ut borkjerner og målt bindingsstyrke for dette prøvefeltet også (omtalt som strekning F). Disse resultatene er omtalt i innledningen til kapittel 5.3.2. Det viste seg at bindingsstyrken ble betydelig lavere for det prøvefeltet med størst mengde klebeemulsjon, og det ble observert noe vann på bruddflatene etter testing. Ett år senere ble det tatt ut nye borkjerner både fra strekning D og F. Disse resultatene er omtalt i kapittel 5.3.5.

Strekning G

På strekning G ble undersøkelsene utført mellom to nylagte dekker, med Agb 11-160/220 i både opprettingen og i slitelaget. Arbeidene ble utført på dagtid, med lett, sporadisk yr og omtrent 15 °C. Været ble i utgangspunktet ikke ansett som så dårlig at det skulle få avgjørende betydning for klebingen og heften. Klebingen ble utført med en medium brytende emulsjon, som ikke så ut til å bryte mot det nylagte underlaget før det nye dekket ble lagt. Målt mengden lå tett opp mot kravet på 0,3 liter emulsjon per m². Bilder tatt under feltmålingene er vist i Figur 34. Ved testing av bindingsstyrke, ble det observert overraskende store mengder vann på bruddflatene, samtidig som resultatene ble relativt lave. Resten av serien ble derfor satt til lagring i romtemperatur i en måned før resten av kjernene ble testet. Hele serien fikk imidlertid fortsatt lav bindingsstyrke og det var fortsatt vann på bruddflatene. Dette er forsøkt vist med bildene i Figur 35. For denne strekningen ble det også tatt ut borkjerner ett år senere, se kapittel 5.3.5. For borkjerner tatt mellom hjulspor var bindingsstyrken lavere ett år senere.



Figur 34 Bildet til venstre viser to av prøveplatene etter at emulsjonen er påført. Bildet til høyre viser hvordan brun ubrutt emulsjon renner ned langs kanten av veggen etter at asfalten er lagt. Veggen var rimelig flat, og omfanget av denne avrenningen var begrenset.



Figur 35 Bildene viser hvordan bruddflatene på borkjernene tatt ut på strekning G så ut etter testing av bindingsstyrke. Bildene viser at det er forekommer noe vann på overflaten, selv etter lagring i en måned i romtemperatur fra prøveuttak til testing.

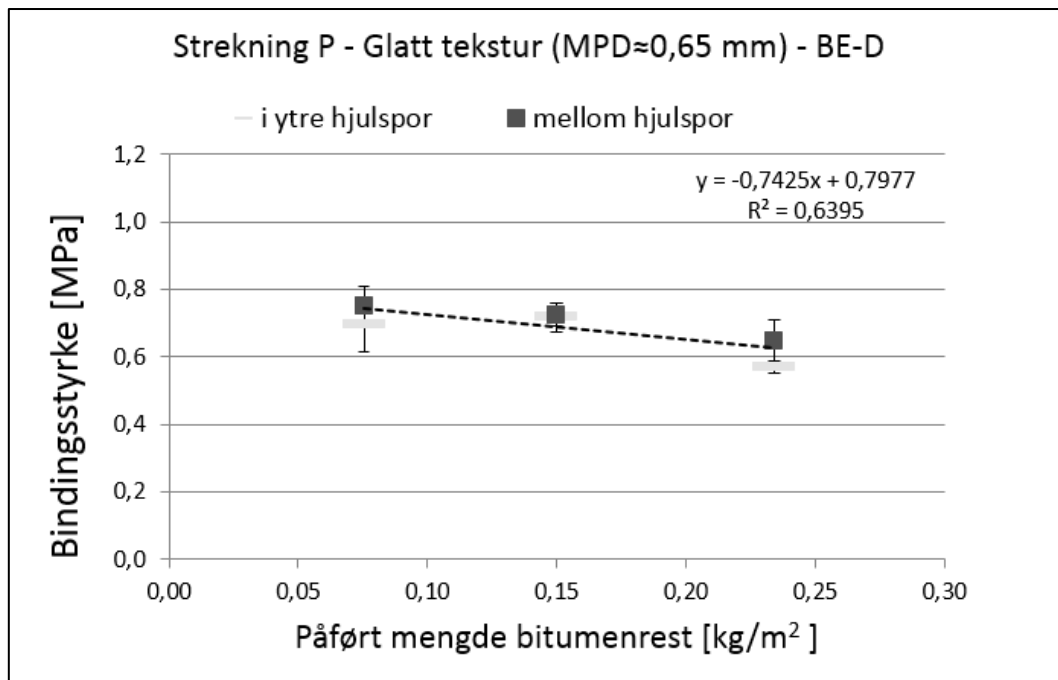
5.3.2 Variert mengde klebemiddel på underlag med variert teksturdybde

For å studere hvilken betydning mengde klebemiddel har på bindingsstyrken, ble det planlagt ett forsøk med kontrollerte mengder. Forsøksoppsettet innebærer 3 nivåer for påført mengde restbindemiddel, to nivåer for teksturdybde og er gjennomført for to emulsjoner (A og D). I tillegg ble en tredje emulsjon (B) påført i 3 ulike mengder på frest underlag. Alle underlagene var gamle dekker. En nærmere beskrivelse av forsøksoppsettet og utførelsen er gitt i kapittel 4.4. Tabellverdier er gitt i vedlegg 2.

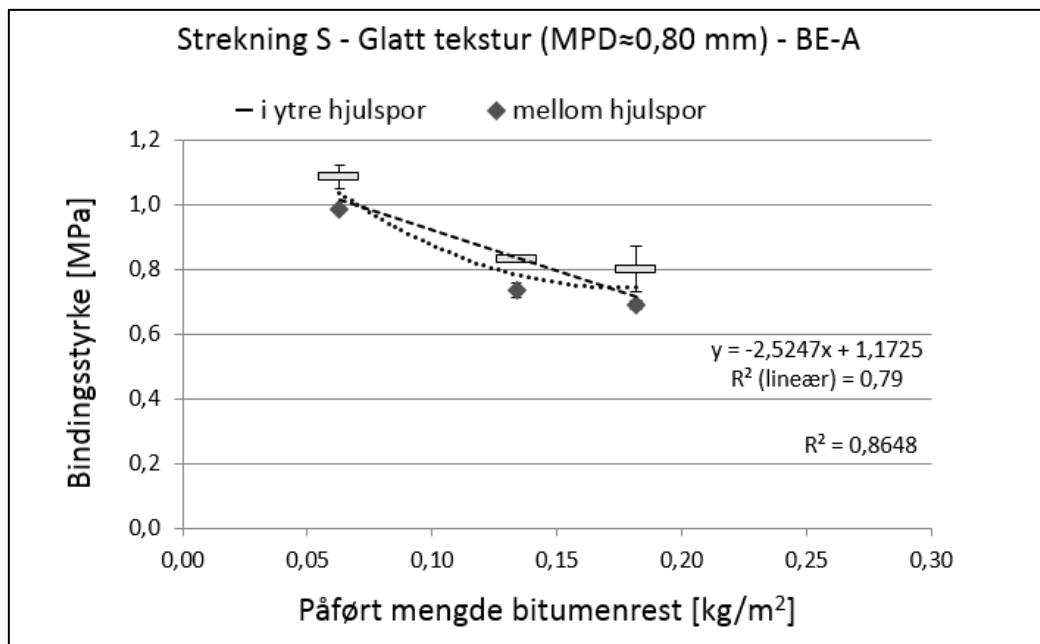
Figur 36 – Figur 39 viser målt bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel for prøver tatt i og mellom hjulspor for hver av strekningene. Trendlinjene er beregnet på grunnlag av kjernene (ikke prøvene), hvilket betyr at det inngår mellom 4 og 6 målte bindingsstyrker for hver av de tre påføringsmengdene, altså 12 og 18 enkeltmålinger for hver regresjonsanalyse.

Korrelasjonsanalysene viser at det er negativ korrelasjon mellom bindingsstyrke og mengde klebemiddel for de to strekningene med glatt underlag. Dette betyr at bindingsstyrken blir svakere når mengde klebemiddel økes. Den negative korrelasjonen er sterkest for strekning S med emulsjon A. Strekning S har generelt litt lavere mengde klebemiddel påført enn strekning P. Bindingsstyrke ved lav mengde er signifikant større enn bindingsstyrke ved medium og høyt nivå av mengde ($p=0,01$). Det er ikke signifikant forskjell mellom bindingsstyrke for medium og høyt nivå av mengde. For strekning P klebet med emulsjon D er den negativt korrelasjonen svakere, og det er ikke signifikant forskjell mellom målt bindingsstyrke for de 3 nivåene av mengde.

For strekningene med lav tekstur på underlaget ligger 5 av 6 prøvefelt under det sveitsiske minimumskravet til bindingsstyrke mellom bindlag og slitelag, som er $T_{maks} > 0,85$ MPa. Prøvefeltet med lavest mengde på strekning S er det eneste feltet med målte verdier innenfor dette kravet. Bare 1 av 6 prøvefelt ligger under det sveitsiske minimumskravet til bindingsstyrke mellom bærelag og bindlag, som er $T_{maks} > 0,65$ MPa. Dette er prøvefeltet med størst mengde restbindemiddel på strekning P.



Figur 36 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel for strekning P.

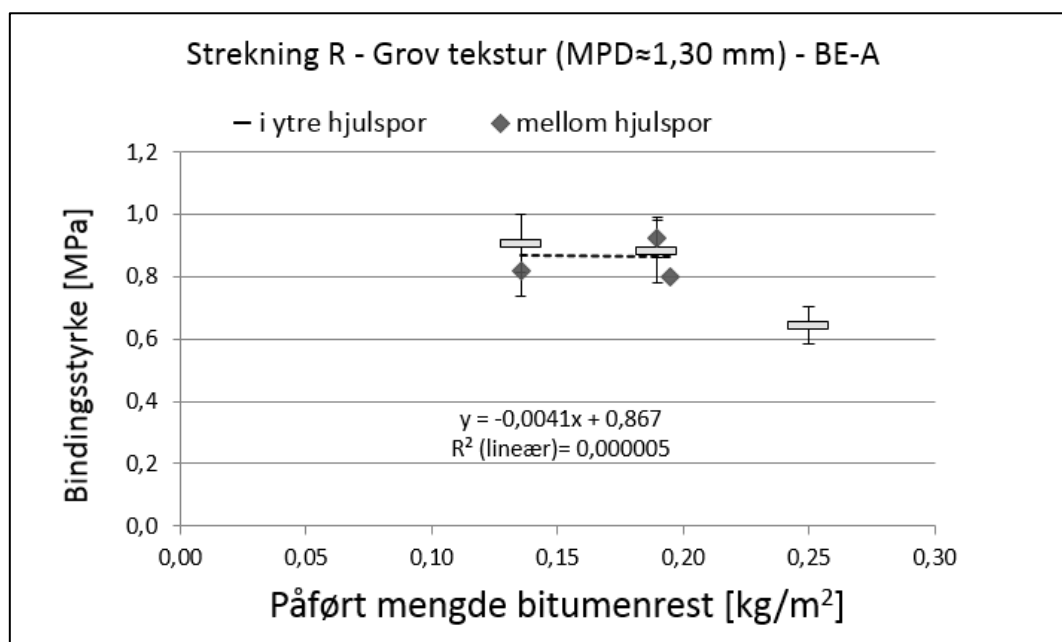


Figur 37 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel for strekning S.

For strekning R, klebet med bitumenemulsjon A på grov tekstur, ble ikke tilsiktede mengder oppnådd, og målte verdier for mengde restbindemiddel i hver ende av prøvefeltene for medium og høy mengde varierte mye. Målte verdier lå på: Lav: 0,147 og 0,123; Medium: 0,178 og 0,201. Høy: 0,215 og 0,175. Snittene ble dermed 0,135, 0,190 og 0,195 kg per m². Her ble farten benyttet til å regulere mengden. Sett i forhold til tilsiktede mengder og mengdene for de andre strekningene, mangler denne strekningen verdier for lav mengde

klebemiddel. I tillegg ble kjernene fra hjulsporet, fra prøvefeltet med tilsiktet høyeste mengde testet med utgangspunkt i feil markering av limlaget. Disse prøvene fikk derfor ikke korrekt resultat, og ble ekskludert. I tillegg til de 3 planlagte prøvefeltene, ble det tatt ut borkjerner i hjulspor i ett felt hvor det ikke ble målt mengde, men hvor mengde visuelt ble vurdert som ekstra høy. Denne prøven er tatt med i Figur 38, og gitt verdi 0,25 kg restbindemiddel/ m², men reell verdi antas å være enda høyere. Denne prøven er ikke tatt med i de statistiske analysene. Uten denne prøven, er det liten forskjell mellom høyeste og laveste mengde klebemiddel på strekning R, og laveste mengde ligger på nivå med tilsiktet nivå for medium mengde. Det er ikke forskjell på bindingsstyrken ved de to nivåene av mengde for denne strekningen.

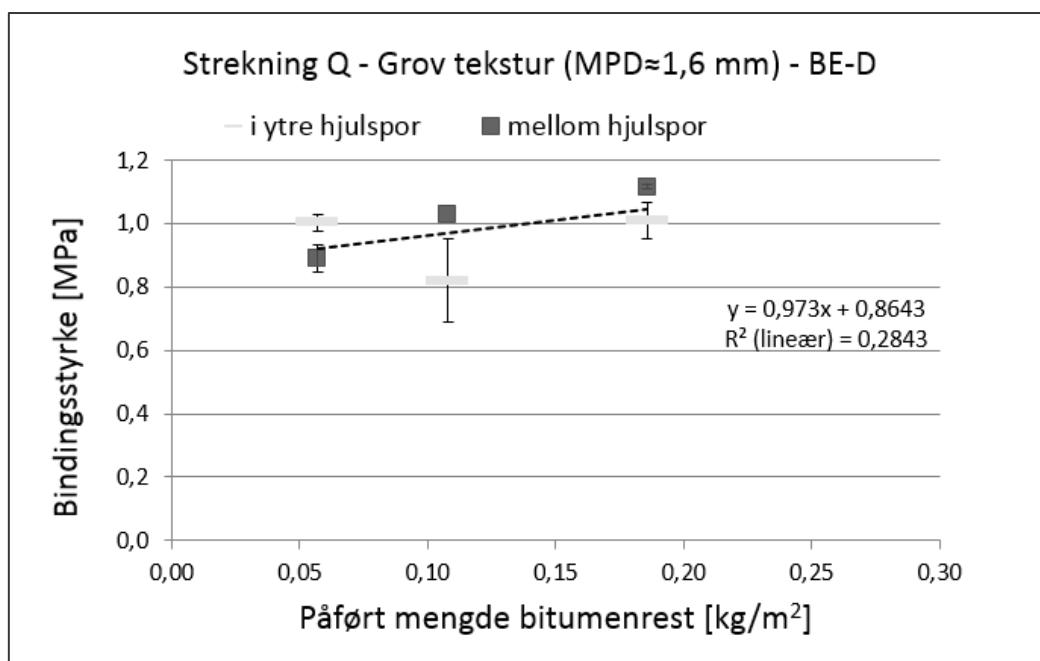
Visuell vurdering av bruddflatene for strekningene med grovt underlag (Figur 38 og Figur 39) tyder på at de eksponerte steinene som stikker opp av dekket, dekkes av ett veldig tynt lag av klebebindemiddel. Det forekommer enkelte knuste steiner i bruddflatene, og på enkelte mindre områder, i groper, ser man urenheter.



Figur 38 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel for strekning R. For denne strekningen ble ikke ønsket mengde påført oppnådd og spredningen på resultatene er derfor ikke optimal.

I motsetning til de andre strekningene, som hadde jevne forhold for alle tre prøvefeltene langs hele teststrekningen, ble prøvefeltene på strekning Q, i mangel av bedre alternativer, plassert rett ved inn- og utkjøringen til ett tankanlegg, samt ved en bussholdeplass. Den saktegående trafikken kan ha påvirket de tre prøvefeltene forskjellig.

For strekning Q, som har grovest tekstur, øker bindingsstyrken når mengden økes. Resultatene spriker mer for denne strekningen enn for de andre. For prøver tatt mellom hjulspor er det sterk positiv korrelasjon, mens for prøver tatt i hjulspor er det ingen/svak korrelasjon. Som sagt var prøvefeltene uheldig plassert i forhold til trafikkbelastning på denne strekningen, og dette må tas med i betraktningen ved vurdering av resultatene.



Figur 39 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel for strekning Q. De to målingene med medium og størst påført mengde restbindemiddel viste seg å ligge i av- og påkjøringen til ett bensindepot.

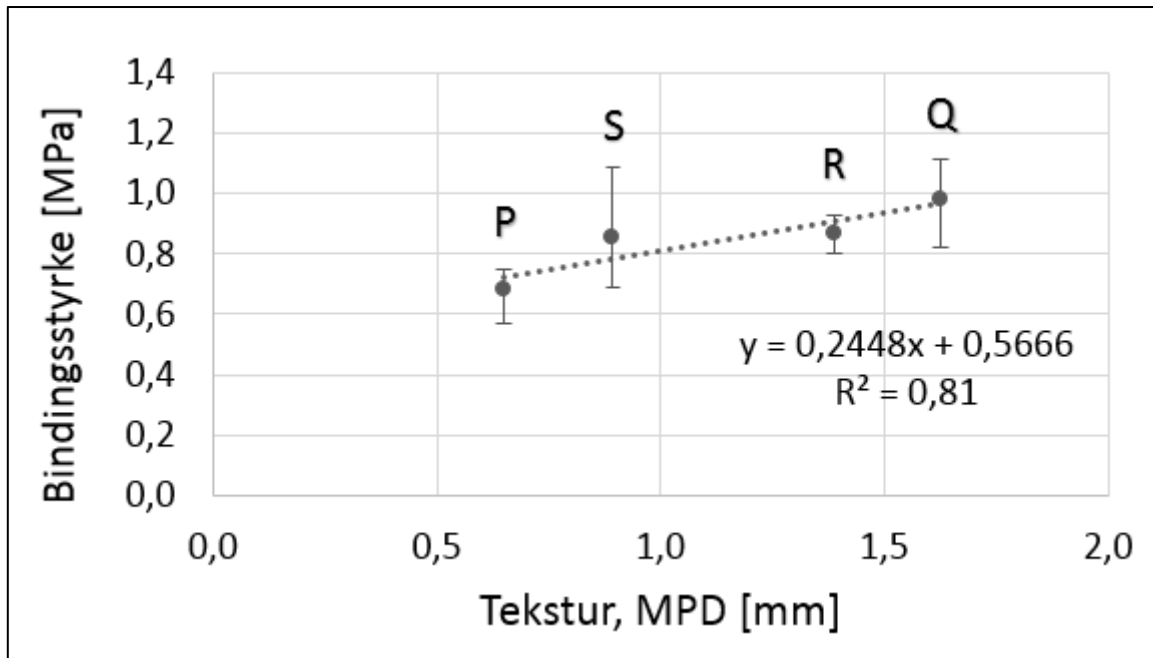
Korrelasjonsanalysen som er gitt i Tabell 5 er basert på lineær korrelasjon basert på alle kjernene, i motsetning til R^2 i Figur 36–Figur 39, som er basert på prøvene.

Tabell 5 Korrelasjon mellom bindingsstyrke og påført mengde klebemiddel for de kontrollerte forsøkene på gammelt underlag (ikke frest).

Korrelasjonskoeffisienter, R	mellom hjulspor	i hjulspor	alle borkjerner
Strekning S, glatt tekstur (MPD≈0,65), BE-A	-0,96	-0,92	-0,88
Strekning P, glatt tekstur (MPD≈0,80), BE-D	-0,74	-0,68	-0,66
Strekning R, grov tekstur (MPD≈1,30), BE-A	+0,38	-0,17	+0,04
Strekning Q, grov tekstur (MPD≈1,60), BE-D	+0,96	+0,12	+0,46

Figur 40 viser bindingsstyrke for hver av de fire strekningene som funksjon av tekstur. Hvert punkt i figuren er gjennomsnittet av alle kjernene fra alle prøvefeltene innenfor den aktuelle strekningen, uavhengig av mengde klebemiddel påført. Det er sterk positiv korrelasjon mellom bindingsstyrke og teksturdybde. Økt tekstur gir økt bindingsstyrke.

T-test viser at strekning P har signifikant lavere bindingsstyrke enn alle de andre strekningene og at strekning Q har signifikant høyere bindingsstyrke enn R. Det er ikke signifikant forskjell mellom hverken S og R eller S og Q. Det er de høye målingene for bindingsstyrken for kjernene fra prøvefeltet med laveste mengde påført på strekning S som er utslagsgivende (se Figur 37).



Figur 40 Gjennomsnittsverdier for bindingsstyrke for alle prøvefeltene (mengdenivåene) for hver av strekningene P, S, R og Q som funksjon av tekstur. Feilfeltet angir høyeste og laveste prøve-resultat på strekningen.

Bildene i Figur 42 – Figur 44 viser bruddflatene etter testing av kjerner tatt mellom hjulspor, med lavest mengde klebemiddel, fra hver av de 4 strekningene. For strekningene med glatt tekstur, S og P, er bruddflatene temmelig svarte. Det er tydelig at det sitter bindemiddel igjen på underlaget. For strekning Q, med grov tekstur, for lav mengde, kan en skimte en tynn lysebrun hinne av bindemiddel på de steinene som stikker opp, mens mellom disse steinene sitter det rester av en asfaltmørtellignende masse. Dette kan enten være rester fra laget over, eller bindemiddel fra emulsjonen blandet med et finkornet steinmateriale som kan ha kommet som en forurensning fra bildekk som har kjørt i klebingen. Underlaget var rimelig rent før klebing av denne strekningen. På bruddflaten med høy mengde ser det ut til å sitte mer mørtel igjen på bruddflaten ned mot underlaget. Det forekommer også enkelte knuste steiner i bruddflatene, og enkelte steder små områder som er tilskitnet av ubundet finkornet steinmateriale.



Figur 41 Bruddflate for en av kjernene tatt ut mellom hjulspor på strekning P, med laveste mengde klebemiddel.



Figur 42 Bruddflaten for en av kjernene tatt mellom hjulspor på strekning S, med laveste mengde klebemiddel.



Figur 43 Bruddflate for en av kjernene tatt mellom hjulspor på strekning R, med laveste mengde klebemiddel ($0,135 \text{ kg/ m}^2$) til venstre og middels mengde klebemiddel ($0,19 \text{ kg/ m}^2$) til høyre.



Figur 44 Bruddflate for to kjerner, tatt mellom hjulspor på strekning Q, med laveste mengde klebemiddel til venstre og høyeste mengde til høyre.

Bildet i Figur 45 viser hvordan bare $0,063 \text{ kg}$ restbindemiddel per m^2 fra bitumenemulsjon A kan se dekkende ut på et gammelt, glatt underlag ($\text{MPD} \approx 0,80$), når dysene og trykket på sprøytingen sørger for å finfordele emulsjonen. Figur 46 og Figur 47 viser hvordan det samme underlaget ser ut med påført mengde restbindemiddel på henholdsvis $0,134 \text{ kg/ m}^2$ og $0,182 \text{ kg/ m}^2$.



Figur 45 Strekning S; Gammelt underlag med glatt tekstur; MPD \approx 0,80; Bitumenemulsjon A (BE-A); Påført mengde restbindemiddel = 0,063 kg/m².



Figur 46 Strekning S; Gammelt underlag med glatt tekstur, MPD \approx 0,80; Bitumenemulsjon A (BE-A); Påført mengde restbindemiddel = 0,134 kg/ m².



Figur 47 Strekning S; Gammelt underlag med glatt tekstur, MPD \approx 0,80; Bitumenemulsjon A (BE-A); Påført mengde restbindemiddel = 0,182 kg/ m².

Bildene i Figur 48 og Figur 49 viser hvordan klebingen på dekkene med grovere tekstur så ut. Spesielt bildet i Figur 48 viser hvordan påførte mengder over dagens krav fort kan føre til avrenning.



Figur 48 Strekning Q; Gammelt underlag med variert grov teksturdybde, MPD \approx 1,60; Bitumenemulsjon D (BE-D); Påført mengde restbindemiddel = 0,186 kg/m².

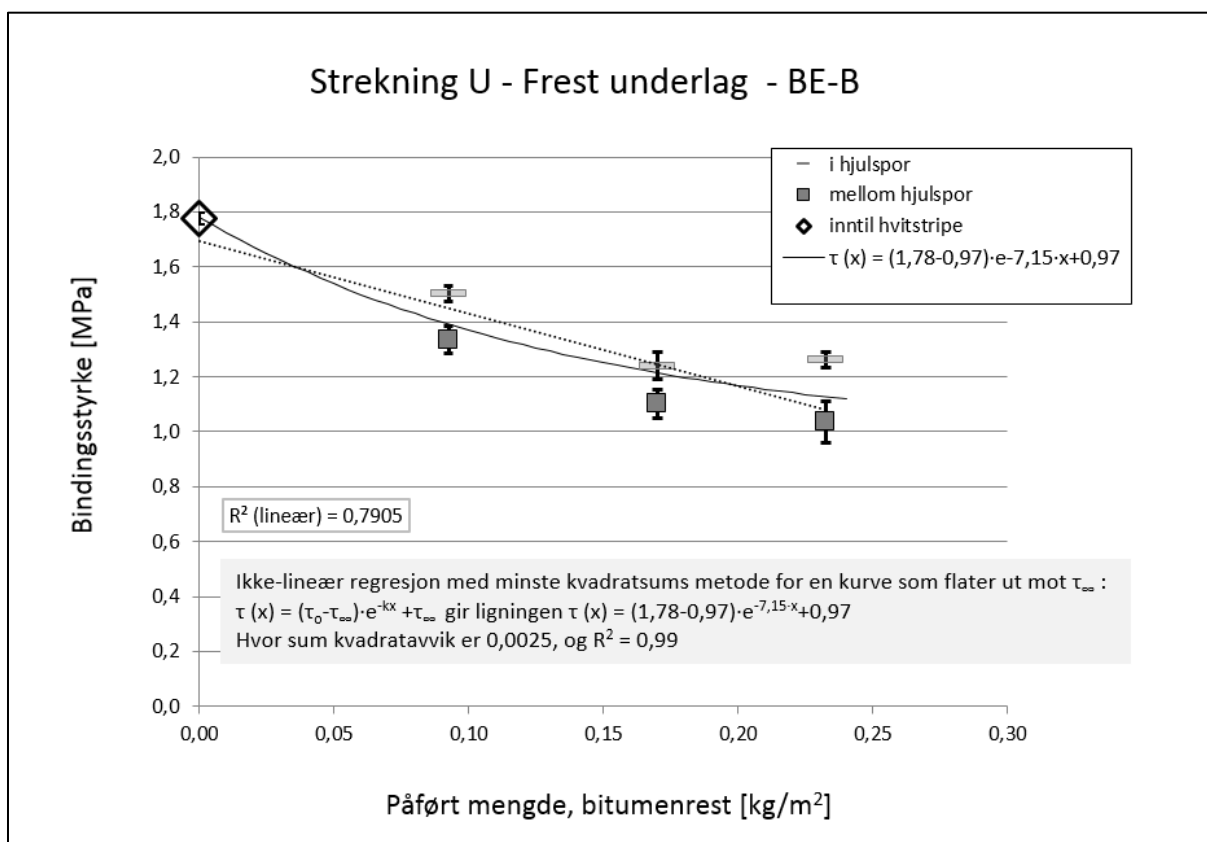


Figur 49 Strekning R; Gammelt underlagt, med jevnt grov tekstur, MPD \approx 1,30; Bitumenemulsjon A (BE-A).

Frest underlag

På strekning U ble det laget tre prøvefelt med variert mengde klebemiddel påført, samt ett prøvefelt helt uten klebemiddel. Det er tatt ut prøve både omtrent i det ytre hjulsporet og lenger inn på vegen, omtrent mellom hjulspor, for hver mengde. Prøveområdet uten klebemiddel ligger inntil hvitstripa. Skjærkraften ble påført parallelt med freserillene og kjøreretningen. Hvert punkt i figuren er gjennomsnitt av tre kjerner, og standardavviket er

vist som feilfelt. Tabellverdier er gitt i vedlegg 2. Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel er vist i Figur 50.



Figur 50 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde restbindemiddel. Strekning U; Frest underlag; Bitumenemulsjon B (BE-B).

Med unntak av en prøve, viser målingene på frest underlag at bindingsstyrken går ned når påført mengde går opp. Unntaket gjelder prøven av kjerner tatt i hjulspor ved største påførte mengde. For to av tre prøvofelt er det samvariasjon mellom kjerner tatt i og mellom hjulspor. Alle målte verdier for bindingsstyrke er høyt over det sveitsiske kravet på 0,85 MPa. De to borkjernene fra prøvofeltet uten påført klebemulsjon, oppnådde den høyeste bindingsstyrken målt i hele prosjektet. Den negative korrelasjonen mellom bindingsstyrke og mengde er sterk negativ ($R = -0,89$).

Bildene i Figur 51 viser hvordan bruddflatene ser ut for borkjernene fra prøvofeltet uten klebemiddel påført. Bruddflaten mot underlaget er til venstre og bruddflaten mot massen over er til høyre på bildene. Bruddet gikk delvis i lagskillet, og delvis i massen over. Bruddflaten er temmelig grov og ujevn. Det forekommer noen knuste steiner fra det frest underlaget. For borkjernene fra prøvofeltene med påført klebemiddel gikk bruddene mellom limlaget og massen over.

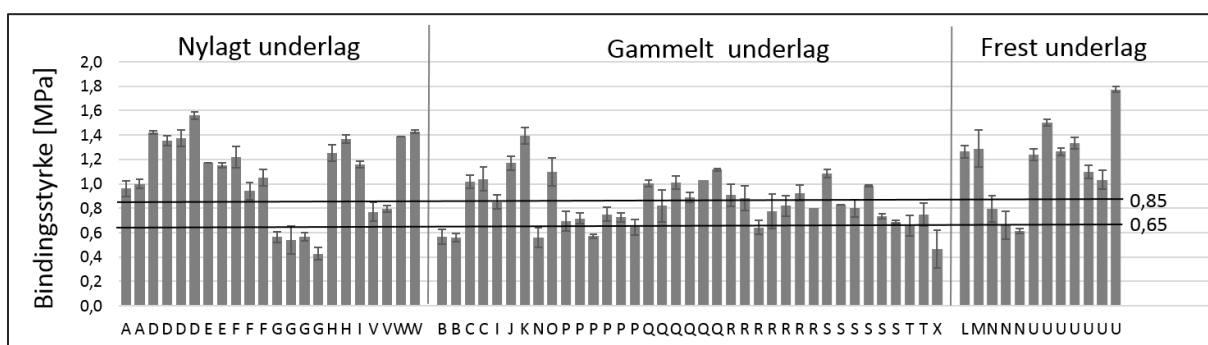


Figur 51 Bruddflatene for en av kjernene fra den freste strekningen U, uten påført klebemiddel.

5.3.3 Bindingsstyrke på nylagt, frest og gammelt underlag

I tillegg til de prøvene som ble planlagt og gjennomført i prosjektets regi, har laboratoriet testet en rekke prøver innkommet fra resten av landet. Dette gjelder 9 prøver fra 5 strekninger i 2013 og 10 prøver fra 6 strekninger i 2014. I figurer og diskusjoner i dette kapitlet inngår alle strekninger, både de som har inngått i prosjektet og de som har kommet inn til laboratoriet fra resten av landet. Tabellverdier er gitt i vedlegg 2. Prøver tatt på vegskulder eller mot midtskjøt i den innledende studien inngår ikke i dette kapitlet.

Figur 52 viser bindingsstyrke for alle prøver som inngår i prosjektet. Fremstillingen er delt inn etter type underlag. Hver søyle i diagrammet er en prøve. Figuren viser at det kan forekomme både god og dårlig bindingsstyrke på alle 3 typene underlag. Gjennomsnittlig bindingsstyrke for alle prøvene er 0,96 MPa, med en spredning fra 0,25 – 1,8 MPa. De laveste verdien er fra strekning X, som var klebet og asfaltert i moderat regnvær. De høyeste verdiene er fra strekning U, med frest underlag uten påføring av klebemiddel.



Figur 52 Bindingsstyrke og standardavvik for alle prøver som inngår i prosjektet.

Prøver med lav bindingsstyrke

Ser vi på alle resultatene som er høstet i løpet av prosjektperioden, er det 30 prøver fra 10 strekninger som ligger under det sveitsiske kravet til bindingsstyrke på 0,85 MPa. Dette gjelder strekningene B, G, N, P, Q, R, S, T, V og X.

4 av disse strekningene (P, Q, R og S) var de 4 som inngikk i forsøksoppsettet med variert tekstur og mengde klebemiddel påført. Disse strekningene var lagt under gode værforhold, og underlagene var helt/rimelig rene. Flest prøver under 0,85 MPa var det på de to strekningene (P og S) med lavest teksturdybde.

Ved testing av prøvene fra strekningene B og T var bruddflatene skitne av ubundet steinmateriale. Disse strekningene er altså klebet under forhold man vet er ugunstig for å oppnå god binding mellom lagene.

Ved asfaltering av strekning G forekom det lett duskregn (ref. kapittel 5.3.1).

Strekning X var lagt i moderat regnvær. 10 av kjernene som ikke delte seg i lagskillet ved uttak ble senere testet for bindingsstyrke. Resultatene lå fra 0,25 til 0,61 MPa, med en gjennomsnittsverdi på $0,46 \pm 0,15$ MPa. 0,25 MPa er den laveste bindingsstyrken som er målt ved laboratoriet, og gir ett anslag for hvor lavt det kvalitative kravet til bindingsstyrke er etter dagens krav.

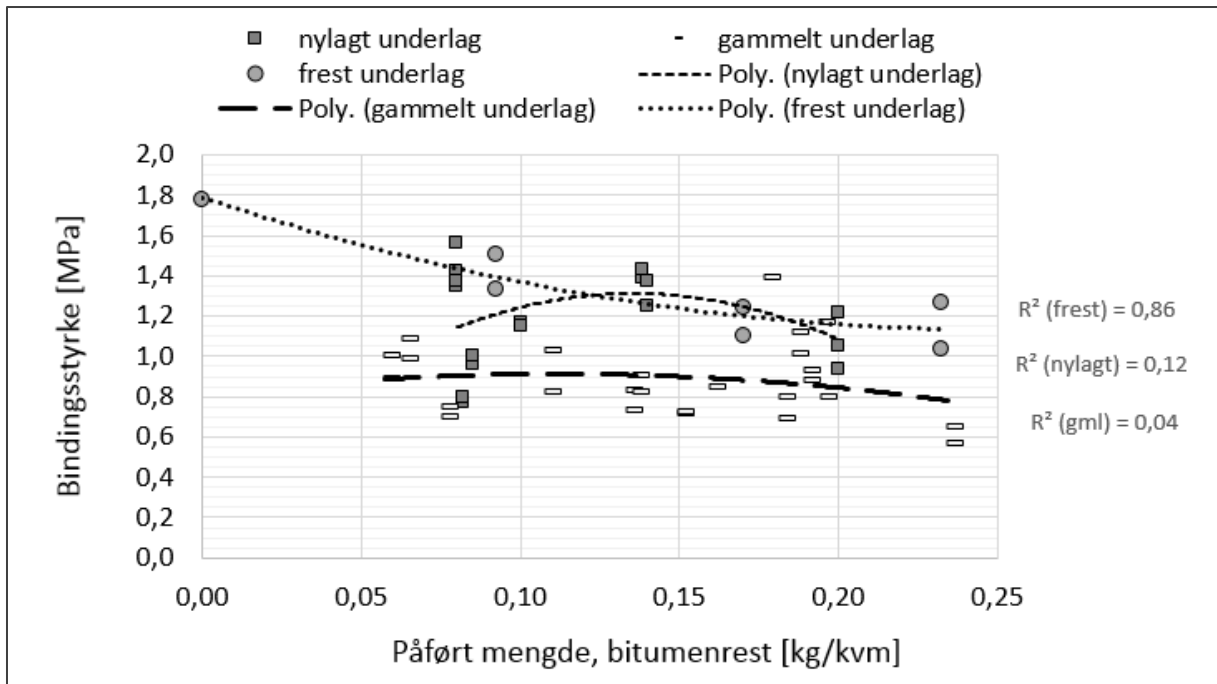
Det er usikkert hva som har vært problemet på strekning N. Her ble bindingsstyrken lav, selv for prøven med frest underlag. Her må det ha vært ugunstige forhold av ett eller annet slag. Asfaltkontrolløren som var tilstede under klebingen rapporterte at polymeren (lateksen) ble tilsatt emulsjonen i tanken på limbilen, rett før klebing, ute på veggen.

Det var ikke registret noe spesielt ved forholdene under legging av strekning V.

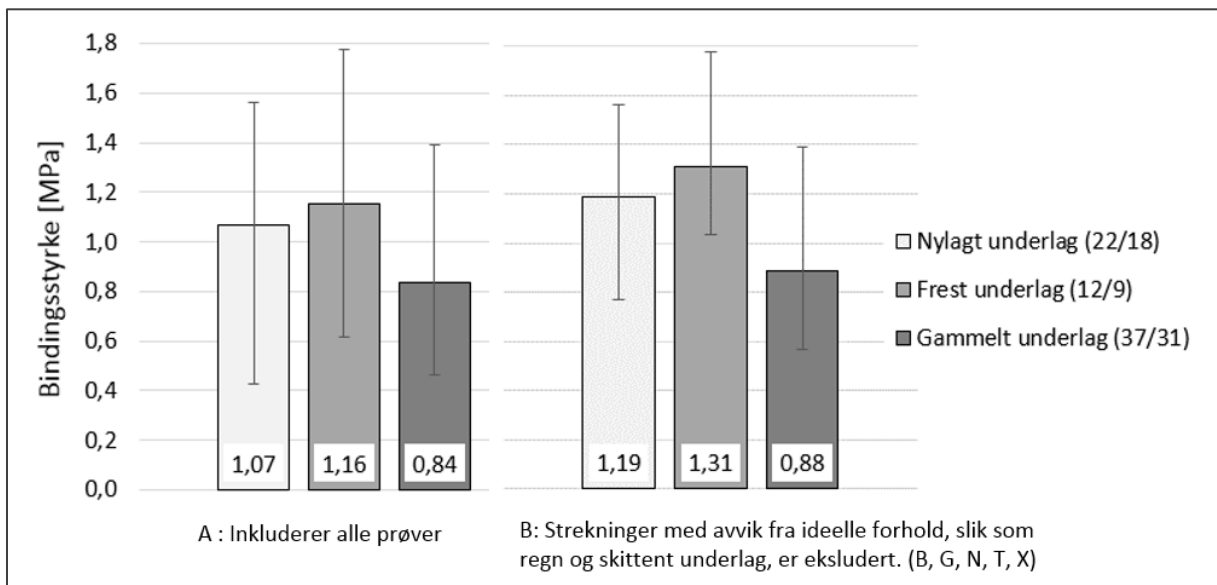
Bindingsstyrken for de strekningene som var klebet ved ugunstige forhold ([B, G, N, T og X](#)) ligger hovedsakelig i område under 0,66 MPa. Mens prøvene fra strekningene som var klebet ved gunstige forhold ((P, Q, R og S), ligger hovedsakelig over 0,64 MPa.

Bindingsstyrke som funksjon av mengde klebemiddel påført

Figur 53 viser bindingsstyrke som funksjon av mengde klebemiddel påført for alle prøver hvor det er målt mengde klebemiddel, med unntak av strekningene B, G, N, T og X (ref. side 55). Det er tegnet inn trendkurver for prøvene fra de ulike underlagene, men, med unntak av frest underlag, er korrelasjonen dårlig. Her er det ikke bare mengde klebemiddel som varierer, men også flere andre faktorer som for eksempel temperaturer, værforhold, renhet på underlaget, teksturdybde og type klebeemulsjon. Det er valgt polynomisk kurvetilpasning, da dette gav bedre korrelasjon enn lineær kurvetilpasning for resultatene. For nylagt og gammelt underlag er korrelasjonen uansett så svak at den ikke kan benyttes til vurdering av sammenhenger mellom mengde og bindingsstyrke.



Figur 53 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde klebemiddel. Strekningene B, G, N, T og X (ref. side 55) inngår ikke i figuren, og heller ikke strekninger hvor det ikke er målt mengde klebemiddel påført.



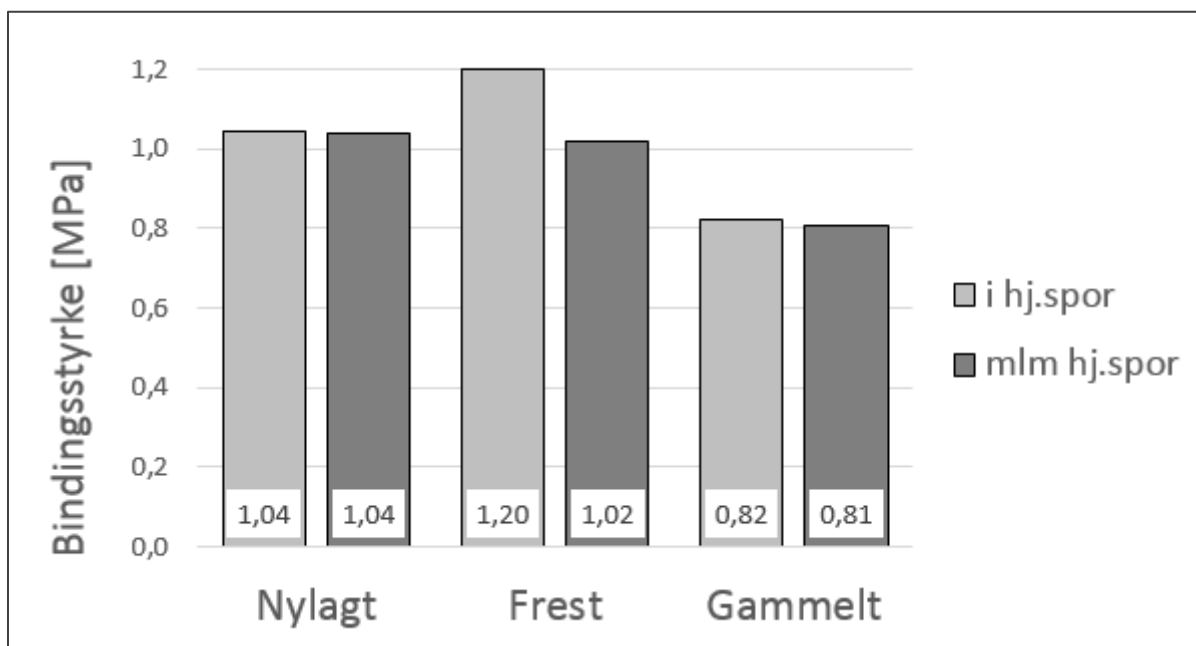
Figur 54 Stolpene viser gjennomsnitt for prøver for hver av de tre typene underlag. Feilfeltet viser variasjonsbredden i målingene, altså høyeste og laveste verdi. Antall prøve som inngår i hver av stolpene er gitt i parentes.

Figur 54 viser gjennomsnittsverdier og variasjonsbredde for alle tre typene underlag. I A er alle prøvene med, mens i B er strekningene B, G, N, T og X ekskludert (ref. side 55). T-test viser at prøvene fra gammelt underlag har signifikant lavere gjennomsnitt enn de fra frest og nylagt underlag. Når strekninger med kjente avvik fra ideelle forhold tas ut, ligger

gjennomsnittet for prøver fra frest underlag 10 % høyere enn de fra nylagt underlag, men forskjellen er imidlertid uansett ikke signifikant, grunnet den store spredningen i datasettene.

Bindingsstyrke i og mellom hjulspor

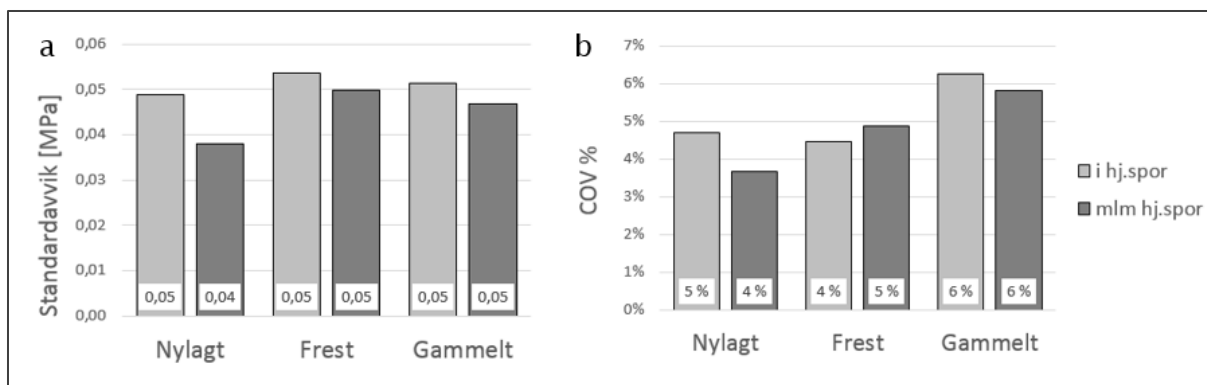
For å se om det er signifikant forskjell mellom bindingsstyrke i og mellom hjulspor er prøver fra de prøvefeltene hvor det er tatt prøver fra begge steder sammenlignet i Figur 55. Det er signifikant større bindingsstyrke for prøver tatt i hjulspor når underlaget er frest ($p=0,002$). Det er ikke signifikant forskjell for gammelt eller nylagt underlag.



Figur 55 Bindingsstyrke for parvise prøver i og mellom hjulspor. Det inngår mange prøver for hver type underlag. Prøveomfanget er: Nylagt = 2x9, Frest = 2x4, Gammelt = 2x12.

Standardavvik og variasjonskoeffisienter

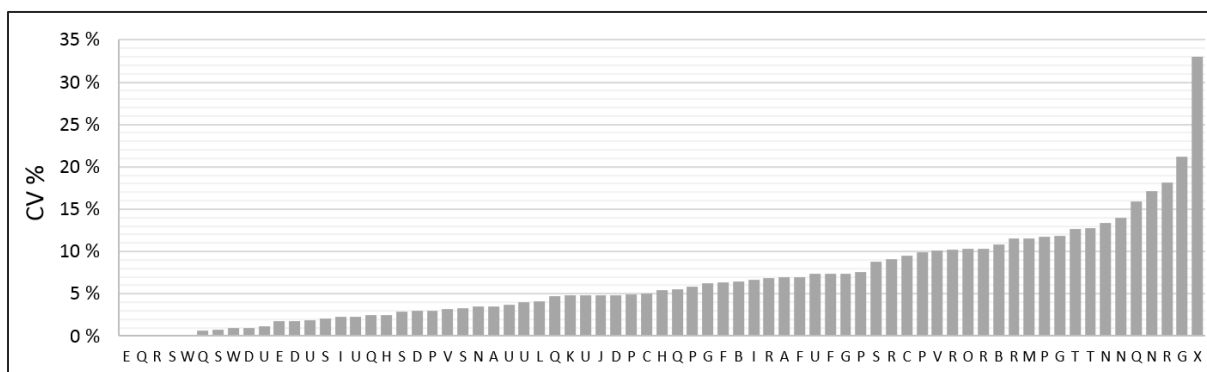
Figur 60 viser at det er større standardavvik mellom kjernene for prøver tatt i hjulspor enn mellom hjulspor for alle tre typene underlag. Det samme gjelder når standardavviket regnes i % av verdien for nylagt og gammelt underlag. Mens for frest underlag, hvor bindingsstyrken er signifikant større i hjulsporene, er % avviket mindre i hjulsporet. Både medianen og gjennomsnittlig standardavvik for alle prøvene ligger på 0,05 MPa, og det største standardavviket ligger på 0,14 MPa.



Figur 56 Standardavvik og variasjonskoeffisienten, CV, (standardavvik/gjennomsnittsverdi i %) for parvise prøver i og mellom hjulspor. Prøveomfanget er som angitt i Figur 55.

Variasjonskoeffisienten (CV) til en prøve er standardavviket i prosent av gjennomsnittsverdien for de kjernene som inngår i prøven.

Variasjonskoeffisientene for alle prøvene i prosjektet er gitt i Figur 57, sortert etter størrelse.



Figur 57 Variasjonskoeffisient (standardavvik i prosent av gjennomsnittsverdi) for alle prøver.

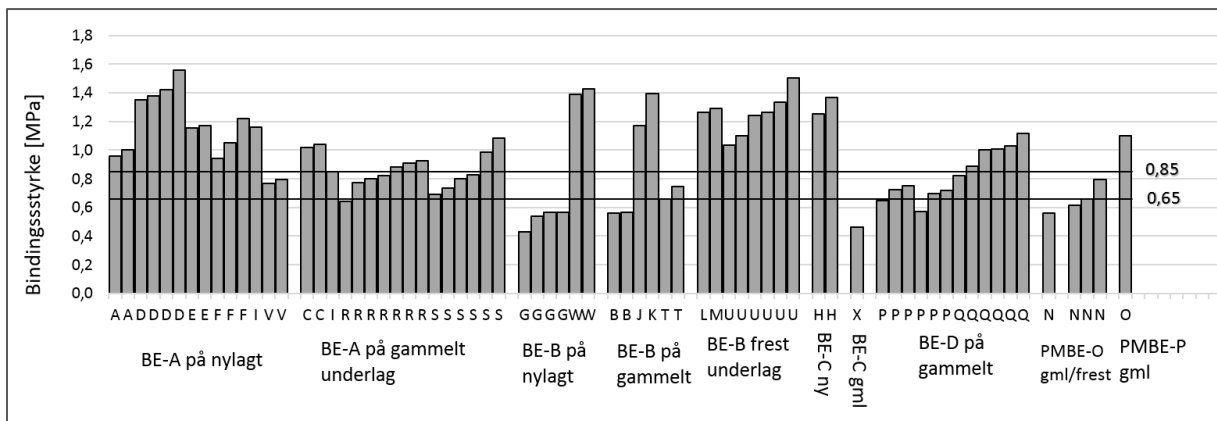
For 95 % av prøvene er variasjonskoeffisient under 15 %. Regnet i % av målt verdi ligger medianen på 5% og gjennomsnittet på 7 %, mens det største standardavviket i % av målt verdi ligger på 21%. Det er da sett bort fra strekning X, med 33 %, da denne er basert på 10 borkjerner spredt over en lang strekning hvor det ble klebet og asfaltert i moderat regnvær. De prøvene som har størst %-vis avvik mellom parallellene (større enn 12 %) er strekninger som har både relativt lave verdier (under 0,85 MPa) og samtidig enten har veldig grovt (R, Q), frest (T, N) eller skittent (T) underlag, eller ble klebet i svakt duskregn (G).

Gjennomsnittlig standardavvik beregnet ut fra formelen gitt i teststandarden ($0,074 - 0,04 \cdot \tau_{max}$, gjelder for 150 mm) ville blitt 0,11 MPa for prøvene i dette prosjektet. 4 av 71 prøver har ett standardavvik som er større enn den som er oppgitt i teststandarden. Dette gjelder en av prøvene fra hver av strekningene G, R, Q og N. I denne sammenhengen er det sett bort fra to strekninger (M og X) hvor prøven består av mer enn 8 borkjerner spredt over en lengre strekning, uten opplysninger om hvor i vegbanen kjernene er tatt.

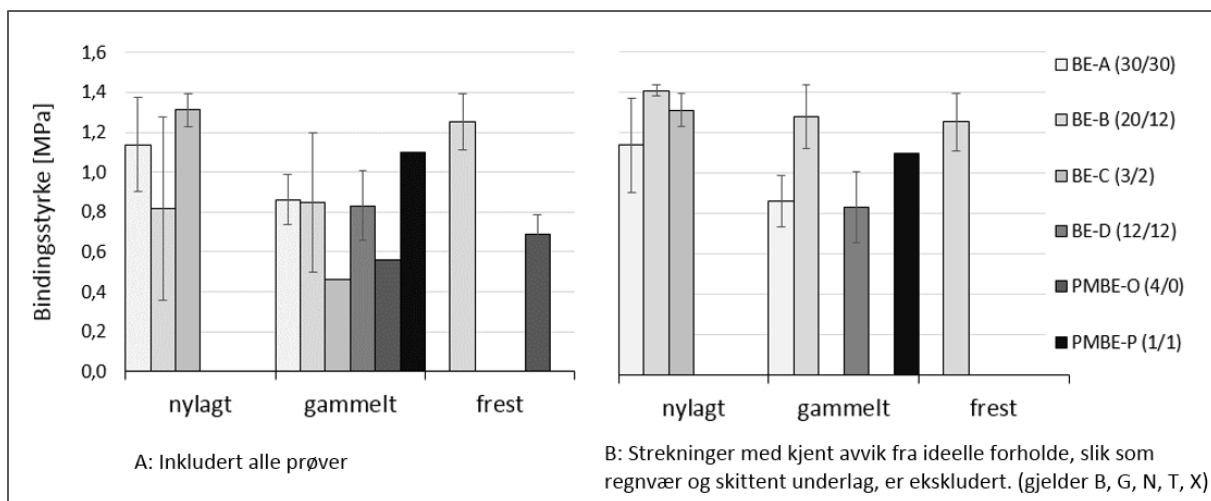
5.3.4 Sammenligning av bindingsstyrke for de ulike emulsjonene

I figurer og diskusjoner i dette kapittelet inngår alle strekninger, både de som har inngått i prosjektet og de som har kommet inn til laboratoriet fra resten av landet. Prøver tatt på vegskulder eller mot midtskjøt er ikke med.

Figur 58 viser bindingsstyrke for alle prøver som er testet, inndelt etter emulsjonstype og underlag, mens Figur 59 viser gjennomsnittlig bindingsstyrke med standardavvik for hver av emulsjonene. Eventuelle vurderinger av disse resultatene må gjøres med stort forbehold, da det er store forskjell i antall prøver. Og enda viktigere er utslagsgivende faktorer som for eksempel teksturen på underlaget, påført mengde klebemiddel, værforholdene og urenheter på underlaget med mer. Dette illustreres tydelig i forskjellen mellom de to grafene A og B i figuren, hvor det i grafen til høyre er ekskludert noen resultater hvor det forekom forhold som man vet er ugunstig for klebing og heft (strekning B, G, N, T og X, ref. side 55).



Figur 58 Bindingsstyrke for alle testede prøver inndelt etter emulsjonstype og underlag.

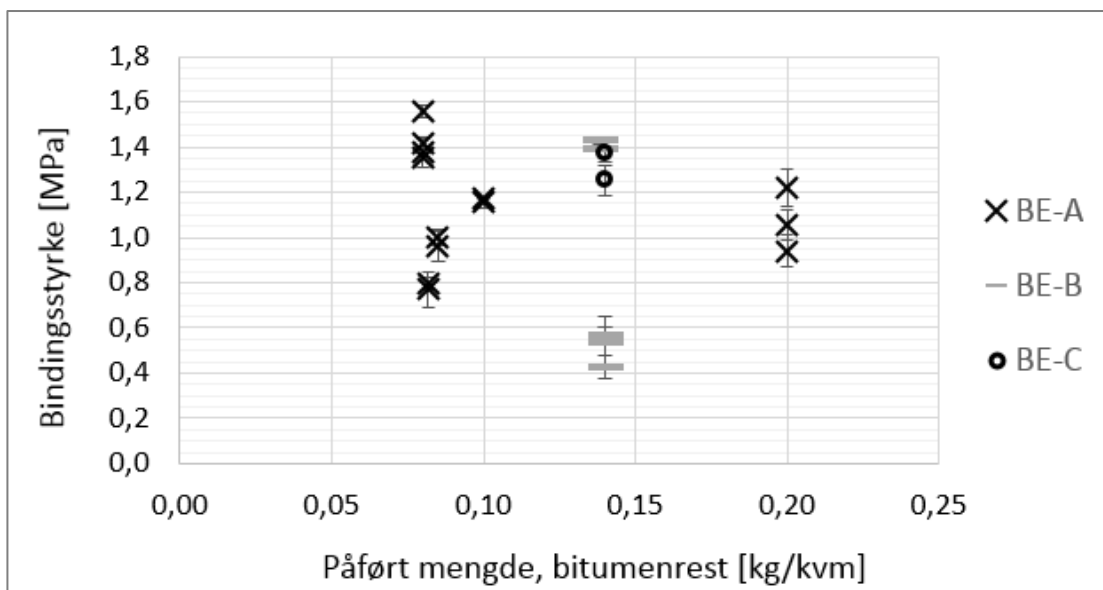


Figur 59 Gjenomsnittlig bindingsstyrke og standardavvik for hver av emulsjonene på henholdsvis nylagt, gammelt og frest underlag. Grafen til venstre (A) viser resultatene for alle målinger, mens i grafen til høyere (B) er strekninger med regnvær og skitne bruddflater, samt strekning N, ekskludert. Tallene angir antall prøver som inngår (A/B).

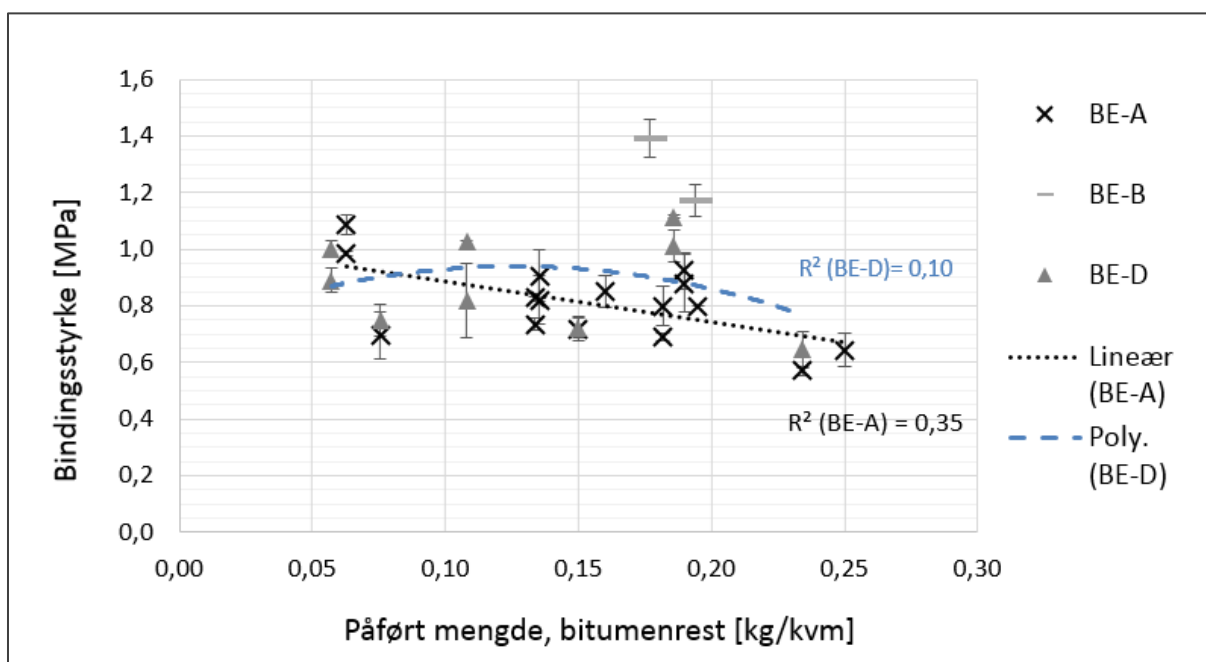
Figur 61 viser målte verdier for bindingsstyrke som funksjon av mengde påført for strekninger med gammelt underlag etter hvilken emulsjon det er klebet med, og tilsvarende for nylagt underlag er gitt i Figur 60. Figurene viser at det er stor spredning i bindingsstyrke for de tre bitumenemulsjonene A, B og D. Det er så å si ingen korrelasjon mellom mengde og bindingsstyrke for B og D, mens A har svak negativ korrelasjon.

Bitumenemulsjon A er benyttet på omtrent halvparten av prøvene med gammelt underlag, uten at det er observert urent underlag på noen av bruddflatene.

Av Figur 15 og t-test framgår det at bitumenemulsjon A er signifikant mykere enn de andre emulsjonene, og av stolpediagrammet i Figur 59 B ligger også gjennomsnittlig bindingsstyrke noe lavere for denne emulsjonen både for prøver fra nylagt og fra gammelt underlag. Det er som allerede nevnt imidlertid mange andre faktorer som varierer i datagrunnlaget, som for eksempel teksturen på underlaget, påført mengde klebemiddel, værforholdene og grad av urenheter på underlaget med mer.



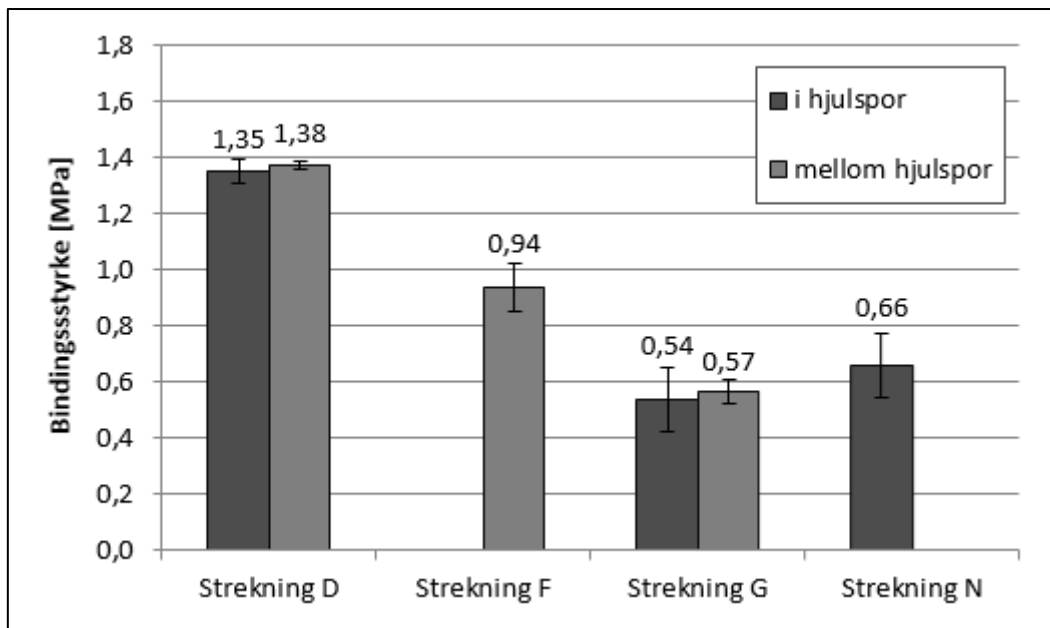
Figur 60 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde klebemiddel på strekninger med nylagt underlag.



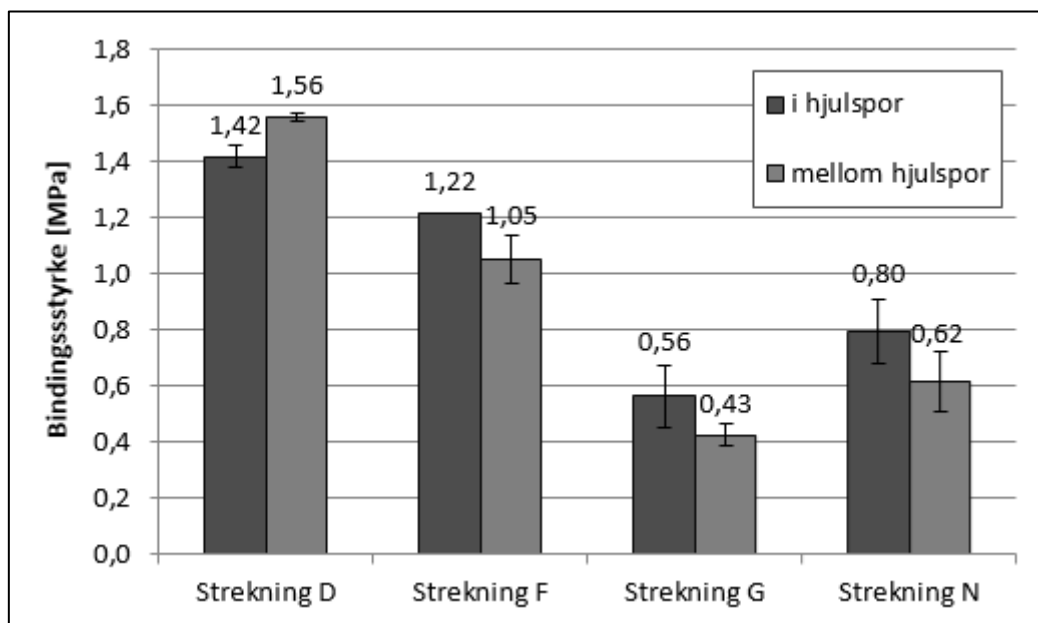
Figur 61 Bindingsstyrke som funksjon av påført mengde klebemiddel for strekninger med gammelt underlag. De 5 strekningene hvor det var regnvær eller urene bruddflater (B, G, N, T og X), er ekskludert fra datasettet.

5.3.5 Utvikling av bindingsstyrke fra leggeåret til året etter

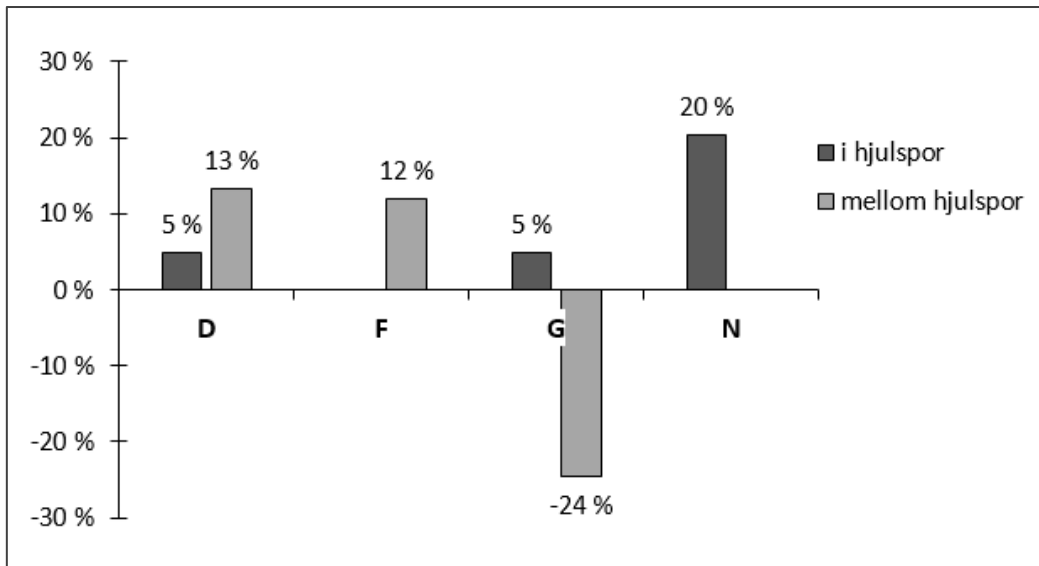
For 4 av strekningene som ble undersøkt for bindingsstyrke i 2013, ble det tatt ut nye prøver på samme sted året etter. Hensikten var å se om bindingsstyrke forandret seg over tid. Resultatene er framstilt i Figur 62 – Figur 64.



Figur 62 Bindingsstyrke målt på kjerner tatt ut samme år som asfalteringen ble utført.



Figur 63 Bindingsstyrke målt på kjerner tatt ut ett året etter legging.



Figur 64 Utvikling av bindingsstyrke fra leggeåret til ett år etter.

For prøver tatt samme år som asfalteringen ble utført, er bindingsstyrken høyere for prøver tatt mellom hjulspor enn prøver tatt i hjulspor for 2 av 2 strekninger.

For prøver tatt ut ett år etter, hadde bindingsstyrken økt for 5 av 6 prøver.

Ett år etter var bindingsstyrken høyere for prøver tatt i hjulspor enn mellom hjulspor for 3 av 4 strekninger.

For strekning D hadde bindingsstyrken økt for begge prøvene. Prøven tatt mellom hjulspor hadde økt mer enn prøven tatt i hjulspor.

Prøven tatt mellom hjulspor på strekning G hadde tapt bindingsstyrke. Som beskrevet for Strekning G i kapittel 5.3.1, var det svakt duskregn under legging av denne strekningen, og emulsjonen rakk ikke å bryte før asfalten ble lagt. Underlaget var et nylagt dekke. Samtidig var asfalten som ble lagt her produsert ved lav temperatur (LTPA), og emulsjonen var medium brytende. For prøvene som ble tatt ut og testet samme år som dekkeleggingen, forekom det vann på bruddflatene både på prøvene tatt i og mellom hjulspor. På prøvene tatt ett år etter ble det ikke registrert vann på bruddflatene på de kjernene som var tatt i hjulspor, mens for 2 av 3 av kjernene tatt mellom hjulspor ble det observert noe vann.

6 Diskusjon

6.1 Separasjon

Av de 17 + 11 flaskeprøvene av emulsjon tatt ut i henholdsvis 2013 og 2014 ble det avdekket to avvik i bindemiddelinnhold. Det første avviket skyldtes at lokket på tanken hadde stått åpent gjennom en regnværperiode, mens det andre avviket ble avdekket etter mistanke om at emulsjonen hadde stått på tanken over vinteren. Begge avvikene skyldes en type feil som utførende entreprenør skulle ha sørget for å unngå, og som kan føre til dårlig heft mellom asfaltlagene.

Utførende entreprenøren har ikke kommentert det sistnevnte avviket, men det er grunn til å tro at avviket skyldes separasjon mellom vann og emulgert bindemiddel på grunn av for lang lagringstid og/eller ugunstig oppbevaringstemperatur. Det ble tatt ut borkjerner fra en strekningen som ble klebet med den sistnevnte emulsjonen, men på grunn av værforholdene, med regnvær, kan den manglende heften imidlertid ikke kobles mot avviket i bindemiddelinnhold.

Det ble for øvrig ikke avdekket avvik som tyder på at separasjon gjennom sesongen er ett problem.

6.2 Restbindemiddelets stivhet

Alle bitumenemulsjonene som er undersøkt er oppgitt å være produsert med bitumengrad 160/220 som basis. At gjenvunnet bindemiddel blir noe stivere enn opprinnelig verdi, er forventet. Avdamping av vann ved 163°C i 2 timer vil medføre noe oppherding. Emulsjoner har dessuten en del andre tilsetningsstoffer som kan påvirke egenskapene på gjenvunnet bindemiddel. Det er ikke oppgitt reproduserbarhet for penetrasjon på bindemiddel etter fordamping av vann i den standardiserte metoden.

I henhold til NS-EN 13808:2005+NA:2011 (senere erstattet av NS-EN 13808:2013) skal penetrasjon på gjenvunnet bindemiddel etter fordamping dokumenteres. Dette er gjort for 3 av de 5 emulsjonene som inngår i undersøkelsen. Bitumenemulsjon B og polymermodifisert emulsjon O har deklartert verdi $\leq 220 \text{ }^{1/10} \text{ mm}$, hvor alle målte verdier ligger innenfor. Bitumenemulsjon A har deklartert verdi $\leq 150 \text{ }^{1/10} \text{ mm}$, hvor alle målte verdier ligger utenfor. Som beskrevet under Materialer og metoder, 4.1, ble bitumen gjenvunnet ved fordampning i henhold til ASTM D6934-08, og ikke NS-EN 13075, som angitt i produktstandarden. Det ansees som mer sannsynlig at dette kan gi stivere verdier heller enn mykere. Emulsjon A inneholder mer enn 3 % fluks, og det kan være fluksen som er utslagsgivende for testresultatene. Per 2016 er det ikke beskrevet krav til penetrasjonsverdi på gjenvunnet bindemiddel fra klebeemulsjon i Statens vegvesens kontraktsdokumenter.

Stivheten på gjenvunnet bindemiddel avhenger av hvilken stivhet inngående bindemiddel har, samt eventuelt bidrag fra tilsetningsstoffene. Tilsetning av løsemiddel og fluks påvirker både emulgeringen, brytningshastigheten og herdingshastigheten ved lavere lufttemperaturer. Klebeemulsjoner som produseres for bruk ved lavere lufttemperaturer tilsettes gjerne mykere inngående bitumen, løsemidler eller fluks for å øke herdings- og

brytningshastighet. Dette kan være årsaken til at enkelte av emulsjonene har høyere penetrasjonsverdier ved prøveuttak på høsten, enn tidligere på året.

I følge Mohammad et al (2012) har restbindemiddelets reologiske egenskaper (som omfatter stivhet målt med penetrasjon) betydning for bindingsstyrke. Dette blir diskutert i kapittel 6.4

6.3 Kontroll av mengde klebemiddel påført på veg

Det er bindemiddelet fra emulsjonen som skal sikre heft mellom lagene, mens vannet er et hjelpemiddel for å lette spredningen under påføringen. Rent bindemiddel krever høy temperatur for å være flytende, og er vanskeligere å sprøyte ut i så lave mengder som trengs til klebing. Den lave viskositeten til emulsjoner gjør at klebemiddelet trenger lettere ned i sprekker og kaviteter i underlaget. Men for å oppnå optimal binding mellom lagene, bør vannet imidlertid fjernes før asfalten legges over. Det er viktig at regler knyttet til utførelse, krav og kontroll ikke er til hinder for bruk av utstyr og metoder som kan forbedre heften. På bakgrunn av observasjoner og resultater fra feltundersøkelsene, ble det derfor konkludert med at kravsetting og kontrollvirksomhet bør relateres til mengde restbindemiddel påført heller enn til mengde emulsjon. Dette førte både til en endring i vegvesenets konkurransegrunnlag for reseptorienterte asfaltarbeider. Inntil 2013 stod det «minimum 0,3 l/m² emulsjon», som ble endret til «minimum 0,15 kg/m² restbindemiddel» fra 2014. 0,3 l/m² emulsjon tilsvarer 0,15 kg/m² restbindemiddel for en emulsjon med 50% bindemiddelinnhold. (0,3 liter/m² tilsvarer omtrent 0,3 kg/m² fordi densiteten på både vannfasen og bindemiddeldråpene er omtrent 1 kg/liter.)

Til tross for at utførende entreprenør var fullt klar over at mengde klebemiddel påført ble kontrollert, viste det seg at ingen av resultatene lå over minimumskravet. Det kan ligge flere årsaker bak. Det var ingen av sjåførene som hevdet at det var utført konkrete målinger av påføringshastighet for bilene, men det ble gitt uttrykk for at man holdt et øye med forbruket gjennom sesongen, og at fokuset ellers lå på visuell vurdering av dekning og å unngå tette dyser. Samtidig erfarte vi under tillaging av prøvestrekninger med ulik mengde påført, at det var vanskelig å justere til nøyaktig ønsket mengde, når mengden er såpass liten.

I forkant av prosjektet var det snakk om at det forekom en del tilfeller av tette dyser. På de første feltoppdragene i 2013 ble det observert noen tilfeller av tette dyser, men utover i sesongen og i 2014 var ikke dette noe problem på de jobbene som ble fulgt opp. Vi så at varslet kontroll og økt fokus på klebing førte til en skjerping av rengjøring, vedlikehold og reparasjoner av utstyr.

6.4 Bindingsstyrke

6.4.1 Innledende detaljert studie av 5 strekninger

I denne studien inngår både gammelt og nytt underlag, med relativt stor spredning i målte verdier for bindingsstyrke.

Strekninger med nylagt underlag

Med unntak av en kjerne fra en vegskulder med en skitten bruddflate, ligger alle resultatene fra to av strekningene med nylagte underlag (A og D), over det sveitsiske kravet på 0,85 MPa. Dette til tross for at begge disse strekningene var klebet med betydelig mindre klebeemulsjon enn minimumskravet på 0,30 liter/m². For strekning A gikk bruddet i asfaltmassen i laget under klebingen. Dette tyder på at bindingsstyrken i klebingen mellom asfaltlagene var sterkere enn kohesjonen i asfaltmassen i det lavtemperaturproduserte opprettingslaget. I slike tilfeller, hvor asfaltmassen gir etter, er ikke målt verdi representativ for bindingsstyrken mellom asfaltlagene. På den tredje strekningen med nylagt underlag, strekning G lå bindingsstyrken under 0,65 MPa for alle kjernene, med et gjennomsnitt på 0,48 MPa. Med bakgrunn i øvrige resultater i prosjektet ansees dette som dårlig bindingsstyrke. Mengden klebemiddel påført var rett oppunder kravet på denne strekningen.

Mellom to nylagte asfaltlag er det i utgangspunktet optimalt utgangspunkt for god adhesjon, da alle overflater normalt er dekket av ferskt bindemiddel. Nylagt underlag av Ab-masser har relativt lav teksturdybde, som i utgangspunktet vil gi lite gjensidig sperring mellom de to lagene.

For strekning G var det imidlertid flere forhold som ikke regnes som optimale for god heft. Værforholdene, med litt yr og 15 °C, var ikke optimale, men ble heller ikke ansett som kritiske, da nedbørmengden var meget beskjeden. At emulsjonen, som var medium brytende, ikke rakk å bryte før den nye massen ble lagt over, ble heller ikke ansett som kritisk, da underlaget allerede var dekket av bindemiddelet i asfaltmassen. Det forekommer en generell oppfatning av at restfukt på underlaget koker vekk når ny varm asfalt legges ut. Men samtidig finnes det en grense for hvor mye vann varmen fra asfalten kan klare å koke vekk, og i dette tilfellet var asfaltmassen dessuten lavtemperaturprodusert, hvilket betyr at evnen til å koke vekk restvann er noe nedsatt. At det ble observert vann på bruddflatene etter testing viser at vannet på underlaget ikke dampet vekk før det nye asfaltlaget ble kompaktert og dermed forble innesperret i lagskillet mellom de to lagene. Ved prøveuttak ett år senere, var bindingsstyrken mellom hjulspor enda lavere. Dette var den eneste prøven hvor bindingsstyrke gikk ned fra det første året til året etter.

Strekninger med gammelt underlag

I den innledende studien inngikk det bare to strekninger med gammelt underlag. Strekning C oppfyller grenseverdien på 0,85 MPa, mens for strekning B lå bindingsstyrken under 0,65 MPa for alle kjernene, med et gjennomsnittet på 0,49 MPa, som er lavt. Gammelt underlag trenger friskt bindemiddel fra klebeemulsjonen både til å binde eksponert steinmateriale og gammelt og sprøtt bindemiddel i mørtelfasen til det nye laget, samt til å trenge ned i og binde eventuelle urenheter som ikke lar seg fjerne ved rengjøring. Det kan være stor variasjon i teksturdybde på gamle dekker, avhengig av massetype og slitasje. Det foreligger ikke teksturdata for underlaget på strekning B. Det ble klebet med samme medium brytende klebeemulsjon som strekning G, med en mengde som tilsvarer omtrent halvparten av minimumskravet. Emulsjonen rakk å bryte mot underlaget, men ikke alt restvann rakk å dampe vekk før den nye asfalten ble lagt over. Klebeemulsjonen klistret seg til bildekkene,

og etterlot uklebet underlag, spesielt i oppstartsområdet (Figur 30). Bruddflatene var både litt våte og skitne av ubundet finkornet steinmateriale etter testing. Emulsjonen har ikke klart å binde urenheterne på underlaget. Underlaget burde vært rengjort for å oppnå bedre bindingsstyrke, men de våte bruddflatene viser, som for strekning G, at heller ikke her har den lavtemperaturproduserte asfalten klart å koke vekk restvannet fra emulsjonen. På strekning B var det ingen nedbør, og temperaturen var over 15°C.

Prøve fra vegskulder og inn mot midtskjøt

Når det gjelder bindingsstyrke målt på prøver tatt fra vegskulder og fra midtskjøt, er prøveomfanget veldig begrenset. På gamle underlag, er vegskulderen ofte veldig tilskitnet. Dersom vegskulderen ikke blir rengjort, skal det godt gjøres at klebingen greier å trenge gjennom skitten og sørge for god heft mellom asfaltlagene. For tre av strekningene (A, B og G) ble det målt lavere bindingsstyrke på vegskulderen enn lengre inn på veggen. For to av disse (A og B) var bruddflatene tydelig skitne. For de to som var lagt med lavtemperaturprodusert masse (B og G), ble det også målt lavere bindingsstyrke inn mot midtskjøten. Ved manglende heft og/eller høyt hulrom i lagskillet, kan vann trenge inn mellom lagene ute på vegskulderen, og påvirke bindingsstyrken. Det samme kan skje ved midtskjøten dersom denne er åpen.

Strekninger med lavtemperaturprodusert asfalt

Ved legging av lavtemperaturprodusert asfalt, skal temperaturen være minimum 25 grader lavere enn ellers. Avdampingen av eventuelt restvannet fra klebeemulsjonen vil være mindre effektiv når leggetemperaturen reduseres. Dette kan samtidig påvirke både hulrommet og bindingsstyrken. Hulrom ble ikke målt i dette prosjektet. Undersøkelser har vist at jo bedre kompaktering jo høyere bindingsstyrke (Jaskuła, 2014). De to strekningene med slitelag av lavtemperaturprodusert asfalt, B og G, fikk lavere bindingsstyrke generelt, og kjernene tatt på vegskulderen og inn mot midtskjøten fikk enda lavere verdier enn de tatt i og mellom hjulspor. Disse funnene tilsier at det bør sees nærmere på klebing og bindingsstyrke ved legging av lavtemperaturprodusert asfalt. På disse to strekningene var det benyttet samme type medium brytende emulsjon (bitumenemulsjon B).

6.4.2 Effekt av underlagets tekstur og mengde klebemiddel påført

Tidlig i prosjektet ble det klart at påført mengde klebeemulsjon langt under kravet på 0,3 l/m² kunne gi mer enn tilfredsstillende bindingsstyrke. I boken Asfalt, Retningslinjer 2000, utgitt av Norsk Asfaltforening i 1999, står det som følger: «Klebemiddelet bør påføres så tynt som mulig, vanligvis 0,3 kg/m² BE50R. På tett underlag nyttes noe mindre, på magert underlag noe mer.» I litteraturen er det stort sprik mellom hvor store mengder som gir optimal heft mellom lagene. Man finner resultater som viser både at bindingsstyrken øker når påført mengde restbindemiddel økes helt opp til 0,7 kg/m² (Mohammad et al 2012) og at bindingsstyrken avtar når mengden restbindemiddel økes fra 0,09 kg/m² til 0,36 kg/m² (West et al 2005). Forskjeller i testmetodene for bindingsstyrke, i klebemidlene og ikke minst i underlagenes beskaffenhet kan være årsak til motstridende konklusjoner. Dette utløste

interesse for å se hvordan bindingsstyrke målt med skjærstyrketesten i prEN 12697-48 varierer avhengig av mengde klebemiddel påført på norske vegdekker med norske klebeemulsjoner.

Forsøksoppsettet er beskrevet i kapittel 4.4. Den opprinnelige planen var at limbilene skulle justere mengden klebemiddel påført enten ved å justere sprøyteutstyret, eller kjørehastigheten. Å oppnå riktig/planlagt mengde viste seg å være en utfordring. Det var nødvendig å undersøke påføringshastigheten for hver enkelt limbil på forhånd, og for å sikre tilstrekkelig spredning i resultatene, var det gjentatte overfarter som ga best resultat. Arbeidet med å lage prøvestrekninger avdekket at det er vanskelig å styre mengden påført nøyaktig innenfor det aktuelle området, på 0,075–0,225 kg restbindemiddel per kvadratmeter.

Ved vurdering av sammenhenger mellom bindingsstyrke og mengde klebemiddel påført, må det tas forbehold om at målt mengde påført ikke nødvendigvis er eksakt mengde på underlaget etter at asfalten er lagt. Det er små mengder som måles, og påføringen er ikke nødvendigvis jevn hverken på tvers av eller langsetter vegen. På prøvefeltene hvor det er påført ulike nivåer av mengde på samme strekning, vil det kunne forekomme utjevning av mengdene som følge av uunngåelig trafikkering av både limbilen, asfaltbiler og utlegger.

Resultatene fra forsøksoppsettet med variert tekstur og mengde er gitt i kapittel 5.3.2.

Underlag med glatt tekstur (MPD < 1,0 mm)

Bindingsstyrken på strekning P, med lavest teksturdybde (MPD \approx 0,65 mm), ligger lavt, synker litt når mengden økes og er relativt lik i og mellom hjulspor. Dette kan forklares ut fra at det forekommer nesten ingen fysisk sperring mellom de to asfaltlagene, og at det dermed er lite friksjon i skjærplanet. At bruddflatene ned mot underlaget er helt svarte (Figur 41) viser at bindemiddel fra klebeemulsjonen fortsatt er bundet til underlaget etter testing. Dette tyder på at det ikke er klebemiddelets adhesjonen mot underlaget som har sviktet, men enten kohesjonen i bindemiddelet fra emulsjonen, eller adhesjonen mellom bindemiddelet fra emulsjonen og den nye massen.

På strekning S med nest lavest tekstur (MPD \approx 0,80 mm) er bindingsstyrken ved lav mengde en god del høyere enn på strekning P, men så synker bindingsstyrken mye og ligger like over nivået for strekning P ved middels mengde. Det ser ut til at kurven flater ut, men tre nivåer av mengde er et svakt grunnlag for vurdering av kurveform. Strekning S har større teksturdybde, og det er dermed større fysisk sperring mellom de to lagene enn for strekning P. Resultatene kan forklares ut fra at tykkere limlag gir mindre fysisk sperring, slik at skjærbindingsstyrken blir lavere. Bruddflatene ned mot underlaget er svarte også for strekning S. Dette tyder på at det ikke er adhesjonen mellom klebemiddelet og underlaget som har sviktet her heller. På strekning S ble det målt høyere bindingsstyrke i enn mellom hjulspor for alle prøvefeltene, men samvariasjonen er god. Generelt kan forskjeller mellom prøver tatt i og mellom hjulspor skyldes en eller flere av følgende faktorer, som ikke nødvendigvis er helt identisk i og mellom hjulspor: trafikkbelastning, tekstur eller mengde klebemiddel påført. Flere undersøkelser (Mohammad et al, 2012 og Jaskuła, 2014) har vist

at bindingsstyrken øker når stivheten på bindemiddelet i klebingen øker. At bindingsstyrken øker når testtemperaturen synker skyldes sannsynligvis også samme mekanisme, da stivheten på bindemiddelet i klebingen øker når temperaturen synker. Dette er vist med skjærstyrketesting av både Mohammad et al (2012) og West et al (2005). Emulsjonen som er benyttet på strekning S er deklart med mer enn 3 % fluks og målt penetrasjon viser at restbindemiddelet er litt mykere enn den benyttet på strekning P. Dette er ikke grunnlag for å vurdere om dette har vært utslagsgivende for bindingsstyrken her.

Underlag med grov tekstur (MPD > 1,0 mm)

Strekning R, med nest grovest underlag (MPD \approx 1,3 mm), mangler laveste mengde klebemiddel påført. Her ble det liten forskjell i målt bindingsstyrke mellom medium eller høy mengde påført klebemiddel. Mellom hjulspor var det en moderat økning, mens i hjulspor var det ingen/svak reduksjon.

Strekning Q, med grovest tekstur (MPD \approx 1,60 mm), var uheldig plassert med tanke på ulik trafikkbelastning. Samtidig varierte teksturen langt mer på denne strekningen enn på de andre. Det både forventes, og er vist i en studie (Sutanto, 2009) at trafikkbelastning gir økt bindingsstyrke. Resultatene fra denne strekning Q ble noe sprikende, og bør vurderes med visse forbehold. Dette var den eneste strekningen hvor bindingsstyrken økte med økende mengde klebemiddel. Den positive korrelasjon mellom bindingsstyrke og mengde klebemiddel påført var sterk for prøvene tatt mellom hjulspor, mens i hjulspor var den svak.

Bruddflatene var svarte både for strekning R og Q. Dette viser at det ikke er klebemiddelets adhesjonen til underlaget som svikter her heller.

Frest underlag

Strekningen U, med frest underlag, var nøye rengjort før klebing. Resultatene viser en sterk negativ korrelasjon (lineær $R = -0,89$) mellom målt bindingsstyrke og mengde klebemiddel påført. Verdien reduseres med så mye som 0,8 MPa, fra 1,8 MPa uten klebing til 1,0 MPa ved 0,23 kg restbindemiddel per kvadratmeter. Bindingsstyrken synker signifikant for hver gang mengden økes, inntil det siste punktet, med høy mengde. Målepunktene korrelerer godt til en kurve som synker bratt i starten for så å flate ut. For kjerner uten påført klebemiddel gikk bruddet delvis mot/i det freste underlaget og mest i den nye asfaltmassen fra laget over. For kjernene med klebemiddel var den nedre bruddflaten svart. Det er ikke klebemiddelets adhesjonen til underlaget som har sviktet her heller.

Den freste strekningen får klart høyest bindingsstyrke for prøvefeltet uten klebing, og dette er samtidig den høyeste verdien oppnådd i hele prosjektet. West et al (2005) og Jaskuła (2014) fant også høyest bindingsstyrke for kjerner uten påført klebemiddel ved testing av skjærstyrke ved +20 °C med skjærhastighet på 50 mm/min. Spørsmålet er om dette resultatet er representativt for reell heft mellom lagene, og om det gir en riktig rangering av prøver i forhold til fare for dekkeskader som følge av dårlig heft. Dette diskuteres videre i kapittel 6.4.5.

Spesielle utfordringer

Det er flere faktorer som kan tenkes å påvirke bindingsstyrken for freste og grove underlag. Bruddet går gjerne delvis i freserillene og delvis i den nye asfaltmassen over, som vist i Figur 65. Hvordan bruddet går avhenger av styrkeforholdet mellom de to materialene. Et gammelt dekke kan være temmelig stivt og hardt, men fresingen kan også gi svakheter i materialet.

Grov tekstur medfører økt overflateareal, slik at det kreves mer klebemiddel for å dekke hele kontaktflaten. Men blir det overskudd av emulsjon, kan det bli liggende ubrutt fortynnet emulsjon mellom taggene. Vannet får mindre overflate og damper ikke så lett av, og kan forårsake økt hulrom i massen over og i lagskillet. Vannet kan samtidig bidra til raskere nedkjøling av massen, og redusere effekt av kompakteringen, slik at andelen luft- og væskefylte hulrom i massen ned mot lagskillet øker. På samme måte som trafikkbelastning kan gi økt bindingsstyrke, er det vist at bindingsstyrken øker med økt kompaktering (ref. Raposeiras et al, 2013 og Jaskuła, 2014). Dette kan være spesielt viktig for klebing og heft ved legging av lavtemperaturprodusert asfalt. Se for øvrig kapittel 6.4.1 og 6.4.4.

Fresing fører til mye skitt på underlaget, og støvet som ligger nederst i freserillene er vanskelig å fjerne. Skitt kan forekomme på alle underlag, og kan være til hinder for god adhesjon, men det kan også gi økt bindingsstyrke som følge av økt friksjon. Flere, blant annet Mohammad et al (2012), har vist at skjærbindingsstyrken øker ved påføring av fint steinmateriale på underlaget.

På freste underlag kan det være en fordel å la det gå trafikk på før reasfaltering. Dette for å fjerne svake partier og redusere dybden på freserillene, slik at rengjøringen blir enklere. Dette kan på den ene siden legge til rette for bedre adhesjon, men samtidig reduseres teksturen, og dermed friksjonen i grenseflaten.



Figur 65 Bruddflater for tre kjerner med frest underlag (strekning N).

6.4.3 Effekt av klebeemulsjonen og bindemiddelet reologiske egenskaper

Med unntak av frest underlag, er antall prøver med bitumenemulsjon A relativt stort for de fleste datasettene i prosjektet. Til tross for at bitumenemulsjon A er benyttet på omtrent halvparten av prøvene med gammelt underlag, er det ikke registrert kritisk lave verdier for denne. Dette kan være et tegn på at denne emulsjonen, som for øvrig er den eneste med dokumentert verdi på mer enn 3 % fluks, sikrer god heft til underlaget selv ved ugunstige forhold som for eksempel urenheter, lave temperaturer og fuktig vegbane. Når strekningene B, G, N, T og X er ekskludert, ligger gjennomsnittlig bindingsstyrke for emulsjon A noe lavere enn for de andre emulsjonene, både for prøver med nylagt og med gammelt underlag (se Figur 59). Restbindemiddelet fra emulsjon A ble målt til å være mykere enn for de andre emulsjonene. Forskjellen ansees imidlertid som relativt liten, med 16 $0,1$ mm høyere gjennomsnittsverdi for penetrasjon ved 25 °C. Resultatene viser at teksturdybden på underlaget og mengde klebemiddel påført har betydelig innvirkning på målt bindingsstyrke. I dette prosjektet er det ikke målt bindingsstyrke for ulike emulsjoner under ellers identiske forhold. Dette gjør at det ikke er riktig å vurdere de ulike emulsjonene mot hverandre.

I følge Asphalt, Retningslinjer 2000 bør det fortrinnsvis brukes polymermodifisert emulsjon (PMBE), til betongdekker og andre steder hvor det er viktig med spesielt god klebing. PMBE benyttes sjelden på norske asfaltdekker, og det inngår bare to strekninger med to ulike PMBE i dette prosjektet, strekning N og O. Begge disse emulsjonene er basert på emulgering av lateks i vannfasen i en bitumenemulsjon. Dette betyr at bindemiddelet i emulsjonen i utgangspunktet ikke er polymermodifisert. Polymeren i lateksdråpene skal legge seg som en film mellom underlaget og restbindemiddelet når emulsjonen bryter, og sikre ekstra god heft til underlaget. Målt bindingsstyrke peker seg ikke ut som spesielt gode for de to strekningene hvor lateksmodifisert emulsjon er benyttet. Testomfanget er imidlertid alt for lite til å vurdere effekten av PMBE. Ved legging av tynndekker og påbruer i forbindelse med fuktisolering er det i henholdsvis N200 og R762 krav til at basisbindemiddelet i klebeemulsjonen skal være polymermodifisert. Denne typen polymermodifisert emulsjon er ikke kjent brukt på asfaltdekker i løpet av prosjektperioden.

Prøveomfanget i dette prosjektet er ikke stort nok og heller ikke tilstrekkelig kontrollert til at det kan konkluderes når det gjelder hvordan bindingsstyrken avhenger av emulsjonenes egenskaper. De observasjonene som er gjort, sammen med referanser til litteraturen (ref. kapittel 6.2), gjør at det er interessant å se nærmere på hvordan tilsetning av fluks og bindemiddelets reologiske egenskaper påvirker resulterende bindingsstyrke.

Mohammad et al (2012) dokumenterte på flere måter at det er klar korrelasjon mellom bindingsstyrke og de reologiske egenskapene til restbindemiddelet. Jaskuła (2014) fant i sine undersøkelser at prøver klebet med emulsjon laget av bitumen 160/220 fikk lavere bindingsstyrken enn prøver uten klebemiddel, mens emulsjon av 70/100 gav bedre bindingsstyrke enn begge de to andre. I Mohammad et al (2012) sine undersøkelser går bindingsstyrken opp når mengde klebemiddel økes, helt til 0,7 kg/m², målt i restbindemiddel. Bindemidlene som inngikk er betydelig stivere (ca 3, 35, 50 og 110 0,1 mm) enn de som benyttes på det norske markedet. (Testtemperaturen er 5 °C høyere, og penetrasjonsverdien for ordinært bitumen blir omtrent halvert fra 25 °C til 20 °C.)

Et stivere bindemiddel vil gi økt skjærstyrke (maks kraft før brudd) og dermed redusere faren for glidning mellom lagene. Men stivere bindemiddel vil sannsynligvis gå i brudd ved kortere streklengder, og dermed øke faren for skader av typen slag hull og avflaking. Ved bruk av polymermodifisert bitumen (pmb) kan man øke kohesjonen uten at det går på bekostning av smidigheten. Dette betyr at pmb kan øke både bindingsstyrken og streklengden i forhold til ordinært bitumen. Dette er et kost-/nyttespørsmål, da pmb koster mer enn ordinært bitumen. Å benytte stivere bitumen kan føre til redusert brytningshastighet, men dette kan trolig kompenseres ved hjelp av andre tilsetningsstoffer.

I forsøkene med variert tekstur og mengde klebemiddel var det ikke klebemiddelets adhesjon til underlaget som gav bindingsbrudd, men kohesjonen i klebemiddelet. Det er derfor god grunn til å tro at økt stivhet på bindemiddelet vil gi økt bindingsstyrke.

6.4.4 Utvikling av bindingsstyrke over tid

Skader som skyldes dårlig heft mellom asfaltlagene kan framtre både på nylagte dekker eller først etter noen år. Det er derfor nødvendig å undersøke om utvikling av bindingsstyrke over tid gir en annen rangering enn det som er oppnådd her. Utvikling av bindingsstyrke for noen få og spesielle strekninger er gitt i kapittel 5.3.5, men dette bør undersøkes i større omfang. Det kan tas ut flere prøver over tid fra de teststrekningene som er gitt i kapittel 5.3.2.

Som Sutanto e.al. (2009) viste i sin studie, bidrar økt trafikkbelastning til økt bindingsstyrke. Det er derfor som forventet at bindingsstyrken øker for prøver tatt i hjulspor. Dette stemmer for 3 av 3 undersøkte prøver. Dette kan forklares ut fra at trafikkbelastningen presser det øverste laget stadig tettere ned mot laget under, slik at den gjensidige sperringen mellom lagene øker.

Over tid kan det skje en herding av bindemiddelet i klebingen. Herding gir stivere bindemiddel, og stivere bindemiddel gir høyere bindingsstyrke. Det er derfor naturlig at bindingsstyrken øker med tiden. For stivt bindemiddel vil ikke tøy seg, men gå i brudd.

For en av de fire strekningene, gikk bindingsstyrken derimot ned for prøven tatt mellom hjulsporene. På denne strekningen forekom det svakt duskregn før og under leggingen, samtidig som asfalten i begge lagene var lavtemperaturprodusert og nylagt. For kjernene testet det første året ble det registrert vann på bruddflatene etter testing, hvilket betyr at vannet som befant seg i vegbanen under legging, ikke dampet ut av massen under leggingen. Det er uheldig at det blir liggende vann inne i asfaltdekket. Det kan forårsake is-sprenging på vinteren, og luft- og vannfylte hulrom kan, ifølge Lai (1987), forårsake asfaltblemmer/paddehatter om sommeren. Nedgangen i bindingsstyrke for prøvene som var tatt mellom hjulspor, ett år senere, kan forklares ut fra følgende teori: Etterhvert som tiden går, vil vann- og luftfylte hulrom presses vekk fra hjulsporene som følge av trafikkbelastningen. Hulrommene kan gå horisontalt langs limlaget, og videre ut til side for hjulsporene. Det vil dermed ende enten ut mot vegskulderen, inn mot midtskjøten eller bli innesperret mellom hjulspor. Denne teorien er det interessant å se nærmere på, spesielt med tanke på at det er observert ett økende omfang av paddehatter på det norske vegnettet de siste to årene.

6.4.5 Vurdering av testmetoden for bindingsstyrke

I litteraturen finnes det resultater som viser både at bindingsstyrken øker (Mohammad et al (2012), synker (West et al (2005) og har et topp-punkt (Al-Qadi, 2008) når mengde klebemiddel økes. Dette kan være knyttet til forhold ved testmetoden, kondisjoneringen, testtemperaturen, skjærhastigheten og materialegenskapene både for asfaltlagene og klebemidlene med mer, som ikke er identisk for alle publikasjonene.

Det er et kjent fenomen at for mye klebemiddel kan gi glidning mellom lagene, men det var i utgangspunktet ikke forventet at bindingsstyrken skulle avta som følge av økt mengde innenfor det valgte intervallet av mengde, da dette ligger langt innenfor det som er anbefalt både i Europa og USA. Spesielt overraskende var det at de 2 kjernene fra prøvefeltet med frest underlag uten påført klebemiddel gav klart høyere bindingsstyrke enn noen av de 268 andre kjernene. Som nevnt i kapittel 6.4.2 fant West et al (2005) og Jaskuła (2014) også det samme. Resultatene viser at klebemiddelet virker smørende på kontaktflaten mellom lagene. Jaskuła (2014) fant samtidig at rangeringen var avhengig av stivheten på bindemiddelet i emulsjonen (se kapittel 6.4.3). Det bør derfor undersøkes om klebing med stivere bindemidler gir en annen rangering av prøvene som funksjon av klebemiddelmengde. En slik undersøkelse må samtidig passe på at dette ikke går på bekostning av andre betydningsfulle egenskaper.

Det bør samtidig sees nærmere på om selve testmetoden gir en realistisk påkjenning på lagskillet og om rangeringen av prøvene er riktig i forhold til det som er tilfelle i veien. Det er tydelig at bidraget fra den fysiske sperringen mellom de to lagene har avgjørende betydning for målt bindingsstyrke for denne testmetoden, og kan skjule mangelfull binding mellom de to lagene. Fysisk sperring mellom lagene er en fordel med tanke på å hindre glidninger. Men en testmetode må samtidig kunne avdekke svakheter i forhold til adhesjon og binding mellom lagene, da dette kan føre til andre typer skadene, som for eksempel avflaking, tidlig krakelering og slag hull. Binding mellom lagene inkluderer både adhesjon

mellom klebemiddel og underlaget, kohesjonen i klebemiddelet og adhesjon mellom klebemiddelet og det nye laget over.

Det finnes mange alternative testmetoder: strekktester, vridningstester, slagtester og dynamiske tester.

For å unngå at den gjensidige sperringen fra teksturen dominerer målt bindingsstyrke, kan strekktesting være en alternativ testmetode. Strekktesting tester bindingsstyrken ved strekking vinkelrett på limflaten. Dette innebærer imidlertid at lagskillet utsettes for en annen type påkjenning enn det som er antatt gjeldende i felt. I følge Sutanto (2009) skjer bindingsbrudd helst som følge av horisontale spenninger forårsaket av akselerering, deselerering og sentrifugalkrefter gjennom svinger. En svenske studie, beskrevet av Magnusson (2013) fant at strekktesting på laboratorietilvirkede prøver gav høyere bindingsstyrke for prøver uten klebemiddel enn for prøver klebet med rasktbrytende bitumenemulsjon (betegnet BE50R). Det var ikke oppgitt stivhet på restbindemiddelet, men i Sverige, som i Norge, er det vanlig å emulgere bitumen av grad 160/220 i klebeemulsjoner. Prøvene ble belastet med en hastighet på 200 N/s.

Mohammad et al (2012) sammenlignet skjærbindingsstyrke målt med og uten sidetrykk for ulike mengder klebemiddel påført. Bindingsstyrken ble størst ved påføring av sidetrykk, men forskjellen mellom metodene avtok når mengden økte. Forfatterne viste med dette at overflatenes tekstur gir friksjon som har stor betydning for bindingsstyrken ved lave mengder klebemiddel. Videre ble det konkludert med at når mengden klebemiddel økes, smøres overflatene og friksjonen avtar og målt bindingsstyrke blir lavere. I tillegg til en smørende effekt, økes tykkelsen på limlaget og den fysiske sperringen mellom lagene reduseres. Resultatene fra sammenligningen tyder på at skjærtesting med sidetrykk forsterker den dominerende effekten av den gjensidige sperringen mellom lagene.

De andre metodene er betydelig mer kompliserte å utføre enn skjærtesten. Det er derfor interessant å se om det kan gjøres enkle justeringer av skjærtesten for å oppnå mer realistisk påkjenning på prøven.

Skjærhastigheten kan ha betydning for resultatene og for rangeringen av prøvene. West et al (2005) testet skjærstyrke ved 50 mm/min og fikk negativ korrelasjon mellom bindingsstyrke og mengde klebemiddel. Al-Qadi (2008) testet skjærstyrke ved 12 mm/min og fant at optimal mengde restbindemiddel var 0,18 kg/m². Mens Mohammad et al (2012) testet skjærstyrke ved 2,5 mm/min, som de mener ligger nærmere reell påkjenning i vegen, og fikk stort sett positiv korrelasjon. Alternativt kan deformasjonen også styres som funksjon av kraftbelastning (N/s).

I Mohammad et al (2012) ble prøvene kondisjonert ved 40 °C i 24 timer før de ble satt til temperering ved 25 °C. Det er grunn til å tro at en slik kondisjonering har betydning både for opptørking av vann og sammensmelting og herding av bindemidlene i lagskillet. Begge deler vil gi økt bindingsstyrke. Spørsmålet er om en slik kondisjonering er realistisk sett i forhold til norske forhold, men en fast prosedyre for tørking av prøvene før temperering bør vurderes.

Skjærstyrketesten i prEN 12697-48

Skjærstyrketesten ble i dette prosjektet utført i henhold til 2013-utkastet til teststandarden, prEN 12697-48:2013. Per 2015-09 foreligger det ett nytt utkast, med noen endringer, og standarden ventes utgitt i løpet av 2016/2017.

I det siste utkastet er det foreslått at skjæreenergien, E_{SBT} og post-topp skjæreenergi, $E_{SBT PP}$, skal beregnes. Mens skjærstyrken kun viser hvor stor kraft prøven tåler før den bryter, vil skjæreenergien samtidig ta høyde for hvor langt kjerne er tøydd før den ryker. Dette betyr at E_{SBT} og $E_{SBT PP}$ kan rangere prøver annerledes enn T_{max} .

Det er bekymringsfullt at kjerner uten påført klebemiddel kan få så høy bindingsstyrke ved denne skjærstyrketesten som det de gjorde i dette prosjektet. Det er vanskelig å tro at dette gjenspeiler den reelle bindingsevnen i veggen. Kanskje kan post-topp-energien benyttes til å skille ut kjerner hvor bindingsstyrken blir høy utelukkende som følge av den fysiske sperringen i steinmaterialet.

Når det gjelder forbehandling av kjernene før testing, så beskriver standarden kun at kjernene skal tempereres til 20°C i klimaskap i 4 timer før testing. Kjernen er boret ut ved bruk av vann til kjøling, og er som regel gjennomtrukket av vann når de kommer inn. Det er vanlig å lagre prøvene kjølig, for å unngå deformasjoner. Det er ingen garanti for at den beskrevne forbehandlingen sikrer at vann tilført under prøvetaking fjernes før testing.

I følge teststandarden er det tatt utgangspunkt i testing på asfaltkjerner med diameter på 150 mm, men det er også tillat å teste kjerner med diameter på 100 mm. Testing av borkjerner med diameter på 100 mm gav akseptable standardavvik og variasjonskoeffisienter. Prøveomfanget i prosjektet er relativt stort, og det er stor spredningen i underlag, tekstur, mengde klebemiddel påført og ulike typer emulsjoner. Likevel ligger variasjonskoeffisienten under 15% for 95 % av prøvene. Dette ansees som god repeterbarhet.

6.4.6 Vurdering av et eventuelt nytt norsk krav til heft mellom to asfaltlag

Å praktisere en intensiv kontroll av mengde klebemiddel påført, hvor resultatet skal vurderes opp mot et minimumskrav på 0,15 kg restbindemiddel per kvadratmeter, kan medføre uønskede konsekvenser. For det første er det helt åpenbart når og hvor kontrollen gjennomføres, og mengde vil bli justert der etter. Under tillaging av teststrekningene som er beskrevet i kapittel 5.3.2, viste det seg dessuten å være vanskelig å styre mengde påført mot en spesifikk verdi ved så små mengder. Ved kontroll vil sjåførene naturligvis sørge for at mengden er over kravet, og dermed sprøyte på rikelig mengde.

For å forbedre det norske kravet til heft, er det ønskelig å ta i bruk en kvantitativ testmetode for bindingsstyrke målt på borkjerner, eller eventuelt målt i felt. Med et slikt krav vet ikke utførende entreprenør hvor kontrollen vil bli utført. Dette vil gi større insentiv til å etterstrebe beste praksis under hele arbeidet. Dagens krav til heft i vegvesenets Teknologirapport 2505 «*Tilstrekkelig heft har en når en får opp borkjernen hel uten at den ryker i skillet mellom 2 asfaltlag.*», er et kvalitativt krav. Hvorvidt kjernen overholder kravet,

avhenger av hvilken skjærstyrke den blir utsatt for under prøveuttaket, noe som vil avhenge av utstyret og utførelsen.

Sveits er det eneste landet i Europa som praktiserer krav til bindingsstyrke målt ved skjærttesting. Kravet er minimum 0,85 MPa for slitelag. Ser vi på alle resultatene som er høstet i løpet av prosjektperioden (se kapittel 5.3.3), er det 30 prøver fra 10 ulike strekninger som ligger under 0,85 kPa. Dette utgjør 41 % av prøveomfanget, og i denne gruppen forekommer det prøver fra prøvefelt som var klebet og asfaltert under gode værforhold, på rimelig rene og tørre underlag og klebet med «riktig» mengde klebemiddel. Under 0,64 MPa forekommer det kun prøver med kjente avvik fra ideelle forhold, slik som klebing i regnvær eller urenheter.

Testing av skjærstyrke i henhold til prEN 12697-48 viste imidlertid at borkjerner uten påført klebemiddel og med lave mengder oppnådde høye verdier for målt bindingsstyrke. Dette er bekymringsfullt, da «tørre» lagskiller forventes å være utsatt for heft-relaterte dekkeskader som avflaking, tidlig krakelering og slaghull. Det ansees derfor som nødvendig å gjøre flere undersøkelser på klebing og bindingsstyrke mellom asfaltlag før funksjonsrelaterte krav kan innføres i Norge.

Da standardavviket er størst for prøver tatt i hjulspor og verdiene i hjulspor øker som følge av trafikkbelastning, er det mest hensiktsmessig å ta prøver mellom hjulspor dersom generell bindingsstyrke skal undersøkes. Dersom det er mistanker om dårlig heft på grunn av spesifikke forhold, som for eksempel avsetning av lort i hjulsporene eller manglende klebing mot midtskjøt eller på vegskulder, så bør prøvetakingen være målrettet.

7 Konklusjon

Undersøkelse av bindemiddelinnhold på flaskeprøver av klebeemulsjoner viste at det forekom enkelttilfeller av bruk av klebeemulsjoner med nedsatt bindemiddelinnhold, noe som kan føre til nedsatt klebeevne og dårlig heft i veggen. Årsaken til avvikene var feil lagringsbetingelser.

Samtlige av kontrollene av mengde klebemiddel påført på veg gav verdier utenfor krav. Dette avdekte både en generell mangel på kalibrering av limbilene og manglende kjennskap til hvordan kravsatt mengde ser ut på veggen.

Utprøving av testmetoden for skjærbindingsstyrke gitt i prEN 12697-48 viste at med typiske norske klebeemulsjoner, basert på bitumen 160/220, så gikk bindingsstyrken ned når mengden klebemiddel økte. Årsaken kan være knyttet til at bitumen 160/220 er så mykt at bindemiddelet smører overflatene mer enn det binder dem sammen. Det undersøkte området, fra 0–0,25 kg restbindemiddel per kvadratmeter, ligger relativt lavt i forhold til det som er anbefalt for klebing. Det bør derfor undersøkes om det er bedre å benytte stivere bindemidler i klebeemulsjonene.

De prøvefeltene som var klebet og asfaltert under ugunstige betingelser, herunder regnvær og skittent underlag, oppnådde stort sett ikke bindingsstyrke over 0,66 MPa. Under denne grenseverdien befant det seg imidlertid også noen prøver fra prøvefelt som var klebet og asfaltert under gode værforhold, på rimelig rene og tørre underlag og klebet med «riktig» mengde klebemiddel. Samtidig oppnådde prøver fra et gammelt, frest dekke uten påført klebemiddel den høyeste bindingsstyrken i hele undersøkelsen, på 1,8 MPa. Fysisk sperring mellom lagene er en fordel med tanke på å hindre glidninger. Men en testmetode må samtidig kunne avdekke svakheter i forhold til adhesjon og binding mellom lagene, da dette kan føre til andre typer skadene, som for eksempel avflaking, tidlig krakelering og slaghull.

Lave standardavvik og variasjonskoeffisienter viste at reproduserbarheten for metoden var god. For frest underlag ble bindingsstyrken større for prøver tatt i hjulsporet enn de tatt mellom hjul, mens for nylagte og gamle underlag var det ingen statistisk signifikant forskjell. Standardavviket er større for prøver tatt i hjulspor enn mellom hjulspor for alle typer underlag.

Det bør gjennomføres flere undersøkelser når det gjelder klebing og testing av bindingsstyrke ved norske forhold. Forslag til videre arbeid er gitt i kapittel 8 Videre arbeid.

8 Videre arbeid

Det er behov for videre arbeid innenfor klebing og testing av bindingsstyrke mellom asfaltlag.

Det første som må utredes er hvorfor testen for skjærbindingsstyrke ikke gir forventet rangering av prøvene med hensyn på binding mellom lagene.

1. Hvordan oppnå bedre bindingsstyrke?
 - Det bør utredes hvilken effekt bruk av stivere bindemidler i norske klebeemulsjoner gir. Rapporter fra andre land tyder på at stivere bindemidler vil gi økt bindingsstyrken målt med skjærtesting, og at stivere bindemidler kan gi en annen rangering av prøver, slik at økt mengde klebemiddel gir økt bindingsstyrke. Det er en forutsetning at dette ikke går på bekostning av andre viktige funksjonsegenskaper, som for eksempel sprøhet ved lave temperaturer, raskere utmatting og adhesjon.
2. Er det mulig å optimalisere skjærttestmetoden på en måte som gjøre at prøver med dårlig binding mellom lagene også avsløres med lav bindingsstyrke?
 - Hva skjer med målt bindingsstyrken dersom skjærhastigheten endres?
 - Så langt er det maksimal skjærstyrke som er beregnet og vurdert, både i denne rapporten og i litteraturen. Hvordan rangeres prøvene med hensyn til skjæreenergiene før (E_{SBT}) og etter ($E_{SBT PP}$) bruddet?
 - Det kan også være aktuelt å se på kondisjonering av borkjernene før testing. For eksempel vannlagring, frysing og tining.
3. Dersom det ikke lar seg gjøre å optimalisere skjærttesten slik at realistisk rangering av prøvene oppnås, må andre metoder for testing av bindingsstyrke vurderes. Strekkprøving (Pull-Off testing) forventes å gi resultater som i mindre grad er dominert av den gjensidige fortanningen mellom lagene, og dermed vil kunne avdekke manglende adhesjon og binding.

I denne rapporten er det ikke sett på dekkeskader som følge av dårlig heft. I søken etter de riktige tiltakene for å unngå slike skader, er det interessant samle informasjon for strekninger med heft-skader, for å kartlegge årsakssammenhenger. Det bør lages et register for strekninger med heft-skader og tilhørende interessante faktorer. Er skadeutviklingen knyttet til spesielle tider av året? Fryse-/tineproblematikk på vinteren. Vanninntrenging på våren og høsten.

Hva skjer med bindingsstyrken etter hvert som tiden går? Strekningene med variert mengde klebemiddel bør følges opp med nye borkjerneuttak etter for eksempel 5 år, for å se hvordan bindingsstyrken utvikler seg over tid.

Med mer kunnskap om hvordan tilsetting av fluks og de reologiske egenskapene på det inngående bindemiddelet påvirker binding av skitten på underlaget og bindingsstyrken, kunne gitt grunnlag for setting av konkrete krav til klebeemulsjoner.

Det bør gjøres flere undersøkelser av bindingsstyrke på strekninger med lavtemperaturprodusert asfalt.

9 Litteraturliste

- Al-Qadi, I.L., Carpenter, S. H., Leng, Z., Ozer, H., & Trepanier, J.S. (2008), *Tack coat optimization for HMA overlays: laboratory testing*, research report FHWA – ICT-08-023, Illinois Center for Transportation, USA.
- Chen, Y., Tebaldi, G. Roque, R. & Ropp, G. (2012), *Effect of trackless tack interface on pavement top-down cracking performance*, SIIV – 5th International Congress – Sustainability of Road Infrastructures, Procedia Social and Behavioral Sciences 53 (2012) 432 – 439
- Clark, T.M., Rorrer, T.M. & McGhee, K.K. (2010), *Trackless tack coat materials – A laboratory evaluation for performance acceptance*, TRB 2010 annual meeting CD-ROM.
- Hariyadi, E.S., Auram, K. P. & Subagio, B.S. (2013), *Theoretical study of bonding condition at the interface between asphalt pavement layers*, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9
- Jaskuła, P. (2014), *Influence of compaction effectiveness on interlayer bonding of asphalt layers*, The 9th International Conference “Environmental Engineering” Section: Roads and Railways
- Kulkarni, M. B. (2004), *Effect of tack coats, prim coats and baghouse fines on composite asphalt pavements*, PhD thesis, North Carolina State University, USA.
- Lai, J.S. (1987) Investigation of causes and development of solutions to blistering of asphalt layers, Final Report GaDOT Reasearch Project No. 8508, Georgia Department of Transportation Office of Materials and Research.
- Magnusson, R. (2013), *Vidhäftning mellan beläggningsslager: utvärdering av dragtest och jämförelse med skjuvtest*, Prosjekt liming del 2 slutrapport, SBUF projekt 12740.
- Mohammad, L.N., Elseifi, M.A., Bae, A., Patel, N., Btton, J., & Scherocman, J. A. (2012), *Optimization of tack coat for HMA placement*, NCHRP report 712, Transportation Research Board, Washington, D. C
- Muench, S. T. & Moomaw, T. (2008), *De-bonding of hot mix asphalt pavements in Washington State: An initial investigation*, WA – RD 712.1, Washington State, USA.
- Raab, C., Partl, M.N., Halim, Abd El Halim Omar Abd El (2009), *Evaluation of interlayer shear bond devices for asphalt pavements*, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vilnius Gediminas Technical University. Obtained from <http://www.thefreelibrary.com>
- Raab, C. & Partl, M. (2004), *Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures*, 3rd Euroasphalt & Eurobitume congress, Vienna, Austria.

Raab, C. & Partl, M. (2004), *Effect of tack coat on the interlayer shear bond of pavements*, Proceedings of the 8th conference on asphalt pavements for southern Africa, Sun City, South Africa.

Raab, C. (2014), E-post kommunikasjoner

Raposeiras, A.C., Castro-Fresno, D., Vega-Zamanillo, A., Rodriguez-Hernandez, J (2013), *Test methods and influential factors for analysis of bonding between bituminous pavement layers*, Construction and Building Materials, vol. 43 (2013), s. 372–381.

Sutanto, M. H. (2009), *Assessment of bond between asphalt layers*, PhD thesis, University of Nottingham, Department of Civil Engineering, U.K.

West, R. C., Zhang, J. & Moore, J. (2005), *Evaluation of bond strength between pavement layers*, NCAT report 05 – 08, National Center for Asphalt Technology (NCAT), Auburn University, Alabama, USA.

Vedlegg

1 Flaskeprøver av emulsjon. Penetrasjon og bindemiddelinnhold.

Dato uttatt:	Emulsjon	Type emulsjon	Dato testet:	Bindemiddelinnhold [%]	Penetrasjon [$1/_{10}$] mm
13.06.13	BE-B	C50B4	03.07.13	51,6 %	147
18.06.13	BE-C	C50B3	05.07.13	50,5 %	150
10.07.13	BE-A	C50BF3	11.07.13	52,2 %	164
19.06.13	BE-B	C50B4	17.07.13	52,0 %	141
21.06.13	BE-C	C50B3	18.03.13	51,6 %	138
27.06.13	BE-A	C50BF3	19.07.13	51,6 %	164
28.06.13	BE-B	C50B4	31.07.13	50,9 %	142
28.06.13	BE-A	C52BF3	01.08.13	50,7 %	157
14.08.13	BE-A	C52BF3	15.08.13	51,9 %	159
26.08.13	BE-A	C52BF3	04.09.13	51,9 %	-
20.08.13	BE-B	C50B4	05.09.13	51,1 %	137
09.09.13	BE-D	C50B3	11.09.13	51,4 %	145
-	BE-B	C50B3	25.09.13	51,7 %	140
03.09.13	BE-B	C50B4	21.10.13	45,6 %	131
03.09.13	BE-A	C52BF3	14.10.13	51,2 %	178
03.09.13	BE-B	C50B4	15.10.13	51,3 %	148
19.09.13	BE-A	C52BF3	16.10.13	52,6 %	171
09.10.13	PMBE-O	C50BP4	-	-	141
07.05.14	PMBE-O	C50BP4	28.05.14	51,6 %	141
07.07.14	BE-B	C50B4	01.09.14	51,3 %	-
03.09.14	BE-B	C50B4	11.09.14	51,5 %	161 *
03.09.14	PMBE-O	C50BP4	17.09.14	52,0 %	133
12.09.14	BE-B	C50B4	23.09.14	52,3 %	-
16.09.14	BE-B	C50B4	24.09.14	51,9 %	-
23.09.14	BE-A	C52BF3	01.10.14	51,4 %	-
18.09.14	BE-C	C50B4	05.11.14	49,5 %	160
11.09.14	BE-B	C50B4	06.11.14	51,0 %	150 *
21.08.14	BE-B	C50B4	19.11.14	51,0 %	146 *
10.08.14	BE-B	C50B4	20.11.14	31,6 %	149 *

*Disse bitumenemulsjonene er gjenvunnet i henhold til NS-EN 13074-1, i motsetning til de andre bitumenemulsjonene som er gjenvunnet i henhold til ASTM 6934-08. Alle de polymermodifiserte emulsjonene er gjenvunnet i henhold til NS-EN 13074-1.

2 Strekninger med mengde, tekstur og bindingsstyrke

Prøver fra strekninger som er lagt, tatt ut og testet i 2013

Strekning:	Hvor i vegbanen:	Asfalt under limlaget	Underlaget: 0=nytt 1=gammelt F= Frest	Asfalt over limlaget	Type lim	Mengde lim; restbindemiddel [kg/m ²]	Tekstur MPD	Antall paral- leller	Peak Shear Stress τ_{max} [Mpa]	Std.- avvik	Type brudd i limlaget, i asfalten over eller under
Strekning A	i hj.spor	LTP-Agb11-160/220	0	Ab11-70/100	BE-A	0,085	x	4	0,96	0,07	amu
Strekning A	mlm hj.spor	LTP-Agb11-160/220	0	Ab11-70/100	BE-A	0,085	x	3	1,00	0,03	amu
Strekning B	i hj.spor	gml	1	LTP-Agb11	BE-B	0,083	0,97	3	0,56	0,06	lim
Strekning B	mlm hj.spor	gml	1	LTP-Agb11	BE-B	0,083	0,97	3	0,56	0,04	lim
Strekning C	mlm hj.spor	gml	1	Ab11-70/100	BE-A		1,34	3	1,04	0,10	lim
Strekning C	i hj.spor	gml	1	Ab11-70/100	BE-A		1,34	3	1,02	0,05	lim
Strekning E	i hj.spor	Ab11-70/100	0	Ska11-PmB	BE-A	0,10	x	3	1,17	0,00	lim
Strekning E	mlm hj.spor	Ab11-70/100	0	Ska11-PmB	BE-A	0,10	x	3	1,15	0,02	lim
Strekning D	mlm hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,08	x	3	1,38	0,07	lim
Strekning D	i hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,08	x	3	1,35	0,04	lim + amu
Strekning F	mlm hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,20	x	3	0,94	0,07	lim
Strekning G	i hj.spor	LTP Agb 11	0	LTP Agb 11	BE-B	0,14	x	3	0,54	0,11	lim
Strekning G	mlm hj.spor	LTP Agb 11	0	LTP Agb 11	BE-B	0,14	x	2	0,57	0,04	lim

Prøver fra strekninger som er lagt, tatt ut og testet i 2013 - fortsetter fra forrige side.

Strekning:	Hvor i vegbanen:	Asfalt under limlaget	Underlaget: 0=nytt 1=gammelt F= Frest	Asfalt over limlaget	Type lim	Mengde lim; restbindemidde l [kg/m ²]	Tekstur MPD	Antal I paral- leller	Peak Shear Stress τ_{max} [Mpa]	Std.- avvik	Type brudd i limlaget, i asfalten over eller under
Strekning H	mlm hj.spor	Ag16	0	Ab11-PmB	BE-C	0,14	x	4	1,37	0,03	lim+amu
Strekning H	i hj.spor	Ag16	0	Ab11-PmB	BE-C	0,14	x	4	1,25	0,07	lim+amu
Strekning I	mlm hj.spor	gml	1		BE-A	0,160	1,210	2	0,85	0,06	lim
Strekning I	mlm hj.spor	nytt	0	Ab11	BE-A		x	3	1,16	0,03	lim
Strekning J	mlm hj.spor	gml	1	Ab11	BE-B	0,194		2	1,17	0,06	lim
Strekning K	mlm hj.spor	gml	1	Ab11	BE-B	0,177		3	1,39	0,07	Lim
Strekning L	ikke gitt	frest	F	LT med PmB	BE-B		f	6	1,27	0,05	Lim
Strekning M	ikke gitt	frest	F	Pmb	BE-B		f	6	1,29	0,15	Lim
Strekning N	i hj.spor	frest	F	Ag 11	PMBE-O		f	2	0,66	0,11	lim
Strekning N	mlm hj.spor	gml	1	Ag 11	PMBE-O		x	3	0,56	0,08	lim

Prøver fra strekninger lagt i 2013, tatt ut og testet i 2014

Strekning:	Hvor i vegbanen:	Asfalt under limlaget	Underlaget: 0=nytt 1=gammelt F= Frest	Asfalt over limlaget	Type lim	Mengde lim; restbinde- middel [kg/m ²]	Tekstur MPD	Antall paral- leller	Peak Shear Stress τ_{max} [Mpa]	Std. avvik	Type brudd i limlaget, i asfalten over eller under
Strekning D	i hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,080	x	2	1,420	0,014	lim og litt amu
Strekning D	mlm hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,080	x	2	1,56	0,03	lim
Strekning F	i hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,200	x	3	1,22	0,08	lim og litt amu
Strekning F	mlm hj.spor	Agb 11	0	Ab 11	BE-A	0,200	x	2	1,05	0,07	lim
Strekning G	i hj.spor	LTP Agb 11	0	LTP Agb 11	BE-B	0,140	x	3	0,56	0,04	lim
Strekning G	mlm hj.spor	LTP Agb 11	0	LTP Agb 11	BE-B	0,140	x	3	0,43	0,05	lim
Strekning N	i hj.spor	Frest	F		PMBE-O		f	2	0,80	0,11	lim
Strekning N	mlm hj.spor	Frest	F		PMBE-O		f	2	0,62	0,02	lim

Strekninger lagt, tatt ut og testet i 2014


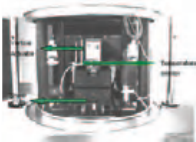
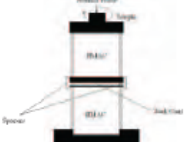

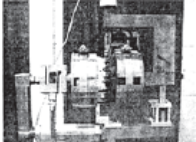
Strekning:	Hvor i vegbanen:	Asfalt under limlaget	Underlaget: 0=nytt 1=gammelt F= Frest	Asfalt over limlaget	Type lim	Mengde lim; restbindemiddel [kg/m ²]	Tekstur MPD	Antall paralleller	Peak Shear Stress τ_{max} [Mpa]	Std. avvik	Type brudd i limlaget, i asfalten over eller under
Strekning O	ikke gitt		1	Ska 11-pmb	PMBE-P		1,47	2	1,10	0,11	lim
Strekning P	i hj.spor		1	Ag 11	BE-D	0,075	0,65	3	0,70	0,08	lim
Strekning P	mlm hj.spor		1	Ag11	BE-D	0,075	0,65	2	0,75	0,06	lim og litt i amo
Strekning P	i hj.spor		1	Ag 11	BE-D	0,150	0,59	3	0,72	0,04	lim
Strekning P	mlm hj.spor		1	Ag11	BE-D	0,150	0,59	2	0,73	0,04	lim
Strekning P	i hj.spor		1	Ag 11	BE-D	0,234	0,64	3	0,57	0,02	lim
Strekning P	mlm hj.spor		1	Ag11	BE-D	0,234	0,64	2	0,65	0,06	lim
Strekning Q	i hj.spor		1	Ab11	BE-D	0,057	1,590	3	1,00	0,03	lim
Strekning Q	mlm hj.spor		1	Ab11	BE-D	0,057	1,590	2	0,89	0,04	lim
Strekning Q	i hj.spor		1	Ab11	BE-D	0,108	1,85	3	0,82	0,13	lim
Strekning Q	mlm hj.spor		1	Ab11	BE-D	0,108	1,850	1	1,03		lim
Strekning Q	i hj.spor		1	Ab11	BE-D	0,186	1,440	3	1,01	0,06	lim
Strekning Q	mlm hj.spor		1	Ab11	BE-D	0,186	1,440	2	1,115	0,007	lim
Strekning R	i hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,135	1,350	3	0,91	0,09	lim
Strekning R	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,135	1,350	2	0,82	0,08	lim og litt i amo
Strekning R	i hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,190	1,860	3	0,88	0,10	lim
Strekning R	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,190	1,860	2	0,93	0,06	lim
Strekning R	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,195	1,550	1	0,80		lim
Strekning R	i hj.spor		1	Agb11	BE-A	> 0,250	1,460	3	0,64	0,06	lim
Strekning R	i hj.spor		±	Agb11	BE-A	-	2,030	3	0,77	0,14	amo

Strekninger lagt, tatt ut og testet i 2014 – fortsetter fra forrige side.

Strekning:	Hvor i vegbanen:	Asfalt under limlaget	Underlaget: 0=nytt 1=gammelt F= Frest	Asfalt over limlaget	Type lim	Mengde lim; restbindemiddel [kg/m ²]	Tekstur MPD	Antall paral- leller	Peak Shear Stress τ_{max} [Mpa]	Std. avvik	Type brudd i limlaget, i asfalten over eller under
Strekning S	i hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,063	0,900	2	1,09	0,04	lim
Strekning S	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,063	0,900	2	0,985	0,007	lim
Strekning S	i hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,134	0,790	2	0,830	0,000	lim
Strekning S	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,134	0,790	2	0,74	0,02	lim
Strekning S	i hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,182	0,990	2	0,80	0,07	lim
Strekning S	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-A	0,182	0,990	2	0,690	0,014	lim
Strekning T	i hj.spor		1	Agb11	BE-B	0,116		3	0,66	0,08	lim
Strekning T	mlm hj.spor		1	Agb11	BE-B	0,116		3	0,75	0,10	lim
Strekning U	Inntil hvitstripe	Frest	F	Ab11	ingen	0,000	f	2	1,78	0,02	lim+amo
Strekning U	70cm h.k	Frest	F	Ab11	BE-B	0,093	f	3	1,50	0,03	lim
Strekning U	120cm H.k	Frest	F	Ab11	BE-B	0,093	f	3	1,33	0,05	lim
Strekning U	60cm h.k	Frest	F	Ab11	BE-B	0,170	f	3	1,24	0,05	lim
Strekning U	90cm H.k	Frest	F	Ab11	BE-B	0,170	f	3	1,10	0,05	lim
Strekning U	i hj.spor	Frest	F	Ab11	BE-B	0,233	f	3	1,26	0,03	lim
Strekning U	mlm hj.spor	Frest	F	Ab11	BE-B	0,233	f	3	1,03	0,08	lim
Strekning V	i hj.spor	Agb 11	0	Agb11	BE-A	0,082	x	3	0,77	0,08	lim
Strekning V	mlm.spor	Agb 11	0	Agb11	BE-A	0,082	x	3	0,80	0,03	lim
Strekning W	i hj.spor	Ag16	0	Ab11	BE-B	0,138	x	2	1,39	0,00	lim
Strekning W	mlm hj.spor	Ag16	0	Ab11	BE-B	0,138	x	2	1,430	0,014	lim
Strekning X	*spredt over en lang strekn.	drens- asfalt	1	Agb11	BE-C	moderat regnvær		10	0,46	0,15	lim

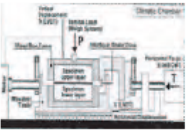

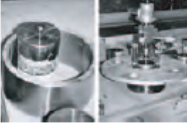
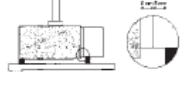
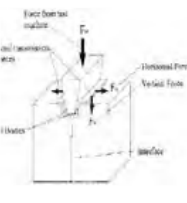

3 Testmetoder for bestemmelse av bindingsstyrke

Tabellen er hentet fra Mohammad et al (2012).

Apparatus	Significance and Use	Procedure	Specimen	Test Results	Lab or in situ	Remark
<p>1. Leutner Shear Test</p> 	The maximum shear load and corresponding displacement are measured to evaluate the bonding property of interface. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A vertical shear load is applied to a double-layered specimen with a strain controlled mode at a constant rate of 2.0 in/min at 21.1°C until failure.	6.0-in-diameter specimen cored from laboratory-compacted composite (12 in × 12 in width by 2.8 in height)	(1) Maximum shear load (2) Corresponding maximum displacement	Lab	No normal load is applied
<p>2. LTRC Direct Shear Test</p> 	Shear strength of the tack coat interlayer is measured to evaluate the bonding property of tack coat. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A horizontal shear load is applied to a dual-layer specimen of asphalt concrete with a stress control mode at a constant rate of 50 lbs/min at a given temperature until the sample is separate. With a climate chamber, the temperature can be set in the range from -20 to 80°C.	(1) 5.9-in-diameter dual-layered specimen cored from the pavement or fabricated in laboratory (2) To be trimmed before testing to ensure the two ends are flat to fit the shear mold (3) Gap width between the shearing platens is around 1 in (25.4 mm)	Shear stress at failure	Lab	(1) Normal load is optional (2) Developed by Louisiana Transportation Research Center (LTRC)
<p>3. TTI Torsional Shear Test</p> 	Plastic shear strength in torsion is measured to evaluate the shear resistance of the interface and the quality of the tack coat.	A twisting moment with constant rate of 2.9 E-04 radian/sec and a normal load is applied on the top of a double-layered cylinder specimen at a constant rate until failure.	(1) Dual-layered cylinder specimen with diameter of 6-in compacted in laboratory using two half-molds (2) Space between the two halves is 0.08 in (2 mm)	(1) Shear strength (2) Construct Mohr-Coulomb failure envelopes to get the cohesion and the tangent of internal friction angle	Lab	Developed by Texas Transportation Institute (TTI)
<p>4. Florida Direct Shear Test</p> 	Bond strength of the tack coat interlayer is measured to evaluate the performance of tack coat.	A vertical shear load is applied to dual-layer asphalt concrete specimen with strain control mode at a constant rate of 2.0 in/min at 25°C until failure.	(1) Dual-layered cylinder specimen with diameter of 6-in (2) Samples can be roadway cores or laboratory-fabricated specimens and do not need to be trimmed to accommodate the device (3) Gap width between shear plates is 0.19 in	Shear strength at failure	Lab	(1) No normal loads can be applied during the test (2) Developed by Florida DOT
<p>5. Virginia Shear Fatigue Test (36)</p> 	The number of shear loading cycles at failure is used to determine the optimum application rate of asphalt binder tack at interface between two layers.	Cyclic shear load [a 0.015-in deflection was applied to the specimen in the form of a 0.10-s half-sine wave, followed by a relaxation period of 0.9 s (the total cycle is 1s)] is applied at the geocomposite membrane interface of dual-layer sample composed of concrete and HMA specimens until failure at ambient temperature.	(1) Composite cylinder specimen with diameter of 3.7 is composed of concrete core, geocomposite membrane, HMA, and tack coat applied on the interface. (2) Concrete core is cored from laboratory-prepared concrete slab. (3) The upper HMA layer is gyratory-compacted on the top of concrete core after applied geocomposite membrane and tack coat.	(1) Maximum shear stress of each cycle (2) Maximum shear stress against the number of cycles of failure (3) Optimal tack coat application rate	Lab	Developed by Virginia Polytechnic Institute & State University and the Virginia Tech Transportation Institute





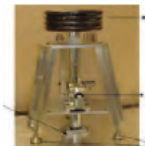

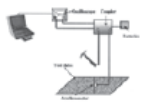
tabellen fortsetter på neste side.....

Tabellen fra Mohammad et al (2012) fortsetter fra forrige side

Apparatus	Significance and Use	Procedure	Specimen	Test Results	Lab or in situ	Remark
<p>6. ASTRA Interface Shear Test</p> 	<p>Maximum interface shear stress is measured to evaluate the shear resistance property of interface. The shear resistance property is used to evaluate the tack coat properties.</p>	<p>Horizontal load is applied along the interface of dual-layered sample at constant rate until failure; meanwhile, a constant normal load is applied on top of the specimen.</p>	<p>(1) Dual-layered cylindrical specimen with diameter of 3.94 in (2) Laboratory-fabricated or extracted from pavement</p>	<p>Shear stress at failure</p>	<p>Lab</p>	<p>If carried out at different normal load, a Mohr-Coulomb failure envelope can be obtained.</p>
<p>7. Layer-Parallel Direct Shear (LPDS)</p> 	<p>Nominal average shear stress and maximum shear stiffness are measured to determine the in-layer and interlayer shear properties of asphalt concrete layers. The in-layer shear properties are used to evaluate the quality of the mixture and the interlayer shear properties are used to evaluate the tack coat properties.</p>	<p>Vertical shear load is applied to a composite specimen with strain control mode at constant rate.</p>	<p>(1) Cylindrical composite specimen of 3.94-in diameter (2) Laboratory-fabricated sample and pavement core (3) The specimen needs to be glued</p>	<p>Tensile strength</p>	<p>Lab</p>	<p>(1) Shear-plane can be along interface or within the layers (2) Modified by EMPA, Swiss Federal Laboratory for Materials Testing and Research</p>
<p>8. Switzerland Pull-Off Test</p> 	<p>Tension strength values are measured to evaluate the interlayer shear performance between different asphalt concrete layers. Shear performance is used to evaluate the quality of the tack coat and in comparison of various tack coat materials.</p>	<p>A tensile load is applied to asphalt concrete specimen composed of two layers at constant rate.</p>	<p>(1) Cylindrical composite specimen of 3.94-in diameter (2) Laboratory-fabricated sample and pavement core (3) The specimen needs to be glued</p>	<p>Tensile strength</p>	<p>Lab</p>	<p>Test is carried out according to German testing specification ZTV-SIB 90</p>
<p>9. Laboratorio de Caminos de Barcelona Shear Test (LCB)</p> 	<p>Shear strength of the tack coat interlayer is measured to evaluate the bonding property of tack coat. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.</p>	<p>The dual-layer specimen with tack coat interlay is used as a beam located over two supports and a vertical load is applied to the specimen at a constant deformation speed of 0.05 in/min in the middle of the two supports until failure.</p>	<p>(1) Cylindrical composite specimen of 3.94-in diameter and 7.0-in high (2) Laboratory-fabricated sample and/or pavement core</p>	<p>(1) Shear strength (2) Shear modulus and the specific cracking energy</p>	<p>Lab</p>	<p>(1) No normal load can be applied during this test (2) Developed by DOT, Technical University of Catalonia, Spain</p>
<p>10. Wedge-Splitting Test</p> 	<p>Maximum horizontal force (F_{max}) and specific fracture energy (G_F) are determined to characterize the fracture-mechanical behavior of layer bonding. The fracture-mechanical behavior is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.</p>	<p>A vertical load is applied through a wedge to a dual-layered specimen with a groove and starter notch along the interface at a constant rate until complete separation of the specimen.</p>	<p>(1) Cubic or cylindrical composite specimen with interface in the middle and a start notch in the interface (2) Laboratory-fabricated or cored or cut from pavement</p>	<p>(1) Maximum horizontal force (2) Specific fracture energy</p>	<p>Lab</p>	<p>Developed by Technical University, Austria</p>
<p>11. Dynamic Interaction Test</p> 	<p>Interlayer reaction complex modulus KT^* is determined for the pavement structure analysis. The pavement structure analysis evaluates the capacity of the pavement and can be used to predict the remaining life of the pavement.</p>	<p>A sinusoidal shear force is applied to dual-layered specimen at particular temperature and given load frequency.</p>	<p>Cylindrical composite specimen of 3.94-in diameter, cored from laboratory-compacted twin layer slab or from pavement.</p>	<p>The norm of Interlayer reaction complex modulus KT^* and phase angle</p>	<p>Lab</p>	<p>Developed by University of Naples, Italy</p>



tabellen fortsetter på neste side....

Tabellen fra Mohammad et al (2012) fortsetter fra forrige side

Apparatus	Significance and Use	Procedure	Specimen	Test Results	Lab or in situ	Remark
<p>12. NCAT Shear Test</p> 	The interface shear strength of core samples is measured to evaluate the bonding property of pavement layers. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A vertical shear force is applied to dual-layered specimens along the interface with strain control mode at constant rate until failure.	(1) Cylindrical composite specimen with 5.9 in (2) Height of the core above the interface being tested is greater than 3 in. The height of each layer should be greater than 1.97 in, less than 5.9 in.	Bond shear strength	Lab	Developed by National Center for Asphalt Technology (NCAT)
<p>13. HasDell EBSTTM Emulsion Shear Test</p> 	The bond strength between two layers is measured to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A shear force is applied along the interface until failure.	(1) Cylindrical composite specimen with 5.9 in diameter (2) 2.95-in x 2.95-in-square composite specimen	Bond shear strength	Lab or in situ	Marketed by R/H Specialty and Machine, Terre Haute, Indiana
<p>14. Traction Test</p> 	Tensile strength of the tack coat interlayer is measured to evaluate the bonding property of tack coat. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A tensile force is applied at constant rate of 54 lb/s to a cylindrical sample until failure	Cylindrical lab or field sample of 4-in diameter	Bond tensile strength	Lab or in situ	Developed by Ministère des Transports du Québec, Canada
<p>15. The ATacker™ Test</p> 	Shear and/or tensile strength of tack coat material are measured to evaluate its bonding property. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A pull and/or torque force is applied to detach the tack-coated plates or detach the contact plate and tack-coated pavement.	Tack-coated plates or attach plate to tack-coated pavement	Tensile strength and/or shear strength	Lab or in situ	Developed by Introtek, Inc.
<p>16. UTEP Pull-Off Test</p> 	Tensile strength of tack coat material is measured to determine its bonding property. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A torque force is applied to detach the tack-coated plates or detach the contact plate and tack-coated pavement	Tack-coated plates or attach plate to tack-coated pavement	Tensile stress at the point of failure	Lab or in situ	Developed by University of Texas at El Paso
<p>17. UTEP Simple Pull-Off Test</p> 	Tensile strength of tack coat material is measured to determine its bonding property. The bonding property is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	A tensile force is applied directly to pull off the contact plate from the tack-coated surface.	Tack-coated plates or attach plate to tack-coated pavement	Tensile stress at failure	Lab or in situ	Developed by University of Texas at El Paso
<p>18. Impulsive Hammer Test</p> 	The vertical dynamic response of pavement and fractal dimension (FD) are determined to evaluate the bond condition between asphalt layers in field. The bonding condition is used to determine the appropriateness of the material for use as tack coat.	An impulsive loading is applied with a hammer to the pavement surface at particular locations and given loading frequency.	Pavement in field	FD number	In situ	Under development at Nottingham University

tabellen fortsetter på neste side.....

Tabellen fra Mohammad et al (2012) fortsetter fra forrige side

Apparatus	Significance and Use	Procedure	Specimen	Test Results	Lab or in situ	Remark
19. Torque Bond Test 	Torque force at failure is measured to evaluate the in-place bond effectiveness of wearing course system.	A torque force is applied to core sample from pavement with a torque wrench to failure.	Core sample of 3.94-in or 5.9-in diameter	Bond strength	In situ	Developed by Highway Agency, United Kingdom
20. In situ Shear Stiffness Test 	The shear strength is measured to evaluate the shear properties of asphalt concrete pavements in the field. Shear properties of pavement relate to the performance of the pavement.	A rotational force is applied to the pavement through a test plate, meanwhile a normal weight is provided by the test equipment.	Pavement in field	Shear strength and shear modulus	In situ	Developed by Carleton University, Canada



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen