

Rapport nr. 87

Mixdesign



Et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen Telemark og Icopal as, støttet av SND



September 1997

Telemark

Mixdesign

Sammendrag

Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (AUT) er et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen, Telemark og Icopal as med støtte fra Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (SND). Hovedformålet med prosjektet er å bedre bæreevnen og utvikle funksjonelle slitedekker og vedlikeholdsmetoder, fortrinnsvis ved bruk av kalde masser. Resultatene fra AUT er rapportert i en hovedrapport som er en samlet oppsummering av hele prosjektet, og 6 temarapporter.

I temarapport "Mixdesign" blir hele prosessen fra vurdering av tilslag til testing av kaldasfaltens materialeegenskaper gjennomgått. Et av delmålene i AUT har vært å sikre god overensstemmelse mellom laboratorieresultater og forhold i felt. Det er hovedsakelig emulsjonsmasser som har vært benyttet både i produksjon og til tester i laboratoriet, men skumbitumenmasser er også omtalt. Standard proporsjoneringsmetoder som benyttes i Norge er grundig gjennomgått og verifisert. En del metoder er forbedret og noen nye er utviklet og utprøvd i prosjektet. I arbeidet med vurdering av laboratoriemetoder og kaldasfaltens egenskaper har AUT samarbeidet med Veglaboratoriet, Sintef og Akzo Nobel. Det har vært arbeidet med bruk av gyratorisk kompaktor til prøvetillaging og testing av materialeegenskaper. Forslag til metode og tolkning av data er utarbeidet. Utprøving av metoder for bedømmelse av massens bearbeidbarhet er foretatt, og en ny avrenningstest er utarbeidet. Emulsjonsmasse er testet i treksialforsøk, utmatningsforsøk og analyser av hulromsstrukturen er foretatt. En del generelle opplysninger av data som er kjent fra håndbok 018 og tidligere praksis er tatt med for å binde stoffet sammen i et forsøk på å beskrive hele mixdesignprosessen, slik at rapporten til en viss grad kan leses som en håndbok i vurdering av kaldasfalt. Rapporten avsluttes med et kapittel om analysemetoder for bitumenemulsjon.

Emneord: *Kaldasfalt, emulsjonsmasse, bitumenemulsjon, proporsjonering*

Kontor: *3510 Vegdekkkontoret*
Saksbehandler: *Roar Telle, Icopal as og Josten Myre, Veglaboratoriet* /BN
Dato: *September 1997*

Statens vegvesen
Telemark

Rapporten kan fås ved henvendelse til Veglaboratoriet, Arkivet:
Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Forord

Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (AUT) er et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen og Icopal, Divisjon Vei. Prosjektet er støttet av Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (SND). Hovedformålet med prosjektet er å bedre bæreevnen og utvikle funksjonelle slitedekker og vedlikeholdsmetoder, fortrinnsvis ved bruk av kalde masser. Prosjektet som startet opp i 1994 og avsluttes i 1997, er delt i en forsknings- og utviklingsdel med et budsjett på 13,5 mill. kr og en produksjonsdel med et budsjett på 19,5 mill. kr.

Resultatene fra AUT er rapportert i en hovedrapport og 6 temarapporter;

1. Planleggingsverktøy
2. Mixdesign
3. Produksjon
4. Utlegging
5. Valsing
6. Driftserfaringer

Denne temarapporten omhandler mixdesign (temarapport nr. 2) og er utarbeidet av:

- Roar Telle, Icopal as (ansvarlig for temarapport "Mixdesign")
- Jostein Myre, Vegdirektoratet (faglig prosjektleder)
- Ivar Horvli, NTNU/Sintef
- Torbjørn Jørgensen, Vegdirektoratet
- Knut Skjellnan, Icopal as
- Morten Thorbjørnsen, Statens vegvesen, Telemark
- Anne-Lise Vaa, Icopal as

Temarapport nr. 2, Mixdesign, omfatter prosessen fra uttak av tilslagsmaterialer, testing av materialer på laboratoriet, proporsjonering, til utarbeidelse av arbeidsresept for produksjon av kald asfalt. Denne prosessen er skjematisk vist i figur 1.1. I tillegg er de undersøkelser som er utført i AUT i tilknytning til laboratoriemetoder, emulsjonsteknologi og beskrivelse av kald asfaltens egenskaper, tatt med i denne temarapporten.

Temarapport 2, Mixdesign, vil kunne leses som en håndbok i proporsjonering av kalde asfaltmasser (bærelag og slitelag). Samtidig er forsøk som er utført i prosjektet omtalt, både vellykkede og mindre vellykkede, samt en del verifikasjoner av tidligere undersøkelser, som ligger til grunn for normaler og praksis når det gjelder proporsjonering. Rapporten behandler produksjon av kaldasfalt i kaldblandeverk, og kommer i liten grad inn på gjenbruk eller fresestabilisering av masser fra vegkroppen.

I arbeidet med utprøving av laboratoriemetoder har vi samarbeidet med Akzo-Nobel i Stockholm vedrørende sammenlikning av verksblanding og blanding av masse i laboratoriet og utprøving av en styrketest for kaldasfalt.

SINTEF avdeling Vegteknikk, har utført mange oppdrag for AUT. Disse undersøkelsene er beskrevet i kapittel 6, "Egenskaper for kald asfalt".

INNHOLDSFORTEGNELSE

	side
1 Innledning	6
2 Tilslagsmaterialer	8
2.1 Tiltak ved knusing	8
2.2 Urtak av steinmaterialprøver	8
2.3 Vurdering av egnethet	9
2.3.1 Visuell vurdering	9
2.3.2 Korngradering	10
2.3.3 Mekanisk styrke	10
2.4 Reaktivitet, metylenblåtest	11
2.4.1 Generelt	11
2.4.2 Metylenblåtesten	12
2.5 Petrografi og mineralogi	13
3 Valg av masstype og bindemiddeltype	15
3.1 Bærelag	15
3.1.1 Generelt	15
3.1.2 Masstype	15
3.1.3 Basisbindemiddel	16
3.2 Slitelag	19
3.2.1 Masstype	19
3.2.2 Basisbindemiddel	20
3.3 Erfaringer fra AUT	20
4 Valg og tilpassing av emulsjon	23
4.1 Produksjon av emulsjon	23
4.2 Valg av bitumeninnhold	23
4.3 Blandeforsek	24
4.3.1 Brytning	24
4.3.2 Bearbeidbarhet	25
4.3.3 Omhylling	25
4.3.4 Vedheft	25
5 Proporsjonering	26
5.1 Valg av sammensetning	26
5.1.1 Kornkurve	26
5.1.2 Finstoff	26
5.1.3 Omhylling	26
5.2 Prøvetillaging	28
5.2.1 Generelt	28
5.2.2 Håndtering av materialprøver	28
5.2.3 Vanninnhold	29
5.2.4 Bitumeninnhold	31
5.2.5 Laboratorieblending	32
5.2.6 Tillaging av prøveklosser	33
5.2.7 Kondisjonering	33

	side
5.2.8 Testing av prøveklosser	34
5.2.9 Erfaringer fra AUT	36
5.3 Bearbeidbarhet	49
5.3.1 Generelt	49
5.3.2 Bearbeidbarhet målt med Lab. screed	49
5.3.3 Vurdering av bearbeidbarhet med gyratorisk kompaktor	53
5.4 Avrenning	55
5.4.1 Generelt	55
5.4.2 Erfaringer fra felt	55
5.4.3 Laboratorietest	55
5.4.4 Ny avrenningstest	56
5.5 Initialstyrke	57
5.6 Vurdering av resultater	58
6 Egenskaper for kald asfalt	59
6.1 Utmatting	59
6.2 Lastfordeling og stabilitet	62
6.2.1 Generelt	62
6.2.2 Prøver	62
6.2.3 Dynamisk treaksialtesting	63
6.2.4 Spaltestrekkundersøkelse	74
6.2.5 Plastiske egenskaper	77
6.2.6 Konklusjoner	79
6.3 Vurdering av hulrommets betydning	81
6.3.1 Generelt	81
6.3.2 Hulrommets utforming	81
6.3.3 Totalt hulromsinnhold	82
6.3.4 Analysering av hulrom i kaldasfalt	83
6.3.5 Hulrom målt i dekker lagt i AUT	85
6.4 Vurdering av massens egenskaper ved bruk av gyratorisk kompaktor	86
6.4.1 Generelt	86
6.4.2 Spredning i enkeltresultater	87
6.4.3 Valg av innstilling for kompaktering av prøver til statistisk indirekte strekk forsøk	88
6.4.4 Bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet	90
6.4.5 Sammendrag	94
7 Utvikling av emulsjonsteknologi	96
7.1 Generelt	96
7.2 Dråpestørrelsesfordeling	96
7.2.1 Mål og hensikt	96
7.2.2 Beskrivelse av metoden	97
7.2.3 Teoriutdypning	98

	side
7.2.4 Erfaringer med metoden i AUT	99
7.2.5 Anvendelse av resultater	99
7.2.6 Alternative utstyr / prinsipper	100
7.3 Bestemmelse av fri amin	101
7.3.1 Generelt	101
7.3.2 Beskrivelse av metoden	101
7.3.3 Teori	102
7.3.4 Erfaringer med metoden i AUT	103
7.4 Dråpetensiometer	104
7.4.1 Generelt	104
7.4.2 Måleprinsipp	105
7.4.3 Analyseresultater	106
7.4.4 Anvendelse av resultater	106
7.5 Zetapotensiale	107
7.5.1 Mål og hensikt	107
7.5.2 Beskrivelse av metoden	107
7.5.3 Teoriutdyping	108
7.5.4 Erfaringer med metoden i AUT	109
8 Konklusjoner	110
9 Litteratur	112
Vedlegg	113
Vedlegg 1 : Skjema for uttak av steinmaterialer	113
Vedlegg 2 : Skjema for vurdering av tilslag til kalde masser	116
Vedlegg 3 : Metode for vurdering av belegg	118
Vedlegg 4 : Metodebeskrivelse metylenblåtest	121
Vedlegg 5 : Feltmetode AUT, omhylling og vedheft	123
Vedlegg 6 : Vedheftsmetode AUT	127
Vedlegg 7 : Eksempel på arbeidsresept	130
Vedlegg 8 : Metodebeskrivelse AUT avrenningstest	132
Vedlegg 9 : Prøveprogram for dynamisk treaksialforsøk og spaltestrekkforsøk	137
Vedlegg 10 : Forsøksprosedyrer for treaksialprøving	139

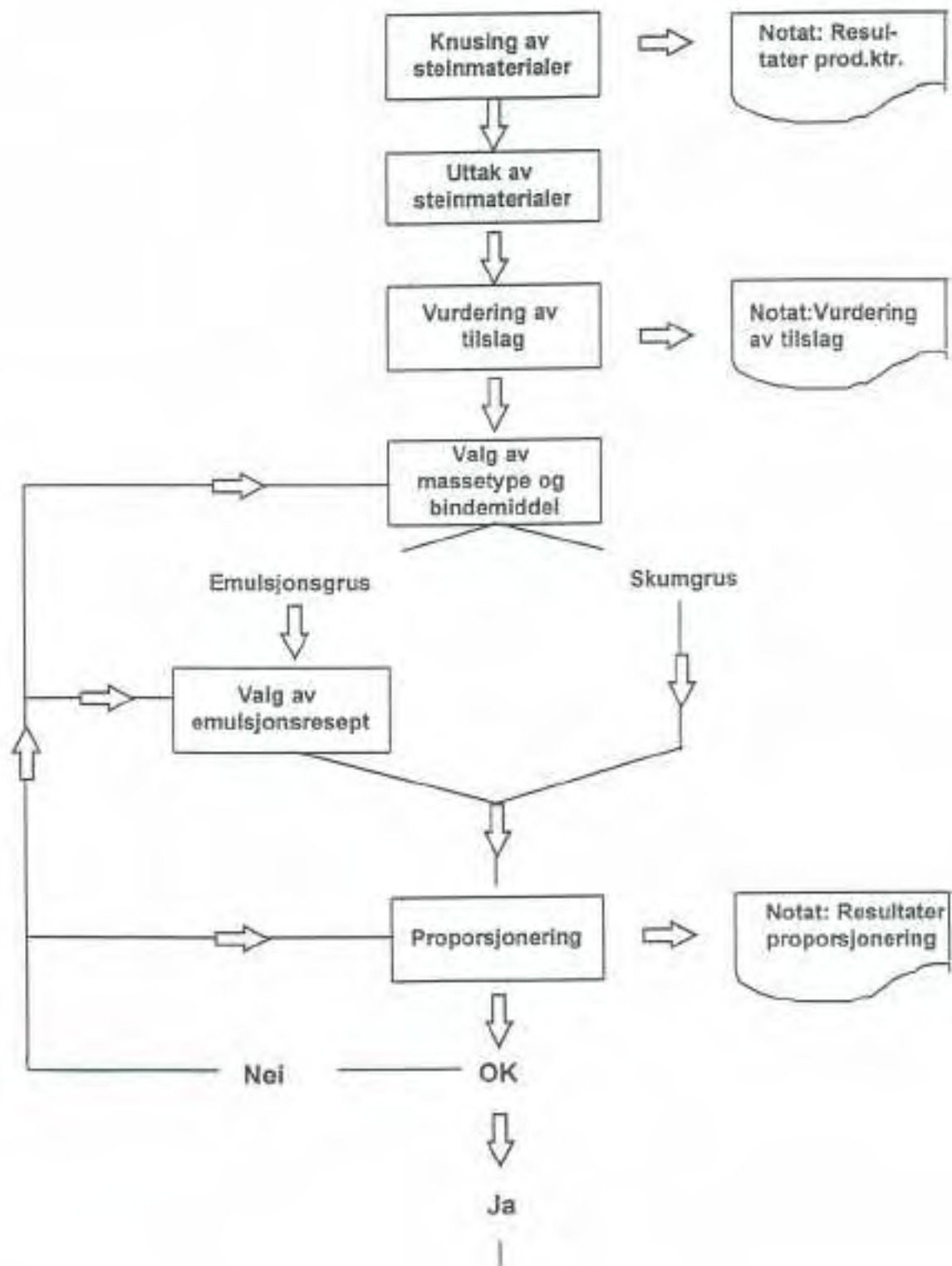
1 Innledning

I AUT var en av målsetningene å forbedre laboratoriemetoder for vurdering av kald asfaltens egenskaper. Det ble spesielt arbeidet med: bearbeidbarhetstest, avrennings-test og bruk av gyatorisk kompaktor. I denne rapporten er kun tester som utføres i laboratoriet forut for en produksjon omtalt. Tester i felt, f.eks. densitetsmåling og måling av initialstyrke, er omtalt i temarapport "Valsing".

Mixdesign prosessen omfatter uttak av materialprøver, vurdering av tilslag, valg av masstype og bindemiddel, tilpasning av bindemiddel og proporsjonering. Gangen i denne prosessen er vist i figur 1.1. En optimal mixdesign vil kunne medføre at blanding og testing utføres flere ganger. For å sikre en god kvalitet på mixdesign prosessen er det viktig å sette av tilstrekkelig tid til gjennomføringen.

Noen av de metodene for proporsjonering av kaldasfalt som er beskrevet i veiledninger og normaler er etterprøvd og verifisert i AUT. Det gjelder tillaging av prøveklosser med statisk presse, kondisjoneringsbetingelser og utregning av lastfordelingskoeffisient på grunnlag av indirekte strekk forsøk.

Kapitlene 2 til 5 inneholder mixdesign prosessen. Kapittel 6 beskriver kald asfaltens egenskaper, og kapittel 7 omtaler undersøkelser av analysemetoder for emulsjoner.



Figur 1.1 Mixdesignprosessen for kaldasfalt

2 Tilslagsmaterialer

2.1 Tiltak ved knusing

Kald asfalt benyttes som oftest på lavtrafikkerte veier i områder med stor avstand til stasjonære varmblendeverk og stasjonære pukkverk. I disse områdene er det av stor økonomisk betydning å kunne benytte lokalt tilslag i nærheten av parsellen hvor asfalten skal legges. Disse tilslagsmaterialene produseres vanligvis med enkle mobile knuseverk.

For å sikre en god kvalitet på kaldasfalten som skal produseres må det stilles følgende krav til tilslaget:

- materialene må splittes i to eller tre sorteringer, for å gi en ensartet kornfordeling i asfaltmassen
- finsorteringen må være homogen, da variasjoner i finstoffinnhold gir forskjellig brytning (hvis emulsjon benyttes som bindemiddel)
- de grove steinene må ikke ha for mye belegg, da dette hindrer god vedheft mellom bitumen og stein. Ved bruk av emulsjon, bryter denne på belegget.
- materialene må ikke inneholde for mye vann. I en kaldproduksjon er det normalt ingen mulighet for å redusere vanninnholdet i tilslaget. Skumbitumen tåler normalt noe mer vann i tilslagsmaterialene enn bitumenemulsjon.

Det er fordelaktig å iverksette tiltak for å sikre god egnethet for produksjon av kaldasfalt allerede ved knusing av tilslaget. Tiltakene kan omfatte:

- regulering av fuktighet, f.eks. tildekking av finstoffsorteringen.
- utsikting av finstoff etter grovknuser
- reduksjon av belegg på grovstein ved å bruke minst mulig vannpåsprøyting under knusing, og ha god siktekapasitet.
- vasking for å fjerne belegg på grovsorteringen(e).

Det er billigere å foreta tiltak under knuseprosessen enn å gå inn med tiltak for å forbedre tilslaget etter at knusingen er ferdig.

Det er en fordel om tilslaget produseres minimum 3-4 uker før produksjonen av kaldasfalt starter. Nyknust steinmateriale er svært reaktivt, og endringen i reaktivitet er størst den første tiden etter knusing. Dette vil påvirke emulsjonens brytningstid. Det er også en fordel at materialet blir fuktet en tid før det benyttes. Tilsetning av vann til tørre materialer på transportbåndet til blandekammer er uheldig da fuktigheten ikke rekker å fordele seg på en tilfredsstillende måte.

2.2 Uttak av steinmaterialer

Riktig uttak av prøver av tilslagsmaterialer er en viktig del av proporsjoneringen av kaldmasser. Det er avgjørende at den uttatte prøven er representativ for det som senere vil bli brukt i selve produksjonen. Uttatte steinprøver danner grunnlaget for valg av

emulsjon eller skum. Det er derfor viktig at råvaretilstanden (kornfordeling, belegg og fuktighet) i prøven bevares så godt som mulig.

I en lågerhaug kan det lett oppstå separasjon og fuktigheten vil ofte være forskjellig i overflaten sammenlignet med lenger inne i haugen. Massen ytterst i haugen er også mer utsatt for regn og andre ytre påvirkninger som kan påvirke reaktiviteten og vaske bort belegg. Det er derfor absolutt nødvendig å bruke maskinelt utstyr ved uttak av prøver. Traktorgraver, hjullaster e.l. benyttes for å komme inn i haugen.

Uttak av materialprøver utføres som beskrevet i håndbok 015 "Feltundersøkelser".

- 15 241 "Graving og sjakting"
- 15 254 "Prøvetaking av løsmasser"

Prøven tas ut i plastsekk eller spann som lukkes tett igjen slik at naturlig fuktighet bevares. Sekker eller spann merkes med forekomst, sortering, dato og navn på den som har tatt ut prøven.

I AUT ble det benyttet et eget skjema i forbindelse med uttak av steinmaterialer, se vedlegg 1. Her skal man gi opplysninger om bl.a. forekomst, sortering og lagringsforhold. Skjemaet skal følge prøven inn til laboratoriet.

2.3 Vurdering av egnethet

På laboratoriet analyseres tilslagsmaterialet for å vurdere egnetheten for bruk i kalde bitumenstabiliserte bærelag eller slitelag.

Det foretas først en ren visuell vurdering av steinmaterialet for å få et inntrykk av forekomsten. Det tas sikrekurve av alle sorteringer. På sorteringer over 6 mm vurderes belegget ved våtsikting i tillegg til tørrsikting hvis det ser ut til å være belegg på steinmaterialet. For å teste bruksegenskaper foretas det blandeforsøk med emulsjon eller skumming. For bærelagsmasser bestemmes lastfordelingskoeffisient, jfr. kap.5. Det kan også være nødvendig å finne optimalt vanninnhold ved hjelp av Modifisert Proctor. I AUT ble "skjema for vurdering av tilslag til kalde masser" benyttet, se vedlegg 2. Etter analysering må man ta en samlet vurdering av tilslagsmaterialets egnethet for bruk i kalde bituminøse masser. Finner man materialet uegnet bør man på et tidlig tidspunkt komme fram til eventuelle tiltak som kan bedre kvaliteten.

2.3.1 Visuell vurdering

Andel knuste flater

En visuell vurdering av tilslagsmaterialene omfatter forholdet mellom andelen knuste og uknuste flater, samt belegg. Tilslagsmaterialet skal vurderes slik det foreligger. Forholdet mellom andelen knuste og uknuste flater påvirker både massens stabilitet og vedheftsegenskaper. Når det gjelder stabilitet er det krav til at knust grus brukt som bærelag skal inneholde minst 50 % knuste flater, se Håndbok 018 kap.5.23.11. Ved produksjon av tette emulsjonsmasser er kravet minimum 20 % knuste flater for

materiale ≥ 4 mm, og for åpne masser er dette kravet minimum 50 %, ref 018 kap.625.221 og 222. Uknuste flater som er runde og glatte er erfaringsmessig lite reaktive. Det oppstår ofte vedheftsproblemer mellom emulsjon og disse flatene.

Belegg

Det er utviklet en egen metode for vurdering av belegg i AUT, se vedlegg 3. Metoden bygger på en metode som er utarbeidet ved Statens Vegvesen i Nordland. Den innebærer en vurdering av hvor hardt belegget sitter og våtsikting for å vaske av belegg som sitter hardt. Deretter beregnes prosentandel finstoff på forskjellige sikt. Statens Vegvesen Nordland har satt som krav at pukk ≤ 22 mm kan ha maksimalt 0,5 % finstoffbelegg finere enn 0,075 mm. Ved analysering av uvasket materiale fra Huvestad (6-16m) fant vi at dette hadde 3,4 % finstoffbelegg finere enn 0,075 mm. Her ble det iverksatt vasking av materialet før det kunne brukes til emulsjonsmasseproduksjon.

Humusinnhold

Humusinnhold i tilslagsmaterialet er uheldig ved produksjon av emulsjonsmasse. Humus påvirker brytningen av emulsjonen og fører til at denne bryter for raskt. I henhold til Håndbok 018 kap.625.221 og 222 som omhandler tette og åpne emulsjonsmasser, skal tilslagsmaterialene være frie for humusstoffer. Humusinnholdet kontrolleres etter metode i håndbok 014 kapittel 14.444.

2.3.2 Korngradering

Tilslagsmaterialets korngradering er viktig, blant annet ved valg av emulsjon eller skumbitumen. Korngradering bestemmes ved våt og/eller tørrsikting. Ønsker man å finne korngradering for filler eller materiale finere enn 0,5 mm analyseres materialet ved hjelp av slemmeanalyse, jfr. Håndbok 014 kapittel 14.433, eller laserdiffraksjonsanalyse (ref. kap.7.2).

2.3.3 Mekanisk styrke

Når det gjelder krav til mekaniske egenskaper for steinmaterialene henvises det til håndbok 018 kapittel 523 og 625 samt vedlegg 3 (i 018).

Tabell 2.1 Krav til tilslagsmaterialer for Bg, Eg og Sg

Egenskap	ÅDT	
	≤ 1500	1500 - 3000 ¹⁾
Steinklasse	1 - 4	1 - 3
Flisighet ≥ 11.2 mm	≤ 1.60	≤ 1.50

1) Eg og Sg kan benyttes i nedre bærelag for ÅDT < 5000

Tabell 2.2 Krav til tilslagsmaterialer for Egt og Egd

Egenskap	ÅDT		
	0 - 300	300 - 1500	1500 - 3000
Steinklasse	-	1 - 3	1 - 3
Flisighet ≥ 11.2 mm	-	≤ 1.45	≤ 1.45
Abrasjon	-	(≤ 0.65)	≤ 0.55
Abrasjon $\times V$ sprøhet	-	-	≤ 3.5

Tall i parentes angir ønsket verdi

Tabell 2.3 Krav til tilslagsmaterialer for Asg

Egenskap	ÅDT	
	0 - 300	300 - 1500
Steinklasse	1 - 3	1 - 3
Flisighet ≥ 11.2	≤ 1.50	≤ 1.50

2.4 Reaktivitet, metylenblåtest

2.4.1 Generelt

Reaktiviteten hos steinmaterialer påvirker brytningen til bitumenemulsjon, og av den grunn er det behov for å kunne måle denne egenskapen for tilslagsmaterialet.

I Vegnormalene håndbok 018 (621.14) henvises det til en rettleidende test for brytning (håndbok 014, nr 235). Denne brytningstesten, Fransk-russisk fillertest, rangerer emulsjoner i tre grupper, rasktbrytende, middelsbrytende og saktebrytende. Både testen og rangeringen har store svakheter. Testen fordi to bitumenemulsjoner med samme brytningsindeks, kan gi forskjellig brytning på ett og samme steinmateriale og rangeringen fordi en bitumenemulsjon som bryter raskt mot et steinmateriale kan bryte langsomt mot et annet. Brytningstesten klassifiserer en bitumenemulsjon uavhengig av det steinmaterialet emulsjonen skal anvendes på. Det er derfor interessant å ha et mål også for steinmaterialets bidrag til brytning, dvs. steinmaterialets reaktivitet.

Parametre for steinmaterialet som innvirker på brytning av bitumenemulsjon:

- overflateareal (i realiteten fillerinnhold)
- reaktivitet (ladningstetthet på overflaten)
- fuktighetsinnhold

Reaktiviteten antas å endres over tid på grunn av klimapåkjenning. Nyknust materiale er mer reaktivt enn materiale som har vært lagret en tid. Det skyldes at nyknuste flater har stor ladningstetthet, mens materialet som har vært utsatt for "vær og vind" har færre ladninger. Natursingel, som har vært utsatt for "vær og vind" i årevis, er svært lite reaktiv, noe som medfører dårlig vedheft til bitumen.

I AUT ønsket vi å finne frem til en god laboratoriemetode for måling av reaktivitet. Metylenblåtesten ble valgt. Denne metoden ble benyttet for å undersøke endring i reaktivitet over tid med utgangspunkt i nyknust materiale.

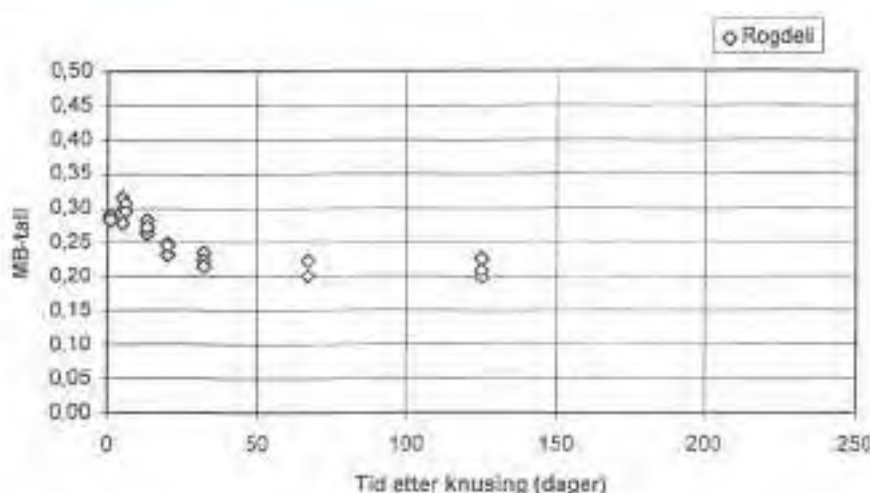
2.4.2 Metylenblåtesten

I AUT valgte vi metylenblåtesten for vurdering av reaktiviteten hos tilslag. Det foreligger en metodebeskrivelse for "Bestemmelse av finstoff - Metylenblåtest" i CEN (prEN 933-12). Metoden er beskrevet under EN 933 - tester for geometriske egenskaper hos tilslag. I AUT ble det tatt utgangspunkt i en forenklet prosedyre i forhold til prEN 933-12, se metodebeskrivelse vedlegg 4.

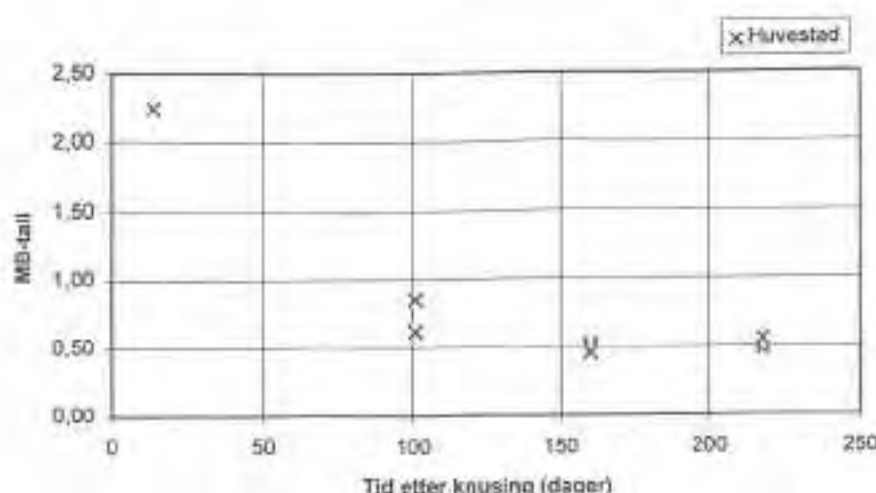
Materialet som undersøkes er fraksjon 0-2,0 mm. Fra en prøve på 10 kg tas det ut en delprøve på omkring 2 kg ved hjelp av splitteapparat. Denne delprøven siktes på 2mm sikt, og omkring 200 gram av materialet som passerer 2mm siktet tas ut på kvarteringsbrett. Delprøven røres ut i destillert vann, og det tilsettes metylenblåløsning etter prosedyre beskrevet i vedlegg 4. Metylenblå (MB)-tallet defineres som forholdet mellom tilsatt metylenblå og materiale < 75 µm i prøven.

Først ble det utført innledende forsøk for å lære metoden å kjenne. I tillegg til aktuelle tilslag i AUT prosjektet ble to typer naturmateriale testet, det ene en ensgradert sand med lite finstoff. Materialene som ble testet hadde en god spredning med tanke på å få kartlagt måleområdet. Under de innledende forsøkene kunne en observere en viss sammenheng mellom metylenblåtallet og mengden materiale < 75µm.

Deretter ble det utført lagringstest, der forskjellige materialer ble fulgt opp ved hjelp av metylenblåtest over tid. Lagringsforsøkene ga en viss endring (reduksjon) i MB-tallet over tid, se figur 2.1 og figur 2.2



Figur 2.1 Metylenblåtest ved forskjellig lagringstid etter knusing for Rogdeli-materiale.



Figur 2.2 Metylenblåtest ved forskjellig lagringstid etter knusing for Huvestad-materiale

For steinmateriale fra Tømmeråsen er det kun utført analyser fra 1 til 13 dager etter at materialet ble knust. Innen dette tidsintervallet er det ingen tendens til at MB-tallet avtar.

Ved å endre finstoffinnholdet i prøven påvirkes metylenblåtallet. Kornfordelingen for materialet $< 75\mu\text{m}$ er avgjørende for MB-tallet. Variasjonen i finstoffinnholdet for ett materiale over tid er mindre enn variasjonen mellom ulike materialer. Det indikerer at testen ikke kun er en analyse av spesifikt overflateareal, men at MB-tallet også er påvirket av mineraltype. Ved en videre vurdering av metoden, bør man i større grad undersøke kornfordelingen i relasjon til MB-tallet. De materialene som er undersøkt i AUT består av flere bergartstyper. Rogdeli er tunnelstein og Huvestad er naturgrus. Det er ikke foretatt tester med ensartet materiale med hensyn til mineraltype- og innhold. Finstoffinnholdet er blant annet avhengig av bergartens mineralsammensetning og innbyrdes mengdeforhold.

2.5 Petrografi og mineralogi

En petrografisk undersøkelse er generelt en visuell vurdering av faktorer med tilknytning til petrografisk/mineralogisk sammensetning, kornform, fysisk tilstand og overflaterenhet hos et tilslagsmateriale. En petrografisk beskrivelse kan variere fra en grov klassifisering av bergarter til en mer nøyaktig beskrivelse av bergarten og dens mineraler. For en fullstendig petrografisk beskrivelse er det nødvendig med mikroskopisk undersøkelse av tynnslip. For en grovere klassifisering kan undersøkelse i pålysmikroskop (binokularlupe) være et alternativ.

Det var opprinnelig en målsetning i AUT å knytte petrografisk beskrivelse av tilslaget til brytningsegenskaper ved blanding med bitumenemulsjon. En erfaringsmatrise skulle bygges opp som et verktøy for valg av emulgatorer/emulsjonsresept på grunnlag av

informasjon om steinmaterialets sammensetning. En slik undersøkelse er svært tidkrevende, derfor måtte målsetningen endres på dette punktet.

I AUT er det ikke utarbeidet noen metode for å anvende petrografi og mineralogi i mixdesignprosessen. En fullstendig petrografisk beskrivelse kan gi tilleggsinformasjon til ordinær analyse av mekanisk styrke (fallprøve, kulemølle, etc.).

3 Valg av masstype og bindemiddeltype

3.1 Bærelag

3.1.1 Generelt

Det er to hovedårsaker til at bærelag bitumenstabiliseres :

- 1) bitumenet binder finstoffet slik at materialets evne til å ta opp og holde på vann reduseres. Det gjør bærelaget mindre vannømfientlig og utsatt for frostskafer.
- 2) bitumenet øker stivheten i bærelaget slik at den lastfordelende evnen forbedres.

Ved kald produksjon av bituminøse bærelag til lavtrafikkvegnettet ønsker man å forbedre det lokale tilslagsmaterialet, slik at vannømfientligheten reduseres og lastfordelende evne økes. Dette kan skje ved:

- 1) stabilisering på veien ved bruk av materiale som allerede finnes i veikroppen eller ved tilføring av tilslagsmaterialer direkte på veien,
- 2) produksjon av bærelag i blandeverk.

I dette kapitlet vil vi konsentrere oss om produksjon i verk, da denne metoden ble benyttet i AUT.

3.1.2 Masstype

Finstoffinnhold

Bitumenemulsjon bryter først på finstoffet. Hvis finstoffinnholdet i tilslaget er for høyt vil det være vanskelig å oppnå en homogen blanding på grunn av for rask brytning. Dette kan føre til inhomogene masser med varierende bindemiddelfordeling og stabilitet. Tilslag med høyt finstoffinnhold har ofte høyt vanninnhold. Da bitumenemulsjon inneholder 35-40% vann, kan den total væskemengden i materialet bli for høy. Det vil gi vanskelige kompakteringsforhold og medføre ustabilitet. I slike tilfeller er skumbitumen et riktigere valg.

Skumbitumen krever et forholdsvist høyt finstoffinnhold og fuktighetsinnhold for å gi tilfredsstillende bitumenfordeling i materialet. Bitumendråpene, som er fordelt i massen ved produksjon, gnis ut til en kontinuerlig bindemiddelfilm ved hjelp av bevegelse (trafikk) og temperatur over tid. Det tar derfor lang tid før tilsiktet lastfordelende evne oppnås ved bruk av skumgrus. Er finstoffinnholdet i tilslagsmaterialet lite, bør bitumenemulsjon benyttes. For nærmere spesifisering av grenseverdier for finstoffinnholdet henviser en til kapittel 5.1.2. "Finstoff",

Vanninnhold og nedbør

Både vanninnhold i tilslagsmaterialene og klima har betydning for valg av bindemiddeltype. Dersom tilslagsmaterialene i utgangspunktet har et høyt vanninnhold og en ikke har muligheter til å redusere dette ved lufting, kan bruk av emulsjon føre til for høyt vanninnhold i massen både med tanke på optimal kompaktering og faren for avrenning. I slike tilfeller vil derfor skumbitumen være å foretrekke. Det samme er tilfellet dersom en har et fuktig klima med stor fare for nedbør under leggingen. Nedbør kan gi ustabile masser. Et høyt vanninnhold i bærelaget vil i alle tilfeller medføre at det tar lang tid før massen tørker opp slik at lastfordelende evne blir som forutsatt ved dimensjoneringen.

Logistikk

Emulsjonsgrus basert på myk bitumen, MB3000 og mykere, kan produseres på lagerhaug og brukes etter flere ukers lagring, pga. lav bindemiddelviskositet. Emulsjonen er i et slikt tilfelle fullstendig brutt før utlegging. Emulsjonsgrus basert på stivere bitumen må normalt legges før emulsjonen er fullstendig brutt. Det vil si rett etter produksjon eller etter kort tids lagring. Ved homogen produksjon med riktig tilpasset emulsjon er det mulig å lagre emulsjonsgrus med stivt bitumen i to-tre dager før utlegging, med tilfredsstillende resultat.

Skumgrus kan lagres i lang tid før bruk. Dette skyldes at bitumenet ikke danner en kontinuerlig film i massen. Det er viktig at skumgrusen lagres på en slik måte at den ikke blir kompaktert av hjullaster eller andre kjøretøy.

Økonomi

I tillegg til nevnte forhold er valg av bindemiddeltipe et økonomisk spørsmål. Vanligvis reduseres bindemiddelkostnadene vesentlig med bruk av skumbitumen sammenlignet med bitumenemulsjon.

Proporsjonering

I tilfeller hvor det ut fra produksjonstekniske forhold, tilgjengelige tilslagsmaterialer, økonomi etc. ikke er klart hvilken bindemiddeltipe som bør velges, bør proporsjoneringen utføres både med skumbitumen og bitumenemulsjon. Proporsjoneringen vil vise om materialene tilfredsstillende krav til lastfordelingskoeffisient og brukes for å vurdere om materialene er teknisk/økonomisk egnet. I de fleste tilfeller vil det imidlertid ikke være store forskjeller i lastfordelingskoeffisient mellom skumgrus og emulsjonsgrus.

3.1.3 Basisbindemiddel*Generelt*

Vegnormalenes krav til hardhet for basisbindemidler for kalde massetyper er gjengitt i tabell 3.1

Tabell 3.1 Krav til bindemiddeltipe i håndbok 018

Massetype	Bindemiddeltipe
Eg, Sg, og Bg	B180 - B370 MB6000 - MB10000

I de fleste tilfeller vil B370 være et godt valg av basisbindemiddel. Det kan imidlertid være snakk om å gå opp eller ned ett eller flere trinn i penetrasjonsgrad avhengig av følgende forhold:

- lastfordelingskoeffisient
- klimatiske forhold
- produksjonsmetode og transportavstand
- vegens oppbygging
- faren for ujevnt telehiv og ujevne setninger
- lagring av massen.

Tabell 3.2 viser en oversikt over de ulike faktorene og hvordan de påvirker valg av stivhet for basisbindemiddel. Dette skal kommenteres nærmere i etterfølgende avsnitt.

Lastfordelingskoeffisient

Krav til lastfordelingskoeffisient er av betydning for valg av basisbindemiddel. Det anbefales imidlertid å benytte en så myk bitumen som mulig innenfor de krav som stilles til lastfordelingskoeffisienten. Dette vil gi en masse med god bearbeidbarhet under legging og høy fleksibilitet i løpet av vegens funksjonstid.

Klima

I det norske dimensjoneringsystemet bestemmes lastfordelingskoeffisienten for bituminøse materialer ved 25 °C, og lagtykkelser beregnes ut fra lastfordelende evne ved denne temperaturen. Dimensjoneringsystemet tar derfor ikke direkte hensyn til klima. For å kompensere for dette bør temperaturen på det aktuelle stedet vurderes ved valg av basisbindemiddel. Hvis de amerikanske SHRP-spesifikasjonene for valg av bindemiddel etter klimasoner, ble benyttet i Norge direkte, ville det stiveste tillate bindemiddelet her i landet være B370.

Tabell 3.2 Valg av basisbindemiddel /1/

Faktor		Basisbindemiddel 1)		
		Mykt	Middels	Stivt
Lastfordelingskoeffisient	Høy			
	Lav			
Ujevne telehiv/setninger	Store			
	Ingen			
Klima	Kaldt			
	Varmt			
Transportavstand 2)	Kort			
	Lang			
Stabilitet, steinskjelett	Lav			
	Høy			
Bæreevne	Dårlig			
	God			
Overdekning	Liten			
	Stor			
ÅDT eller ÅDT-T	Høy			
	Lav			
Mellomlagring av massen 2)	Lang tid			
	Kort / Ingen			

1) Skyggelegging betyr lite aktuell

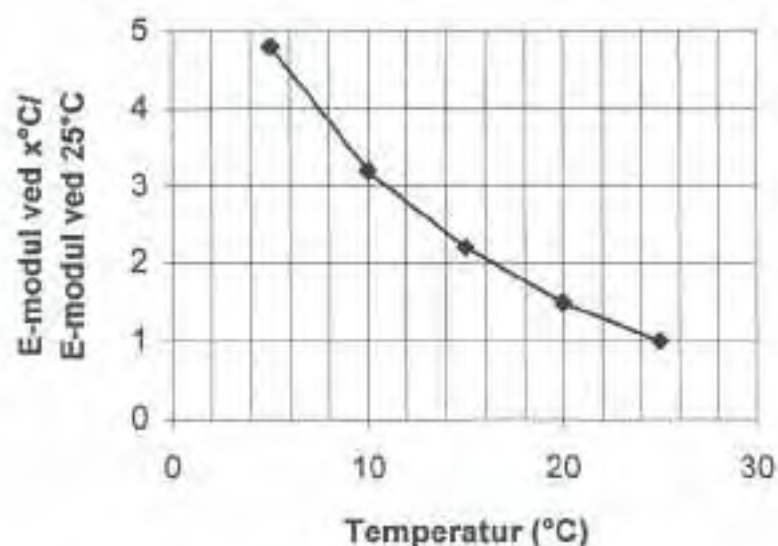
2) Gjelder kun bitumenemulsjon

For kaldere områder bør en generelt sett velge mykere bindemidler enn for varmere områder. Tabell 3.3 kan benyttes som hjelp ved valg av basisbindemiddel for Eg, Sg og Bg. I tabellen inngår årsmiddeltemperatur som finnes av kommunetabellen i vedlegg 2 i håndbok 018. Ved valg av basisbindemiddel kan det også være aktuelt å trekke inn temperaturvariasjoner over året, og spesielt temperaturen i kritisk periode som ofte er om våren når grunnen er oppbløtt.

I figur 3.1 har en vist et eksempel på forholdet mellom E-modul ved ulike temperaturer $/1/$. Referansen er E-modul ved 25 °C. Figuren er tatt med for å illustrere temperaturens betydning for E-modulen, og bygger på resultater fra indirekte strekkforsøk på borprøver av Sg. Temperaturens innvirkning på E-modulen er for en stor del avhengig av bindemiddelinholdet. Figur 3.1 er derfor kun tatt med som et eksempel. Av figuren ser en at E-modulen ved 5 °C er ca. 5 ganger høyere enn ved 25 °C.

Tabell 3.3 Veiledning for valg av basisbindemiddel for Sg, Eg og Bg $/1/$

Årsmiddeltemp. °C	Basisbindemiddel
< 3	MB6000 - MB12000
3 - 6	B370, MB6000 - 12000
> 6	B180 - 370, MB12000



Figur 3.1 Forholdet mellom E-modul ved ulike temperaturer $/1/$.

Produksjonsmetode og transportavstand

Ved bruk av bitumenemulsjon kan produksjonsmetode og transportavstand ha betydning for valg av basisbindemiddel. Ved lange transportavstander mellom produksjonssted og leggested kan emulsjonsmasser bryte fullstendig underveis. I slike tilfeller bør en velge et mykt basisbindemiddel av hensyn til massens bearbeidbarhet ved legging.

Produksjon på veg (dypstabilisering eller produksjonsutleggere) eller korte transportavstander gjør det mulig å anvende et stivere basisbindemiddel. For skumbitumen er produksjonsmetode og transportavstand av liten betydning for valg av penetrasjon for basisbindemiddel.

Vegens oppbygging

Ved valg av basisbindemiddel skal en være spesielt oppmerksom på tre forhold relatert til vegens oppbygging:

- bæreevne for underliggende lag
- overdekning over det bitumenstabiliserte laget
- ujevne telehiv og setninger

Bæreevne for underliggende lag

Dersom bæreevnen for underliggende lag er liten bør en ikke benytte for stive bindemidler da dette kan føre til oppsprekking.

Overdekning

Overdekning og lastfordelende evne for lag over det bitumenstabiliserte laget kan ha betydning for valg av basisbindemiddel til bitumenstabiliseringen. Dette gjelder spesielt dersom overliggende lag er tynne eller har liten lastfordelende evne som f.eks. ved bruk av overflatebehandlinger som dekke.

Ujevne telehiv og setninger

Dersom det er fare for ujevne telehiv eller setninger bør en velge myke bindemidler.

Trafikk

Når det gjelder trafikk er hovedregelen at stive bindemidler først og fremst benyttes for veger med stor trafikk, mens myke bindemidler benyttes for middels og lav trafikk.

Lagring

Lagring av masser bør generelt sett unngås. I en del tilfeller vil det av ulike årsaker allikevel være behov for lagring av masser i lengre tid før bruk. For emulsjonsgrus til mellomlagring bør det normalt ikke benyttes stivere basisbindemiddel enn MB 3000. For skumgrus er mellomlagring mulig selv med penetrasjonsbitumen. Ved mellomlagring er det viktig at den stabiliserte massen tildekkes så fort som mulig etter produksjon slik at en hindrer fordampning og beholder fuktigheten i massen og derigjennom bearbeidbarheten.

3.2 Slitelag

3.2.1 Massetype

Slitelag utsettes for større påkjenninger i form av trafikk og klima enn bærelag. Dette gjør at en må stille strengere krav til slitelag enn bærelag. Normalt benyttes det mer bitumen i slitelag enn i bærelag. Emulsjonsmasser har tradisjonelt sett vært å foretrekke framfor skumgrus. Årsaken er at emulsjonsgrus vanligvis har bedre initialstyrke og

bindemiddeldekning like etter produksjon som en følge av at bindemiddelet lettere kryper på tilslagsmaterialene. Resultatet er en mer eller mindre kontinuerlig bindemiddelfilm.

I en nyprodusert skumgrus derimot finner en igjen bindemiddelet i form av "kuler" eller "slintrer", og bindemiddelfasen er diskontinuerlig. Erfaringer fra Telemarksprosjektet viser imidlertid at massens initialstyrke og bindemiddeldekning kan forbedres med riktig valsing, jfr. kap. 3.3.

3.2.2 Basisbindemiddel

Tabell 3.4 viser vegnormalenes krav når det gjelder basisbindemiddel. For slitedekker er B370 i de fleste tilfeller et godt valg. Det kan imidlertid være snakk om å velge et mykere bindemiddel i en del tilfeller avhengig av de samme faktorene som for bærelag, jfr. kap. 3.1.3.

For slitelag er massens bearbeidbarhet ved legging av større betydning enn for bærelag. Årsaken er strengere krav til jevnhet på toppen av et dekke enn et bærelag. Dårlig bearbeidbarhet kan gi et ujevnt dekke.

For emulsjonsmasser kan stivheten for basisbindemiddelet påvirke bearbeidbarheten avhengig av hvor i brytningsforløpet en er når massen legges. Bruk av et for stivt basisbindemiddel i en emulsjonsgrus kan derfor føre til et ujevnt dekke. For skumgrus er det ikke påvist tilsvarende sammenheng mellom stivhet for basisbindemiddelet og jevnhet. Dette henger sammen med bindemiddelfordelingen, jfr. kap. 3.2.1. I AUT er en masse basert på en kombinasjon av emulsjon med mykt bitumen og skumming av stivt bitumen testet, med tanke på å bevare skumgrusens lagringsmuligheter og gode bearbeidbarhet, samt emulsjonsmassens initialstyrke /2/.

Tabell 3.4 Krav til bindemiddeltype i vegnormalene

Massetype	Bindemiddeltype
Egd	B370 MB1500 - MB10000
Egt	B370 MB1500 - MB10000
Asg	B370 MB6000

3.3 Erfaringer fra AUT

Tabell 3.5 viser hvilke massetyper som er produsert i driftsdelen av AUT-prosjektet. Av tabellen ser en at emulsjonsbetong eller emulsjonsgrus i de fleste tilfeller er valgt til henholdsvis slitelag og bærelag. Videre ser en at bindemiddelet er BE 65S basert på B370. Til oppretting har en også brukt emulsjonsgrus, men i en et par tilfeller har en

valgt MB3000 som basisbindemiddelet i stedet for B370. Utfordringene i Telemarksprosjektet ved produksjon og legging av nevnte emulsjonsmasser har vært følgende:

- produsere en homogen masse med tilfredsstillende bearbeidbarhet, bindemiddeldekkning, initialstyrke og jevnhet etter legging
- unngå avrenning

I Telemarksprosjektet har en arbeidet med utformingen av blandeverket med tanke på å bedre homogeniteten, og mengden klumper er redusert. Massene som er produsert, har hatt god bearbeidbarhet, og bindemiddeldekkningen har vært nær 100 % hele tiden. Initialstyrken og jevnheten har også vært tilfredsstillende. I enkelte tilfeller har det vært problemer med avrenning, men det har vært jobbet med å kartlegge årsaker til dette og hvordan problemet kan unngås. Bestandigheten av massene ser så langt også ut til å være tilfredsstillende. Hovedkonklusjonen er derfor at erfaringene med emulsjonsmasser til dekke og bærelag har vært gode. For nærmere detaljer omkring driftserfaringer henvises det til temarapport "Driftserfaringer".

Tabell 3.5 Oversikt over arbeidsresepter i AUT

Massetype	Bindemiddelttype	Lag	Leggested	Resept nr.
Eg 11	BE65 S / B370	Oppretting	RV 36	95327971
Eb 11	BE65 S / B370	Slitelag	RV 36	95327972
Eg 16	BE65 S / B370	Bærelag	RV 36	95327973
Eb 16	BE65 S / B370	Slitelag	RV 36	95327974
Eg 16	BE65 S / B370	Oppretting / Bærelag	RV 38	95327975
Eg 16	BE65 S / B370	Oppretting / Bærelag	RV 38 RV 45	95327976
Eg 16	BE65 S / B370	Slitelag	RV 38	95327977
Eg 6	BE65 S / MB3000	Oppretting	RV 45	95327978
Eb 11	BE65 S / B370	Slitelag	RV 45	96327975
Eg 16	BE65 S / B370	Oppretting / Bærelag	RV 358	96327973
Eb 16	BE65 S / B370	Slitelag	RV 358	96327974
Eg 16	BE65 S / B370	Bærelag	RV 358	96327983
Eg 6	BE65 S / MB3000	Oppretting	RV 358	96327981

I Telemarksprosjektet har en også lagt forsøksfelt med skumgrus som slitedekke. Erfaringene så langt når det gjelder massens bestandighet og andre egenskaper er gode. Det er også verdt å merke seg at skumgrus som regel er billigere å produsere enn emulsjonsgrus. Dette henger sammen med at emulsjonen i de fleste tilfeller må fraktes fra stasjonære emulsjonsfabrikker langt unna, og at emulsjon inneholder mye prosessvann.

Følgende betingelser må imidlertid være oppfylt for å få et godt resultat med skumgrus som slitedekke:

- Tilslagsmaterialene ha en egnet kornkurve, jfr. håndbok 018 og "veiledning for bitumenstabiliserte bærelag"
- En må ha to valser tilgjengelig; en tung gummihjulsvals og en glattvals

Bruk av gummihjulsvals er sentralt for å oppnå et godt resultat fordi dette vil bedre bindemiddelfordelingen og dermed initialstyrken. For å få tilfredsstillende jevnhet må en til slutt (etter valsing med gummihjulsvals) valse med en slettvals.

4 Valg og tilpassing av emulsjon

4.1 Produksjon av emulsjon

En bitumenemulsjon består av små bitumendråper som er fordelt i en vannfase. For å holde dråpene stabile i vannfasen er denne tilsatt en emulgator. De fleste emulgatorer virker også som vedhefningsmiddel mellom bindemidlet og tilslagsmaterialene. Ved produksjon av emulsjon pumpes bitumen og vannfase inn i en emulsjonsmølle. Mølla maler opp bitumenet i små dråper som blir fordelt i vannfasen.

Emulsjonens egenskaper bestemmes hovedsakelig av størrelsen på bitumendråpene, mengde bitumen i emulsjonen og emulgatortypen. De fleste emulsjonene som brukes i Norge er kationiske. Disse krever et surt miljø for å være virksomme. pH i vannfasen er derfor med på å påvirke emulsjonens egenskaper, særlig brytningsforløpet. pH reguleres med saltsyre.

Bitumenets kjemiske sammensetning er også viktig for emulsjonen. Bitumen av ulik opprinnelse kan gi svært forskjellige emulsjoner selv om de er produsert ut fra samme resept. Det er spesielt forskjeller i saltinnhold og syretall som kan gi ulike egenskaper. Man kan for eksempel få store variasjoner i viskositet og lagringsstabilitet. Ikke alle bitumen er like godt egnet til emulgering. Ved bytte av bitumenleverandør eller råolje må man alltid prøve ut reseptene og teste emulsjonene nøye.

Ved produksjon av emulsjon og utarbeidelse av arbeidsresepter må man ta i betraktning at forskjellige møller kan gi varierende emulsjonskvalitet. Emulsjoner produsert etter samme resept kan få forskjellige egenskaper etter hvilken mølle de er produsert på. Det er hovedsaklig dråpestørrelsen som varierer fra mølle til mølle, og dette kan gi utslag i varierende brytning og viskositet.

For å tilpasse en emulsjon til et bestemt steinmateriale må det prøves ut en rekke forskjellige emulsjoner. Det er derfor helt nødvendig å ha mulighet til å produsere emulsjon i små mengder. På en laboratoriemølle kan man produsere ned til en liter av hver emulsjonstype med god reproducerbarhet. Man må imidlertid ta i betraktning at det kan oppstå variasjoner i forhold til emulsjonen som senere vil bli produsert i full skala på emulsjonsfabrikken. Etter en tids erfaring med de møllene en har til rådighet er det mulig å forutsi en del av disse variasjonene og ta hensyn til dette ved utarbeidelse av resepter.

4.2 Valg av bitumeninnhold

Bitumeninnholdet i en emulsjon er med på å påvirke dens egenskaper. Det er hovedsaklig viskositeten som endres. Hovedregelen er at jo høyere bitumeninnholdet er jo høyere blir viskositeten. Man kan velge bitumeninnhold etter hvilke bruksegenskaper man ønsker. Til en overflatebehandling ønsker man en viskøs emulsjon som ikke renner av veien og velger derfor et høyt bitumeninnhold. I en klebeemulsjon velger man et lavere bitumeninnhold, for her ønsker vi en lettflytende væske som kan sprayes ut i et tynt lag.

Det er en parameter til som må tas i betraktning, og det er transportkostnader. Det er dyrt å transportere store mengder vann. En bør derfor velge så høyt bitumeninnhold som mulig uten at dette går utover bruksegenskapene. Ved produksjon av emulsjonsmasse i blandeverk brukes vanligvis en emulsjon med 65 % bitumen.

4.3 Blandeforsøk

Tilpassing av emulsjon til et steinmateriale kan være en omstendelig prosess. Det er mange hensyn å ta, og det kan få store konsekvenser både økonomisk og teknisk hvis man velger feil. Det er mange parametre som kan varieres, og man må derfor ha en rekke emulsjonstyper til rådighet.

Utprøving av de forskjellige emulsjonene foretas ved blandeforsøk i laboratoriet. Blandingen kan foregå for hånd eller i en laboratorieblender. Man må være oppmerksom på at ulike blandemetoder kan gi forskjellig resultat. Blandeutstyr og forskjellige blanderekkefølger på emulsjon og steinmaterialer påvirker massens egenskaper både når det gjelder brytningstid, bearbeidbarhet og omhylling. Det er derfor ikke alltid at laboratorieblandingen gir et riktig bilde av det som vil skje i felt, ref. kap. 5.2.9. Vi får allikevel mulighet til å prøve forskjellige sammensetninger og emulsjoner, og velge den løsningen som virker best.

Steinmaterialet settes sammen etter ønsket kornkurve. Hvis ikke naturlig fuktighet i materialet tilsvarer det som forventes benyttet i produksjon, må man tilsette vann for å oppnå ønsket fuktighet. Vann må tilsettes skånsomt så man ikke vasker vekk eventuelt belegg. Tilsetningen av vann bør gjøres ett døgn før emulsjonen tilsettes, slik at vannet får tid til å fukte materialet tilstrekkelig. Ønsket emulsjonsmengde tilsettes, og massen blandes. Deretter vurderes brytning, bearbeidbarhet, omhylling og vedheft.

4.3.1 Brytning

Ved klassifisering av om en emulsjon er rask, middels eller seintbrytende legges brytningsindeksen til grunn, jfr. Håndbok 014 kap. 235. Svakheten ved denne vurderingen er at den ser på emulsjonen separat uten å ta hensyn til steinmaterialet den skal blandes med. En emulsjon kan bryte raskt på et steinmateriale og den samme emulsjonen kan bryte seint på et annet. For å finne ut hvordan brytningen vil være må man derfor se på kombinasjonen mellom det aktuelle steinmateriale og emulsjonen.

Man får best inntrykk av massens brytningsforløp når massen blandes for hånd i en bolle. Det blir god visuell kontakt med massen og man føler når massen er i ferd med å bryte og hvor lett bearbeidbar den er. Brytning må ikke oppstå før man har fått fordelt emulsjonen i massen.

4.3.2 Bearbeidbarhet

Det er viktig å kunne vurdere hvor lett bearbeidbar en masse vil bli ved bruk. Det oppstår store problemer i felten hvis massen blir så tung at den ikke lar seg legge ut eller kompaktere.

Den enkleste måten å vurdere bearbeidbarheten på er å foreta prøveblandinger for hånd. En person med erfaring vil til en viss grad kunne bedømme om massen er bearbeidbar eller ikke. Metoden er imidlertid usikker og i tillegg svært subjektiv. Bearbeidbarhet kan vurderes ved målinger, se kap. 5.3.

4.3.3 Omhylling

Med omhylling menes hvor godt emulsjonen dekker steinoverflaten. Man ser på en nyblandet emulsjonsmasse og vurderer hvor stor del av steinoverflaten som er dekket med emulsjon.

Resultatet oppgis i prosentvis dekning slik at 100 % dekningsgrad betyr at alle steinoverflatene er fullstendig dekket, se vedlegg 5 "Feltmetode AUT, omhylling/vedheft". For krav til omhylling se kap. 5.1.3.

4.3.4 Vedheft

God omhylling behøver nødvendigvis ikke bety god vedheft. God vedheft betyr at bitumenet i emulsjonen fester seg godt til steinoverflaten og ikke gnis eller vaskes bort etter at emulsjonen er brutt. Det er flere måter å vurdere vedheft på :

Feltmetode omhylling/vedheft

Metoden foregår i to trinn. Første trinn er å undersøke hvor vannømfindtlig massen er rett etter produksjon. Massen legges umiddelbart i vann. Etter en viss tid helles vannet av og resterende bitumendekning bedømmes. Neste trinn er å vente til massen er brutt for så å legge den i vann. Etter en time helles vannet av og dekningsgrad bedømmes.

Koketest

Metoden er en modifisert Texas boiling test [3]. Emulsjonsmasse eller emulsjonsdekte steiner kokes i vann i 10 min. Dekningsgrad bedømmes etter koking. Metoden egner seg kun for stive bindemidler.

Vedheftsmetode AUT

Da koketesten ikke fungerer for myke bitumentyper på grunn av den lave viskositeten ved 100°C, var det ønskelig å finne fram til en vedheftsmetode som kunne benyttes også for mykbitumen. Steinmaterialet blandes med emulsjonen og legges til herding i ett døgn. De bitumendekte steinene legges i en kurv som senkes i et vannbad med røreverk. Vannbadet holder 80°C ved testing av mykbitumen og 100°C ved testing av penetrasjonsbitumen. Bitumen som flyter opp fjernes etterhvert. Etter avkjøling bedømmes dekningsgraden og sammenliknes med dekningsgrad før testing, se vedlegg 6.

5 Proporsjonering

5.1 Valg av sammensetning

5.1.1 Kornkurve

Ved proporsjonering av kalde masser bestemmes korngradering ut fra massens bruksområde. Tilgjengelig tilslagsmateriale settes sammen slik at korngraderingen tilfredstiller krav i Håndbok 018 til den aktuelle massetypen når det gjelder slitelag. For bærelag henvises det til anbefalte kornkurver i veiledning for "Kalde bitumenstabiliserte bærelag" fra Vegdirektoratet (1997).

Da kaldproduserte masser fortrinnsvis benyttes på lavtrafikkerte veier i områder med lang avstand til stasjonære asfaltverk, ønsker man normalt å utnytte stedlige materialer nær parsellen. Materialer fra veikroppen eller lokal forekomster tilfredstiller ikke alltid de krav som er satt. I proporsjoneringen forsøker man å gjøre det beste ut av de materialer som ønskes benyttet. Er det vanskelig å komme innenfor den spesifiserte kurven med de materialer man har til rådighet, må det foretas prøveblandinger for å finne den kurven som fungerer best. Tilslagsmaterialet bør være splittet opp i minst to sorteringer. Dette er viktig for å få en jevn produksjon og unngå separasjoner i massen.

5.1.2 Finstoff

Det er spesielt viktig å ha kontroll på finstoffdelen av kurven. Variasjon i finstoffinnhold kan gi store utslag i massens brytningsforløp. Dette vil gi en ujevn produksjon, og det vil oppstå separasjon og klumpdannelse i massen.

Ved produksjon av emulsjonsmasser bør fillermengden ligge mellom 3 og 7 %. Blir fillerinnholdet høyere er det vanskelig å finne emulsjoner som bryter seint nok, og massen blir tung å jobbe med. Ved produksjon av masser i AUT har fillerinnholdet i arbeidsreseptene variert mellom 4,5 og 6,8 %. Eksempel på arbeidsresept i AUT er vist i vedlegg 7.

Ved produksjon av skumgrus kan finstoffinnholdet ligge høyere enn for emulsjonsmasser. I veiledningen for "Kalde bitumenstabiliserte bærelag" er det angitt at skumgrus kan produseres med fillerinnhold i området 5-15 %.

5.1.3 Omhylling

Ulike massetyper kan ha ulike krav til omhylling. Ved produksjon av slitelagsmasse bør omhylling av steinmaterialet være 80 - 100 %. Ved produksjon av magrere masser til f. eks. bærelag tillates lavere dekningsgrad. Krav til omhylling gis i tabell 5.1, se Håndbok 018, kapittel 523.25 og 625.22.

Det er viktig at emulsjonen er tilpasset tilslagsmaterialet slik at den ikke bryter for raskt. Ved for rask brytning vil bitumenet blande seg med finstoffet og omhyllingen av de grove steinene blir dårlig.

Tabell 5.1 Krav til omhylling i håndbok 018

Massetype	Krav til omhylling
Eg	min. 50 %
Egt	min. 75 %
Egd	min. 75 %

5.2 Prøvetillaging

5.2.1 Generelt

Prøvetillagingen består av følgende faser, jfr. figur 5.1:

- Håndtering av materialprøver (kap. 5.2.2)
- Valg av vanninnhold (kapittel 5.2.3)
- Valg av bitumeninnhold (kapittel 5.2.4)
- Laboratorieblending (kapittel 5.2.5)
- Tillaging av prøveklosser (kapittel 5.2.6)
- Kondisjonering (kapittel 5.2.7)
- Testing (kapittel 5.2.8)



Figur 5.1 Prøvetillaging

5.2.2 Håndtering av materialprøver

Generelt

Proporsjoneringen i laboratoriet skal utføres med samme fuktinnhold i tilslagsmateriale som ved produksjon i verk. Forskjellig fuktinnhold ved produksjon i verk og proporsjonering reduserer nytteverdien av proporsjoneringen.

Ved valg av emulsjonsresept eller i forbindelse med prøvetillaging, kondisjonering og testing står en derfor overfor følgende valg når det gjelder behandling av steinmaterialene i laboratoriet:

- eventuell tilsetning av vann (uten forutgående tørking) etterfulgt av splitting av materialet
- tørke og fraksjonere materialet, sette det sammen igjen og tilsette vann.

Splitting uten forutgående tørking

Erfaringer tyder på at egenskapene for et tilslagsmateriale som er tørket og deretter tilsatt vann kan være forskjellig fra ikke tørket materiale med samme vanninnhold. Ved uttak bør derfor materialprøvene emballeres slik at naturlig fuktighet i tilslagsmaterialene bevares. Prøvetillaging i laboratoriet skjer ved at materialene splittes i fuktig tilstand, dvs. uten forutgående tørking. Det kan imidlertid være nødvendig å tilsette mer vann ut over det naturlige vanninnholdet i tilslagsmaterialene for å oppnå ønsket vanninnhold ved proporsjonering i laboratoriet. Dette må i så fall gjøres som beskrevet i neste avsnitt. Tilsvarende må det tilsettes vann i produksjonen for å oppnå optimalt vanninnhold, hvis det naturlige vanninnholdet i tilslaget er for lavt.

Tørking, sikting, sammensetning og oppfukning

Som et alternativ til metodene beskrevet i foregående avsnitt kan en tørke og sikte materialene. Deretter settes materialene sammen igjen til ønsket kornkurve. Så tilsettes vann forsiktig langs kanten av blandekaret (ikke rett på tilslaget) slik at eventuelt finstoff på overflaten på steinene ikke vaskes bort. Deretter rører en forsiktig om for hånd og lar tilslagsmaterialene stå lukket under plast i 1 døgn før videre behandling.

Valg av metode

Ved tørking og sikting har en bedre kontroll med kornfordelingen enn ved splitting uten foregående tørking. Tørking og oppfukning kan imidlertid endre materialets egenskaper.

Valg av metode for behandling av steinmaterialene avhenger av hva steinmaterialene skal benyttes til. Splitting uten forutgående tørking anbefales ved:

- valg og tilpasning av emulsjonsresept
- proporsjonering dersom det er belegg på steinmaterialene.

For øvrig må behandling av steinmaterialene vurderes i hvert enkelt tilfelle.

5.2.3 Vanninnhold

Generelt

Vanninnholdet i skum- og emulsjonsmasse er av stor betydning for å oppnå:

- god bindemiddeldekning (emulsjonsmasse)
- optimal kompaktering av massen
- optimal lastfordelende evne
- unngå avrenning

Når det gjelder blandedeprosessen må vanninnholdet være så høyt at brytningstiden ikke blir for rask (for tørr masse gir rask brytning), men samtidig ikke så høyt at en får avrenning, jfr kap 5.4 "Avrenning"

Prøveblanding

Det bør foretas prøveblandinger i laboratoriet med forskjellige fuktinnhold for å finne fram til hva som fungerer best. Ved slike forsøk vurderes følgende faktorer for løst lagret masse; konsistens, bearbeidbarhet, bindemiddeldekning og brytning, jfr. kap. 4.3. Som en tommelfinger regel kan en gå ut fra at vanninnhold (w) i massen etter innblanding av bindemiddel bør være i området;

$$w_{opt} \text{ til } w_{opt} - 0.5 * \text{ bindemiddelinnhold (rest-\%)} \quad (5.1)$$

hvor:

w_{opt} = optimalt vanninnhold for tilslaget ved modifisert proctor

I det følgende skal en se på et eksempel for bestemmelse av vanninnhold ut fra ligning (5.1).

Eksempel

Optimalt vanninnhold ved Modifisert Proctor for ustabilisert grus er bestemt til 7,0 %. Det skal tilsettes 3,0 % bindemiddel (rest-%). En bruker bindemiddel av typen BE 60S som inneholder 60 % bindemiddel og 40 % vann. Dette gir:

Mengde emulsjon:	3/0,6	=5,0 %
Vann i emulsjonen:	5*0,4	=2,0 %
Nedre grense for totalt vanninnhold iht. ligning (1):	7-0,5*3	=5,5 %
Øvre grense for vanninnhold iht. ligning (1):		=7,0 %
Nedre grense for vanninnhold i tilslagsmaterialene før tilsetning av bindemiddel:	5,5-2	=3,5 %
Øvre grense for vanninnhold i tilslagsmaterialene før tilsetning av bindemiddel:	7-2	=5,0 %

Proporsjonering

Etter prøveblanding følger proporsjonering med tillaging av prøveklosser og bestemmelse lastfordelingskoeffisienter. Proporsjoneringen kan utføres etter 2 alternative metoder //:

- standard proporsjonering
- utvidet proporsjonering

Ved standard proporsjonering lager en prøveklosser med varierende bindemiddelinnhold og konstant vanninnhold. For valg av vanninnhold kan en bruke resultater fra prøveblandinger og ligning (5.1), jfr. forrige avsnitt.

Ved utvidet proporsjonering varieres både bindemiddelinnhold og vanninnhold i prøveklossene. Vanninnholdet i prøveklossene økes trinnvis med en forskjell på 1-2 % mellom hvert nivå. Hvilket vanninnhold en starter med må vurderes i hvert enkelt tilfelle bl.a. ut fra finstoffinnholdet i massen.

Valg av vanninnhold

Prøveblanding og proporsjonering kan gi forskjellige svar for optimalt vanninnhold. I slike tilfeller må man ofte velge et kompromiss som gir best mulig resultat for begge metodene.

5.2.4 Bitumeninnhold*Generelt*

Bindemiddelinnholdet bestemmes ut fra krav til:

- lastfordelingskoeffisienten (alle massetyper)
- krav til bindemiddeldekning (Egt, Egd og Ep), jfr. metodebeskrivelse i Veglaboratoriets internrapport 1059
- minimumskrav til bindemiddelinnhold (Sg, Eg, Bg og Asg).

For nærmere beskrivelse av bestemmelse av lastfordelingskoeffisient henviser en til kapittel 5.2.8.

Bindemiddeldekning

For Eg og Ep har en krav til bindemiddeldekning på henholdsvis minimum 70 og 50 %, mens tilsvarende tall for Egt og Egd er 75%. Kravene blir i mange tilfeller bestemmende for bindemiddelinnholdet. For Sg, Bg eller Asg er det ikke krav til bindemiddeldekning.

Minimumskrav til bindemiddelinnhold

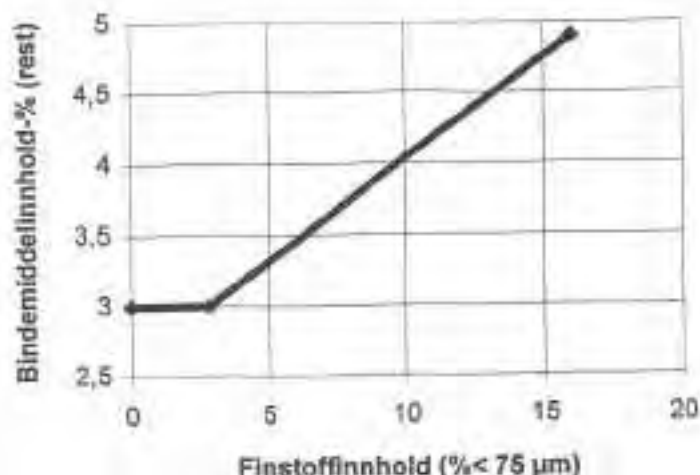
For bærelag av skum- og emulsjonsgrus (Sg, Eg og Bg) er minste tillatte bindemiddelinnhold 3 % (rest-%), mens skumbitumenmasse brukt i slitelag skal ha minimum 4% bindemiddel. Bindemiddelbehovet for skumgrus og emulsjonsgrus i bærelag er for en stor del avhengig av samlet overflate for tilslagsmaterialene. Det største bidraget kommer fra finstoffet, og spesielt de finere fraksjonene. Bindemiddelbehovet for Eg, Sg og Bg er derfor for en stor del avhengig av finstoffinnholdet (prosent). I tillegg til 3 % grensen skal derfor bindemiddelinnholdet (P_u) ikke være mindre enn:

$$P_u = 0,14 * p_{75} + 2,6 \quad (5.2)$$

hvor

- P_u = bindemiddelbehov i vektprosent (-rest-%)
- p_{75} = prosent av tilslagsmateriale mindre enn 75 μ m.

I figur 5.2 har en satt opp krav til bindemiddelinnhold for bærelagsmasser med forskjellige finstoffinnhold (% materiale < 75 μ m). Når det gjelder slitelagsmasser har en ikke så store variasjoner i finstoffinnholdet. Det har derfor liten hensikt å sette opp tilsvarende figur for slitelagsmasser.



Figur 5.2 Bindemiddelbehov i bærelagsmasser

Innblanding av gammel asfalt

Ved fresing i veg vil det i en del tilfeller være aktuelt å blande gammel asfalt inn i bærelaget samtidig med at dette stabiliseres. I slike tilfeller skal proporsjoneringen utføres uten innblanding av gammel asfalt, og det regnes ikke med at innblanding av gammel asfalt fører til redusert bindemiddelbehov. Dersom den gamle asfalten utgjør 60 % eller mer av den totale massen bør en imidlertid proporsjonere som for kald Gja, jfr. "Veiledning for kalde bitumenstabiliserte bærelag" /1/

Antall prøveserier

Både ved standard og utvidet proporsjonering skal det lages minimum 3 prøveserier med forskjellig bindemiddelinnhold. For bærelagsmaterialer er det laveste bindemiddelinnholdet som vist i figur 5.2. For slitelagsmaterialer anbefales 4,0 % som laveste bindemiddelinnhold (rest-%) ved proporsjonering. I tillegg lages det 2 prøveserier med bindemiddelinnhold + 0,5% og + 1,0 % (rest-%) i forhold i til angitte minimumsverdier.

Antall parallelle prøver

Antall parallelle prøver for hver prøveserie bør være minimum;

- 5 ved "Splitting uten tørking", jfr. kapittel 5.2.2
- 3 ved "Tørking, sikting, sammensetning og oppfukning", jfr. kapittel 5.2.2.

5.2.5 Laboratorieblending

Stein større enn 22,4 mm siktes ut før en blander prøvene, og vektprosent materiale større enn 22,4 mm registreres.

Den ideelle prøvehøyden for indirekte strekkprøver er 50-60 mm med tillatt variasjonsområde mellom 40 og 75 mm. Tilstrekkelige mengder tilslagsmaterialer for angitt prøvehøyde veies derfor opp. Dette er ca. 1100-1200 g ved statisk pressing og ca. 1900 g ved bruk av gyratorisk kompaktor (D=100 mm). Høyden på gyratorprøvene blir ca. 100 mm. Normalt vil det derfor være behov for kapping før bestemmelse av indirekte strekkstyrke.

Ved prøvetillagingen kan en bruke laboratorieblandere eller håndblanding. Blandetiden er vanligvis 1-2 minutt avhengig av finstoffinnhold og prøvemengde.

Ved håndblanding blander en masse til en og en prøve a gangen. Ved blanding av emulsjonsgrus med en laboratorieblender skal en maksimalt blande masse til 3-5 prøver a gangen avhengig av antall parallelle prøver i en prøveserie, jfr. kapittel 5.2.4. Når det gjelder skumgrus er det ikke slike begrensninger fordi massens egenskaper ikke forandres i samme grad ved lagring slik som for emulsjonsgrus. For skumgrus er derfor ofte størrelsen på laboratorieblenderen begrensende faktor.

5.2.6 Tillaging av prøveklosser

Ustyr

Til prøvetillagingen benyttes statisk presse eller gyratorisk kompaktor. Formene må være perforerte slik at vann kan unnslippe. Dette er spesielt viktig når en lager prøver av emulsjonsgrus.

Proporsjoneringen utføres ved at en lager sylinderveformede prøver med en diameter på 100 mm. Erfaringsgrunnlaget med 150 mm prøver er foreløpig lite. Dette gjelder både for statisk presse og gyratorisk kompaktor.

Statisk pressing

Følgende prosedyre skal benyttes ved statisk pressing:

- statisk pressing ved en maksimal kraft på 8 tonn
- en bruker 2 min. på pressingen fra 0 til 8 tonn
- prøven står i press ved 8 tonn i 2 min.
- trykket avlastes og prøven avformes umiddelbart.

Gyratorisk komprimering

Ved gyratorisk komprimering bør en foreløpig benytte CEN prosedyren for varme masser:

- 1° vinkel
- 600 kPa statisk trykk (på prøveoverflaten)
- 30 omdreininger/min.

Når det gjelder antall rotasjoner for å oppnå feltdensitet henvises det til kap. 5.2.9.

5.2.7 Kondisjonering

Ustyr

Til fryse/tine forsøkene benyttes en dertil egnet apparatur f.eks. en spesialbygd fryseboks med innfrysingstemperatur mellom -15 og -25°C og en anordning for rask optining i vann mellom fryseperiodene. Fryseboksen bør kunne kjøre ca. 15-20 prøver samtidig og ha en automatikk som muliggjør 4 fryse/tine sykler i løpet av 1 døgn.

Prosedyre

Prøvene bør kondisjoneres umiddelbart etter prøvetilaging. Av praktiske grunner kan det imidlertid være behov for å mellomlagre prøver før kondisjonering. I så fall skal prøvene behandles som vist i tabell 5.2. Ferdig pressede prøver skal i alle tilfelle ikke lagres lenger enn 14 dager før kondisjonering. Under lagring skal prøvene ligge i halve plastrør eventuelt på en av de plane endeflatene.

Tabell 5.2 Mellomlagring (hvis nødvendig) //

Tid i mellomlagring	Maks. temperatur	Innpakking av prøver i plastpose
< 3 timer	Romtemperatur	Ikke nødvendig
3-12 timer	Romtemperatur	Nødvendig
12 timer - 14 dager	Kjøleskaptemp.	Nødvendig

Kondisjoneringen utføres som følger:

- Prøvene lagres i varmeskap i 7 døgn ved 40°C (tørr lagring). Det skal benyttes varmeskap med lufting og luftekanalene skal være åpne under kondisjoneringen. I tilfeller med tidsnød kan en etter byggherrens godkjenning, alternativt kondisjonere prøvene i 3 døgn ved 60°C
- Prøvenes volum bestemmes ved å måle høyden på 3 steder langs periferien og diameteren på 2 steder
- Prøvene veies tørt
- Prøvene utsettes deretter for 8 fryse/tine sykler: 4 sykler pr. døgn i 2 døgn
- Hver syklus skal bestå av 5 timer frysing og 1 time tining i vann
- Ved innfrysing skal det oppnås en temperatur i midten av prøven på -5 til -10°C
- Ved opptiningen skal det brukes kaldt springvann.

Fryse/tine prosessen startes opp ved at prøvene først fryses inn i 5 timer etterfulgt av 1 time opptining i vann. Fryse/tine prosessen avsluttes etter den siste opptiningen i vann, dvs. etter nøyaktig 2 døgn. Etter fryse/tine prosessen bør prøvene legges i vannbad umiddelbart for temperering. Dersom det av praktiske årsaker er nødvendig med mellomlagring av prøver før kondisjonering og testing utføres dette som vist i tabell 5.2.

5.2.8 Testing av prøveklosser*Utstyr*

For nærmere beskrivelse av indirekte strekkutstyr henviser en til Håndbok 014 "14.554 Indirekte strekkstyrke".

Prosedyre

Prøvene tempereres (våt) i vannbad ved 25 °C i 30-40 min. før testing. Deretter følger monteringen i belastningsrammen. Det kan være nødvendig å vri prøven for å sikre godt anlegg og god kontakt mellom belastningsstripene og prøveoverflaten.

Testen må være fullført innen 3 minutter etter avsluttet temperering og påbegynt montering av prøven i belastningsrammen. Under belastningsforsøket registreres maksimal kraft. Etter testing tar en vare på alt materialet og tørker det for bestemmelse av vanninnhold og tørr densitet.

Beregninger

Indirekte strekkstyrke beregnes vha. følgende uttrykk:

$$S_t = (636,62 * P_{\max}) / (t * D) \quad (5.3)$$

hvor

S_t	=	indirekte strekkstyrke [kPa]
P_{\max}	=	maksimal kraft ved brudd [N]
t	=	prøvens høyde [mm]
D	=	prøvens diameter [mm]

Materialets lastfordelingskoeffisient beregnes som følger:

$$a = 0,38 * (S_t)^{1,5} \quad (5.4)$$

Ved bestemmelse av lastfordelingskoeffisienter i laboratoriet (dimensjoneringsnivå 2 i vegnormalene) er det begrensninger på hvor høye verdier en kan benytte i dimensjoneringsammenheng. Maksimumsverdien er begrenset til 0,75 enheter over normalverdien for tilsvarende materiale etter dimensjoneringsnivå 1 (jfr. tabell 5.3).

Tabell 5.3 Lastfordelingskoeffisient (dimensjoneringsnivå 1)

Massetype	Bindemiddelttype	Lastfordelingskoeffisient 1)
Egt	B	2,0
	MB>6000	<u>1,5</u>
	MB<6000	1,25
Egd	B	1,75
	MB	<u>1,25</u>
Eg/Sg	Alle	2,0
		<u>1,75</u>
		1,5
Bg	Alle	1,75
		<u>1,5</u>
		1,25

1) Understreket verdi angir normalverdien i vegnormalene, standardverdi som skal benyttes når arbeidsresept ikke er fastlagt.

Dersom det er oppgitt flere verdier for lastfordelingskoeffisienten i dimensjoneringsnivå 1 er understreket verdi (normalverdi) utgangspunktet for disse beregningene. Dette gjelder uavhengig av hvilken bindemiddelttype som benyttes. Nevnte begrensning gjelder alle massetyper som omfattes av veiledningen.

Vurdering av resultater

Ved valg av massesammensetning skal krav til minimum bindemiddelinnhold og lastfordelingskoeffisient tilfredsstilles. I tillegg må en også vurdere lastfordelende evne for andre lag i vegkonstruksjonen og klimatiske betingelser. Dersom flere massesammensetninger tilfredsstiller nevnte krav bør en prioritere høye bindemiddelinnhold framfor høye lastfordelingskoeffisienter. Årsaken er at høyere bindemiddelinnhold gir bedre bestandighet, som er viktigere enn lastfordeling og elastiske egenskaper.

Rapportering

Følgende resultater skal rapporteres:

- korngradering (inkludert % > 22,4 mm) og vanninnhold for tilslagsmaterialene
- tørr densitet, indirekte strekkstyrke og lastfordelingskoeffisient for hver av prøveklossene
- gjennomsnittlig tørr densitet og lastfordelingskoeffisient for hver prøveserie (3 prøver)

Gjennomsnittlig lastfordelingskoeffisient beregnes som middel av lastfordelingskoeffisienten for hver enkelt prøve.

5.2.9 Erfaringer fra AUT

Vanninnhold

I AUT-prosjektet er følgende tilslagsmaterialer brukt til produksjon av emulsjonsmasse:

- Verpe, knust kulestein fra grustak
- Huvestad, knust naturgrus
- Rogdeli, tunnelstein
- Tømmeråsen, knust fjell

Tabell 5.4 viser hvilke vanninnhold en har hatt ved produksjon av emulsjonsgrus av de ulike tilslagsmaterialene.

I Telemarksprosjektet har faren for avrenning vært avgjørende for valg av vanninnhold i forbindelse med produksjon av emulsjonsgrus. Dette har sammenheng med at avrenning kan skape store problemer i form av forurensning av resipienter samt tilgrising av folk og biler. I perioder oppstod det avrenning for alle tilslagsmaterialer. Problemene var imidlertid størst for Tømmeråsen, jfr. kap. 5.4. Dette kan delvis forklares av at gjennomsnittlig vanninnhold for Tømmeråsen er høyere enn optimalt vanninnhold ved Modifisert Proctor, se tabell 5.4. Når det gjelder bindemiddeldekning var denne nær 100 % for alle tilslagsmaterialene.

Tabell 5.4 Vanninnhold

Masstype	Lag	Resept	Tilslagsmateriale	Vanninnhold (%)			
				Middel	Maks.	Min.	St avvik
Eg 11	Oppretting	95-971	Verpe	5,9	7,3	4,7	0,6
Eg 16	Bærelag	95-973	Verpe	5,0	5,4	4,8	0,3
Eb 11	Slitelag	95-972	Verpe	5,3	5,9	4,6	0,4
Eg 16	Bærelag	95-975	Huvestad	5,0	5,5	3,8	0,5
Eg 16	Bærelag	95-976	Huvestad	5,6	5,8	5,3	0,4
Eb 16	Slitelag	95-977	Huvestad	5,1	5,5	4,8	0,5
Eg 6	Oppretting	95-978	Huvestad	6,6	7,7	6,1	0,6
Eg 16	Bærelag	96-976	Huvestad	5,1	6,2	4,4	0,6
Eb 16	Slitelag	96-977	Huvestad	5,4	5,8	5,2	0,3
Eb 11	Slitelag	96-975	Rogdeli	4,6	5,9	3,5	0,6
Eg 11	Bærelag	96-972	Rogdeli	4,0	4,8	3,3	0,6
Eb 16	Slitelag	96-974	Tømmeråsen 1)	5,7	6,0	5,3	0,3
Eg 16	Bærelag	96-973	Tømmeråsen 1)	5,3	5,9	4,6	0,5
Eb 16	Slitelag	96-974	Tømmeråsen 1)	5,6	5,6	5,5	-

1) Optimalt vanninnhold ved mod. proctor: 5,5 %

Sammenligning av feltdensitet og statisk pressing av prøver

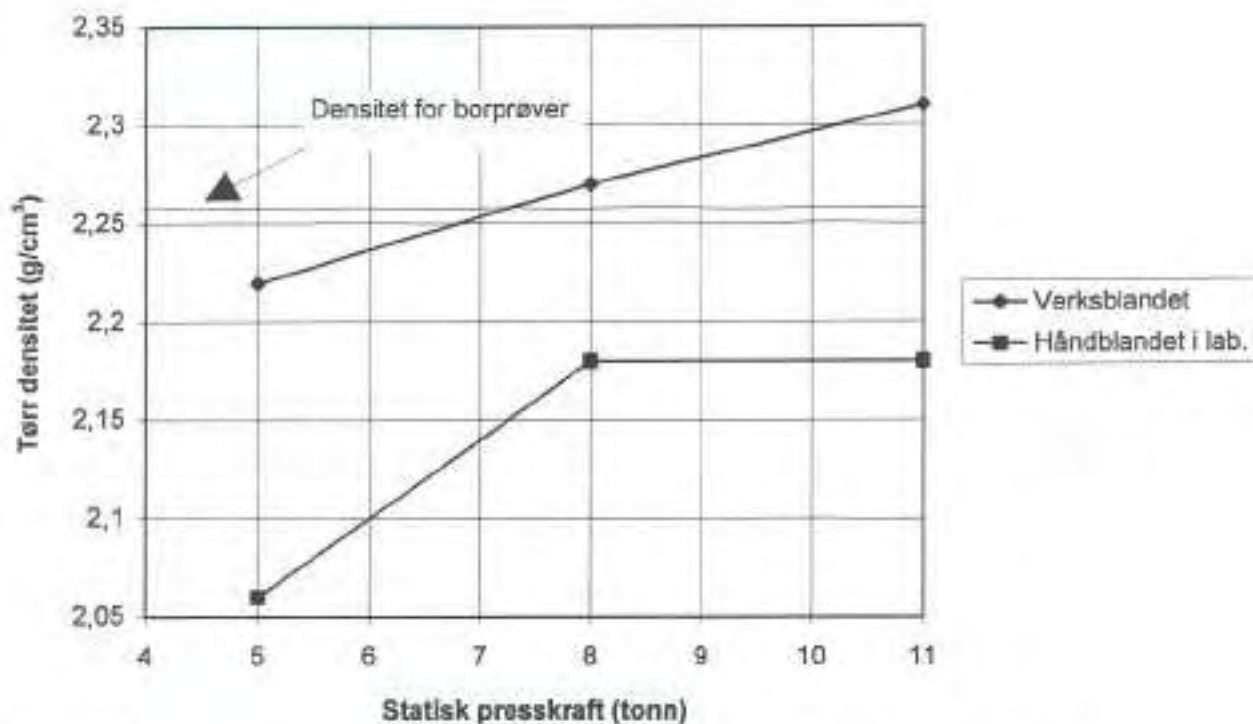
I Telemarksprosjektet er det utført flere forsøk for å sammenligne densiteten i felten med hva en får ved statisk pressing av prøver. Resultatene er vist i figur 5.3 til 5.5. Feltdensiteten er markert som horisontale linjer i figurene.

Figur 5.3 viser resultater fra kompaktering av håndblandet og verksblandet masse. Av figuren ser en at densiteten i felten tilsvare mellom 5 og 8 tonn dersom en sammenligner med verksblandet masse. Densiteten for prøver av håndblandet masse ligger lavere enn det en oppnår i felten.

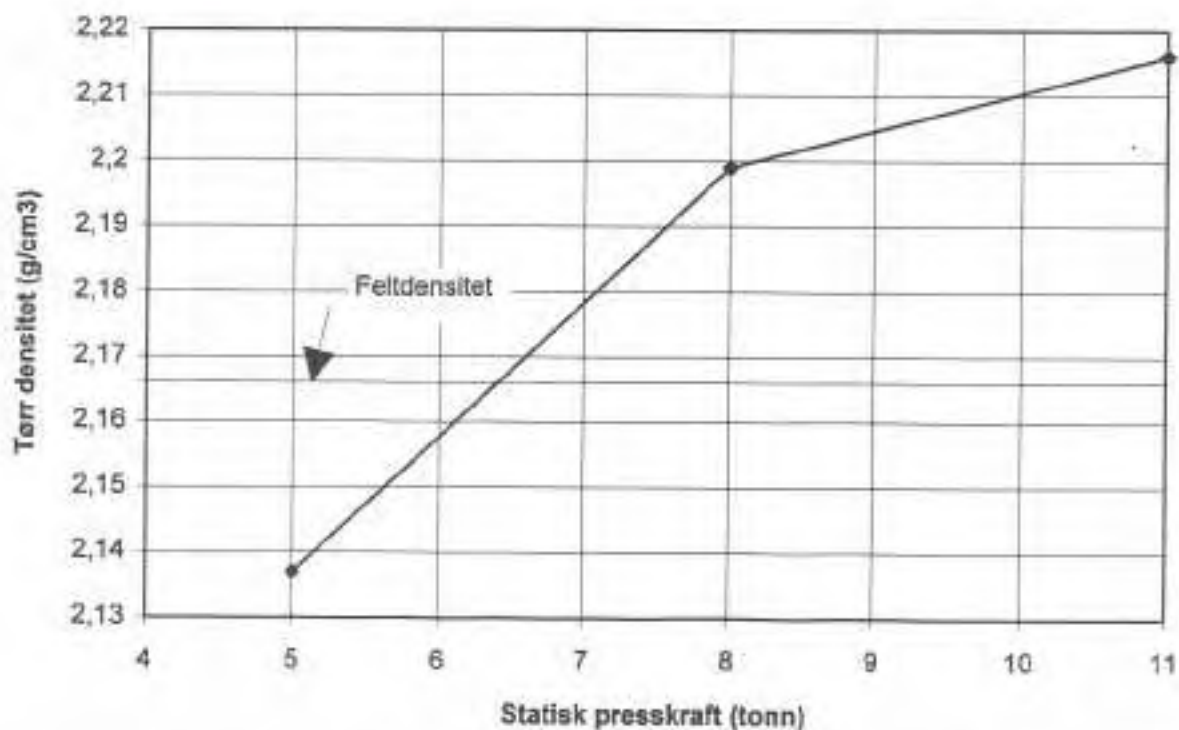
Figur 5.4 viser resultater fra et annet forsøk hvor feltdensiteten er sammenlignet med statisk pressing av masse blandet med en laboratorieblender. Resultatene viser at en får samme densitet som i felten med en statisk presskraft mellom 5 og 8 tonn.

Figur 5.5 viser resultater fra det mest omfattende av sammenligningsforsøkene. Av figuren ser en at nødvendig presskraft for å få samme densitet som i felten varierer mellom 9 og 10 tonn avhengig av blandemetode.

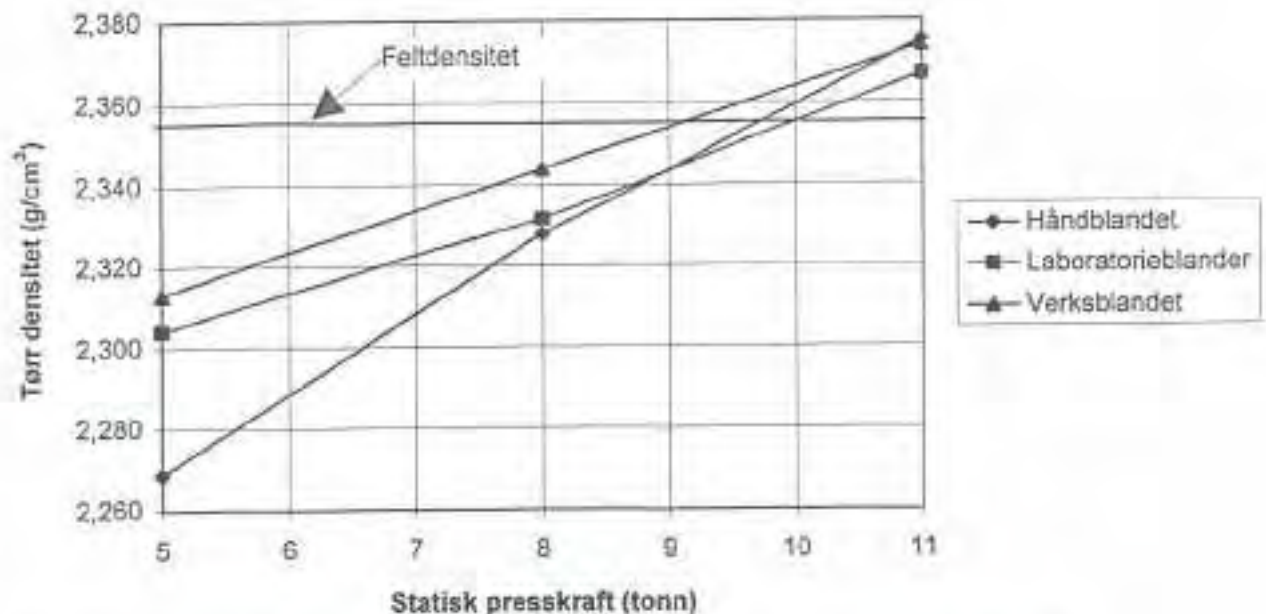
Konklusjonen fra de tre forsøkene er at nødvendig presskraft for å få samme densitet som i felten varierer en del, men gjennomsnittet ligger nær 8 tonn som foreskrevet i standardprosedyren.



Figur 5.3 Sammenligning av feltdensitet og statisk presskraft i laboratoriet (Rv. 36)



Figur 5.4 Sammenligning av feltdensitet og statisk presskraft i laboratoriet (Rv. 36)



Figur 5.5. Sammenligning av feltdensitet og statisk presskraft i laboratoriet (Rv. 45)

Sammenligning mellom feltdensitet og prøvetillaging med gyrotorisk kompaktor

I Telemarksprosjektet har en gjort forsøk for å sammenligne oppnådd densitet i felten med densitet ved prøvetillaging med gyrotorisk kompaktor, se resultater i tabell 5.3. Gyrotorutstyret hadde følgende innstillinger under prøvetillagingen:

- Arbeidstrykk: 600 kPa
- Gyrotorvinkel: 1°
- Rotasjonshastighet: 30 omdreininger pr. minutt

Dette tilsvarende CEN-proseduren for kompaktering av varme masser. Forsøkene som ligger til grunn for verdiene i tabell 5.5 er utført på Rv. 45 og Rv. 36. På Rv. 45 var lagtykkelsen ca. 6,5 cm ferdig kompaktert, mens tilsvarende tall på Rv. 36 var ca. 25 cm. På Rv. 36 la en først ett lag med tykkelse 6-7 cm, mens det øverste laget var 16-17 cm tykt (ferdig kompaktert). Normalt ville en ha lagt to lag hver med 12 cm tykkelse, men det ble gjort som angitt av hensyn til opptak av treaksialprøver. Legging i for tykke lag kan føre til at densiteten blir lavere enn den ellers ville blitt. Følgelig kan det være at nødvendig antall rotasjoner for å nå feltdensiteten er for lavt for forsøkene på Rv. 36 i forhold hva en normalt burde hatt. Resultatene viser at nødvendig antall rotasjoner for å oppnå samme densitet som i felten varierer mellom 45 og 146. Dette tilsvarende mellom 95,6 og 98,9% av densiteten etter 200 rotasjoner. På bakgrunn av erfaringene fra Telemarksprosjektet anbefales følgende kompakteringsprosedyre med gyrotorisk kompaktor (med standardinnstilling)

- først kompakteres en prøveserie a minimum 3 prøver med 200 omdreininger
- derefter kompakteres en ny prøveserie a minimum 3 prøver til 96 % av densiteten ved 200 rotasjoner.

Sistnevnte prøveserie brukes for å bestemme lastfordelingskoeffisienten ut fra statisk indirekte strekkforsøk. En har valgt en forholdsvis lav kompakteringsgrad (96%) for å unngå at lastfordelingskoeffisienten overestimeres. Dette gir en forsiktig dimensjonering i forhold til det begrensede datamaterialet fra AUT-prosjektet. Det er behov for å utvide erfaringsgrunnlaget når det gjelder sammenligninger mellom feltdensiteten og kompaktering med gyratorisk kompaktor. Det er også riktig å presisere at erfaringene i AUT gjelder emulsjonsmasse og ikke skumbitumenmasse.

Tabell 5.5 Antall rotasjoner for å nå feltdensitet

Vals	Antall rotasjoner til feltdens. 1)	Antall passeringer med valsen	Lagtykkelse (cm)	Feltdensitet/densitet ved 200 rotasjoner (%)
Hamm DH 10	146 3)	7-9	6,5	98,9
Hamm DV 8K	45 2)	7-9	ca. 16	95,6

- 1) Prøvediameter: 100 mm
 Innveid masse: ca 1900 g
 Arbeidstrykk: 600 kPa
 Gyratorvinkel: 1°
 Rotasjonshast.: 30 omdr. pr. min.

2) Rv. 36 i Øvre Bø

3) Rv. 45 ved Høydalsmo

Kondisjoneringsbetingelser

I AUT-prosjektet er det utført et omfattende forsøksprogram for å klarlegge innvirkningen av ulike kondisjoneringsprosedyrer med tanke på eventuelle forbedringer av standardprosedyren. Følgende parametre ble variert:

- antall fryse/tine sykler
- grad av vannmetting
- herding i laboratoriet, tid og temperatur

Resultatene fra undersøkelsen er oppsummert i etterfølgende avsnitt.

Innvirkningen av fryse/tine sykler

I denne delen av forsøksprogrammet ønsket en å undersøke innvirkningen fryse/tine sykler på prøver med varierende grad av vannmetting. To alternative kondisjoneringsprosedyrer ble utprøvd,

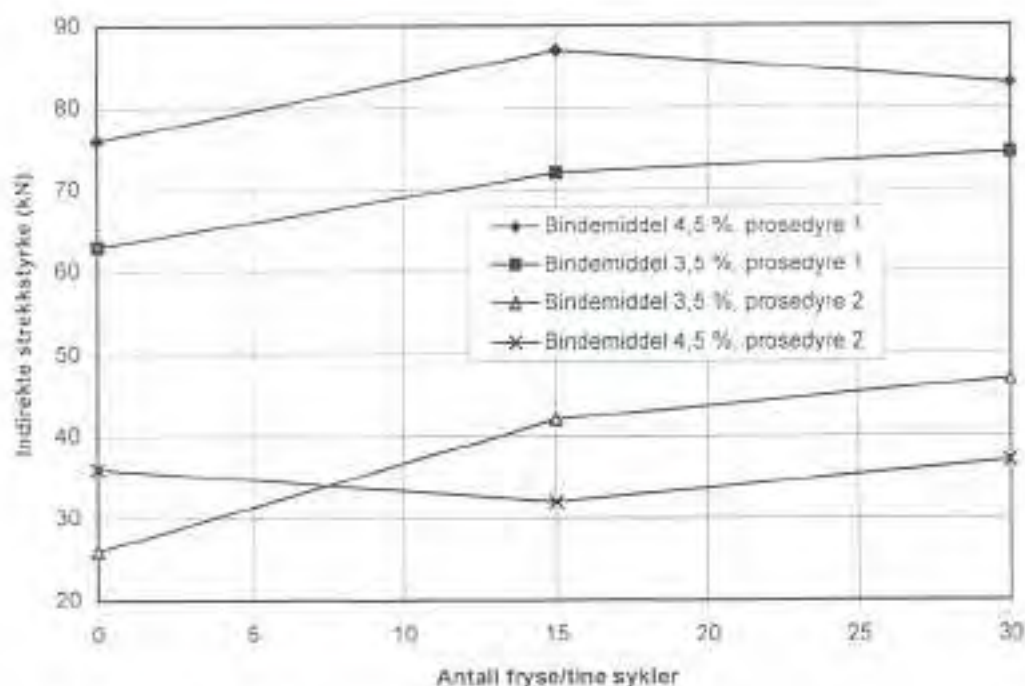
Prosedyre 1: - 7 døgn tørt ved 40 °C

Prosedyre 2: - 7 døgn ved 40 °C i plastpose i varmeskap
 - Vannmetting og evakuering med eksikator til et resttrykk på 50 mm Hg i løpet av 10 min., temperatur 25 °C
 - Resttrykket på 50 mm Hg holdes i 1 time
 - Lagring i vannbad ved 25 °C i 3 døgn

Nevnte kondisjoneringsprosedyrer ble etterfulgt av 0, 15 og 30 fryse/tine sykler. Standard-prosedyren for kondisjonering tilsvarer prosedyre 1 med 8 fryse/tine sykler. Det ble laget prøver både med 3,5 % og 4,5 % bitumeninnhold.

Av resultatene i figur 5.6 ser en at prøvene kondisjonert med 7 dogn tørr lagring (prosedyre 1) har omtrent dobbelt så stor strekkstyrke som vannlagrede prøver (prosedyre 2). Resultatene viser også at prøvene er lite følsomme for antall fryse/tine sykler. Dette gjelder både for 3,5 og 4,5 % bindemiddel (rest-%) og uavhengig av kondisjoneringsprosedyren. Det har derfor liten hensikt å øke antall fryse/tine sykler ut over 8 som tilsvarer standardprosedyren.

Av figur 5.6 ser en ellers at kondisjoneringsprosedyre 1 "favoriserer" prøver med mye bindemiddel. Det vil si at en får høyere indirekte strekkstyrke med økende bindemiddelinnhold. Dette er gunstig når en vet at kalde masser ofte har lavt bindemiddelinnhold. Når det gjelder prøver kondisjonert etter prosedyre 2 så er resultatene ikke så klare. Prosedyre 2 gir dessuten for lave verdier for indirekte strekkstyrke i forhold til erfaringer fra utboring av prøver fra felten. Resultatene fra AUT-prosjektet viser derfor at prosedyre 1 er å foretrekke.



Figur 5.6 Innvirkningen av fryse/tine sykler

Vannmetting

Vannmetting med eller uten forutgående vakuumevakuerings ble utprøvd, og kondisjoneringsprosedyrene var som følger:

- Prosedyre 1
- Kondisjonering i plastpose i varmeskap, 7 dogn ved 40 °C
 - Vannmetting og evakuering med eksikator til et resttrykk på 50 mm Hg i løpet av 10 min, temperatur 25 °C
 - Resttrykket på 50 mm Hg holdes i 1 time
 - Prøver lagres i vannbad ved 25 °C i 1, 3 og 7 dogn

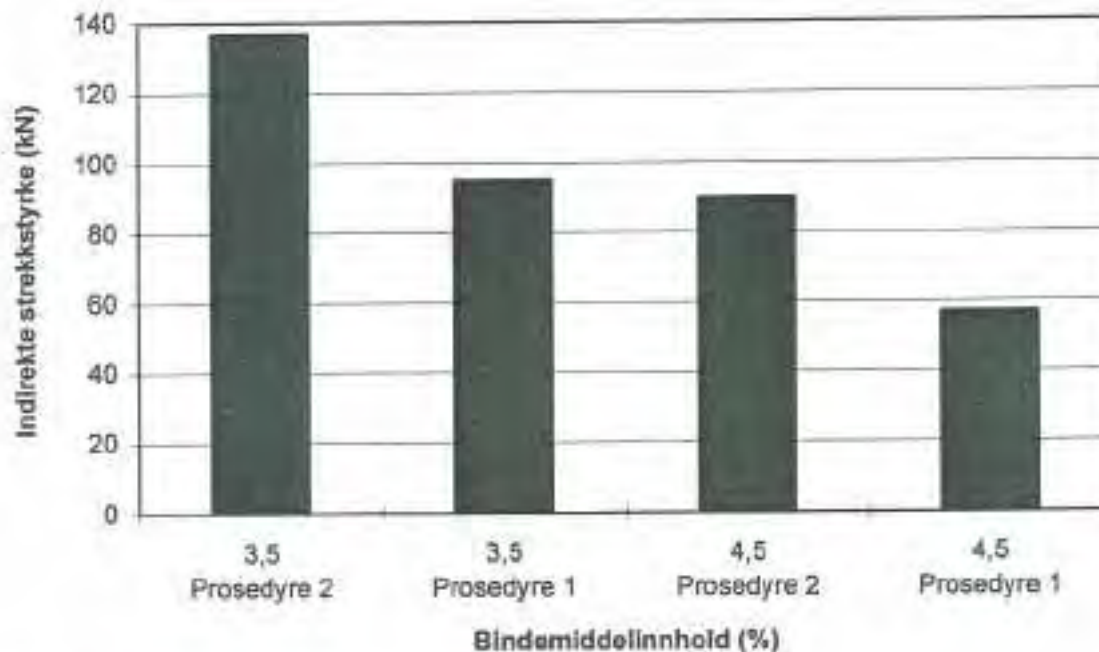
- Prosedyre 2: - Kondisjonering i plastpose i varmeskap, 7 døgn ved 40 °C
 - Prøver lagres i vannbad ved 25 °C i 1, 3 og 7 døgn (uten forutgående vannmetting i eksikator)

Forskjellen mellom prosedyrene er at prosedyre 1 innbefatter vakuumevakuering, mens prosedyre 2 ikke gjør det. Det ble laget prøver både med 3,5 % og 4,5 % bindemiddelinnhold (rest-%).

Resultatene i figur 5.7 viser at vakuumevakuering etterfulgt av lagring i vannbad (prosedyre 1) gir noe lavere indirekte strekkstyrke enn bare lagring i vannbad (prosedyre 2). Av figuren ser en også at prøver med 3,5 % bindemiddel (rest-%) har høyere indirekte strekkstyrke enn prøver med 4,5 % bindemiddel (rest-%). Dette gjelder både for kondisjonering med eller uten vakuumevakuering. Vannlagring med eller uten vakuumevakuering "favoriserer" derfor prøver med lite bindemiddelinnhold. Det vil si at masser med mye bindemiddel får lavere strekkstyrke enn masse med et høyere bindemiddelinnhold. Dette er uheldig fordi:

- kalde masser i utgangspunktet ofte inneholder relativt lite bindemiddel
- lite bindemiddel fører generelt sett til lavere utmatningsstyrke og dårligere bestandighet.

Ut fra resultater i AUT-prosjektet anbefales derfor ikke vannlagring med eller uten vakuumevakuering for kondisjonering av kalde masser.



Figur 5.7 Innvirkningen av vannmetting (3 døgn)

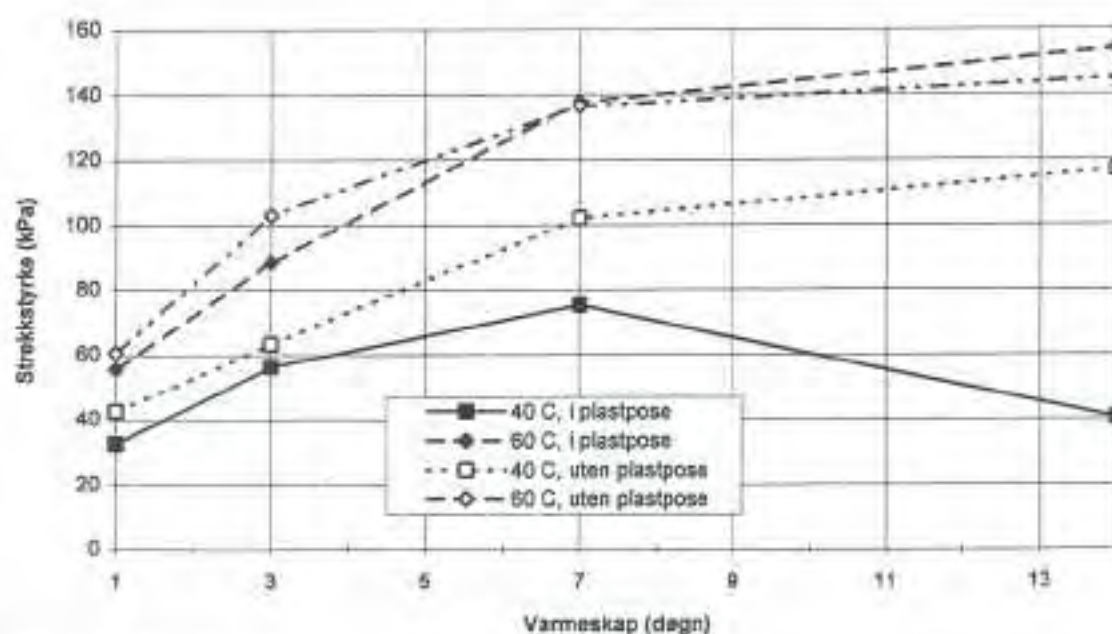
Herding i varmeskap

I AUT-prosjektet er det utført forsøk med lagring i varmeskap ved 40 og 60 °C med og uten innpakning av prøvene i plastpose. Ved lagring uten plastpose (standardprosedyren) får en sterk uttørring av prøven, noe en ikke har i like sterk grad i felten. Dette var bakgrunnen for å prøve lukket lagring i plastpose. Resultatene er vist i figur 5.8. Ut fra forsøkene kan det trekkes følgende konklusjoner:

- Strekkstyrken øker fram til 7 døgns herding. Deretter flater kurven ut. Det har derfor liten hensikt å herde laboratorieprøver lenger enn 7 dagn i varmeskap.

- Herding i varmeskap ved 40°C og bruk av plastpose gir for lave verdier for lastfordelingskoeffisienten og anbefales ikke. Ved 60 °C er det imidlertid liten forskjell på prøver med og uten plastpose. Innpakning av prøver i plastpose ved herding i varmeskap ved 60 °C har derfor liten hensikt.

- Standardprosedyren for kondisjonering av prøver er som følger; 7 dagn ved 40 °C (uten plastpose) etterfulgt av 2 dagn med fryse/tine sykler (4 fryse/tine pr. dagn). I tilfeller med liten tid mellom en kontraktssingåelse og utførelse kan en alternativt herde prøvene i 3 dagn ved 60 °C.



Figur 5.8 Herding

Konklusjonene på hele undersøkelsen er at en bør holde fast ved standardprosedyren for kondisjonering. Denne er som følger:

- lagring i varmeskap ved 40 °C i 7 dagn
- 8 fryse/tine sykler

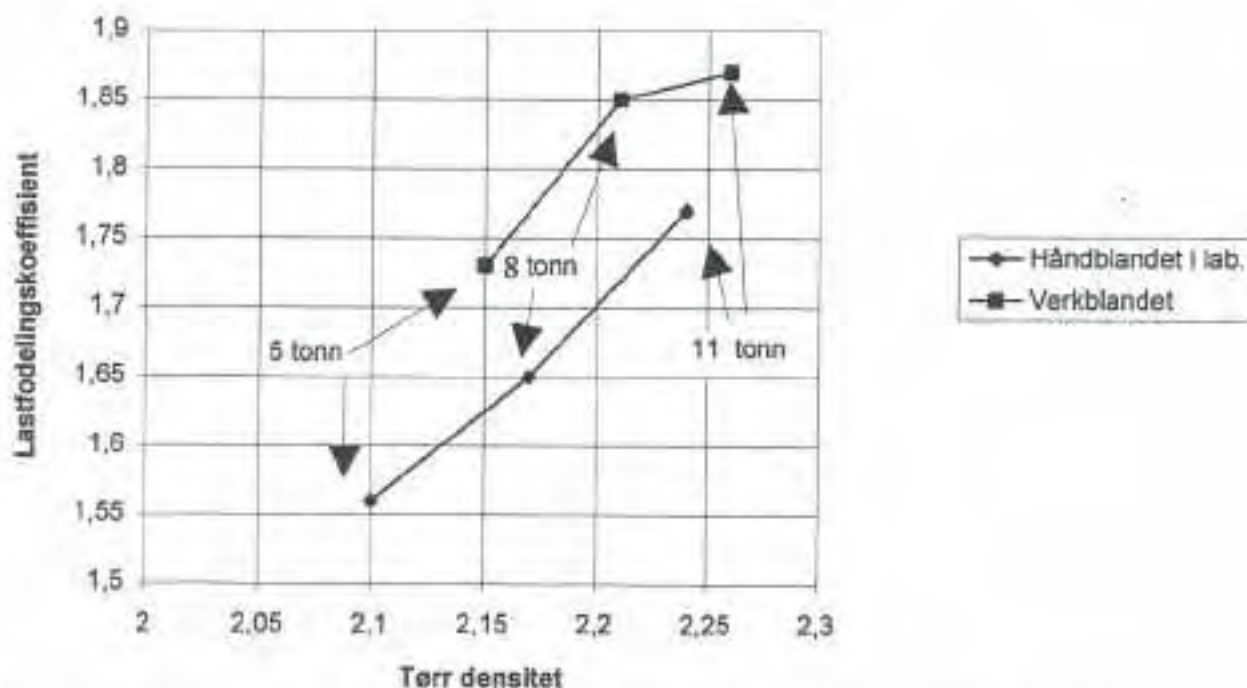
I tilfeller med knapp tid mellom kontraktsinngåelse og utførelse kan en alternativt herde prøvene 3 døgn i varmeskap ved 60 °C i stedet for 7 døgn ved 40 °C. Dette bør i så fall godkjennes av byggherren i hvert enkelt tilfelle.

Sammenligning av blandemetoder

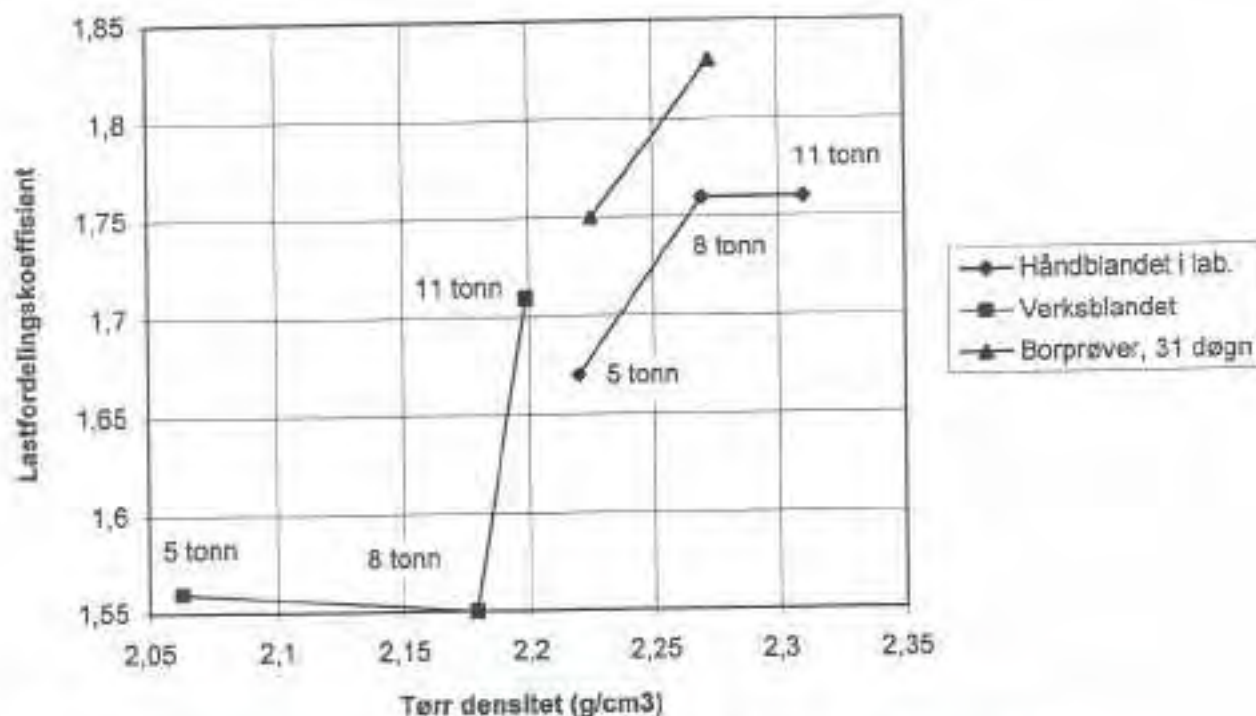
Ved prøvetillaging i laboratoriet er ett av målene at prøvene ligner mest mulig på prøver av samme masse fra felten. I AUT-prosjektet ble det derfor gjennomført undersøkelser for å klarlegge eventuelle forskjeller og vurdere behov for forbedringer av laboratorieprosedyrene.

Figur 5.9 og 5.10 viser resultater fra forsøk på Rv 36 i Bø i 1995 hvor en sammenlignet håndblandede prøver med prøver av verksblandet masse laget på leggestedet. Masse-typen var en emulsjonsgrus med BE 65 S/B370, og bindemiddelinholdet var 4,5 -5,0 % (rest-%). Resultatene viser at det er store forskjeller mellom prøver av håndblandet masse i laboratoriet og prøver av verksblandet masse presset på leggestedet. Noe av årsaken kan være forskjeller i massesammensetning forårsaket av klumpdannelse ved produksjonen i verket. Disse klumpene "stjeler" både bindemiddel og finstoff.

Det ble også tatt opp borprøver ca. 1 mnd. etter legging, se resultater i figur 5.10. Av figuren ser en at borprøvene har noe høyere lastfordelingskoeffisient enn statistisk pressede prøver av håndblandet masse forutsatt samme densitet.



Figur 5.9 Sammenligning av håndblandet og verksblandet masse, bærelagsmasse, Rv.36



Figur 5.10 Sammenligning av håndblandet og verksblandet masse, bærelagsmasse, Rv. 36

På bakgrunn av resultatene fra forsøkene i 1995 gikk en videre med et omfattende prøveprogram i 1996 for å undersøke virkningen av ulike blandemetoder. Tilslagsmaterialet her var forskjellig fra det en benyttet i 1995. Forsøkene i 1996 omfattet blant annet:

- blanding av masse i verket
- blanding for hånd på laboratoriet
- blanding med en laboratorieblender

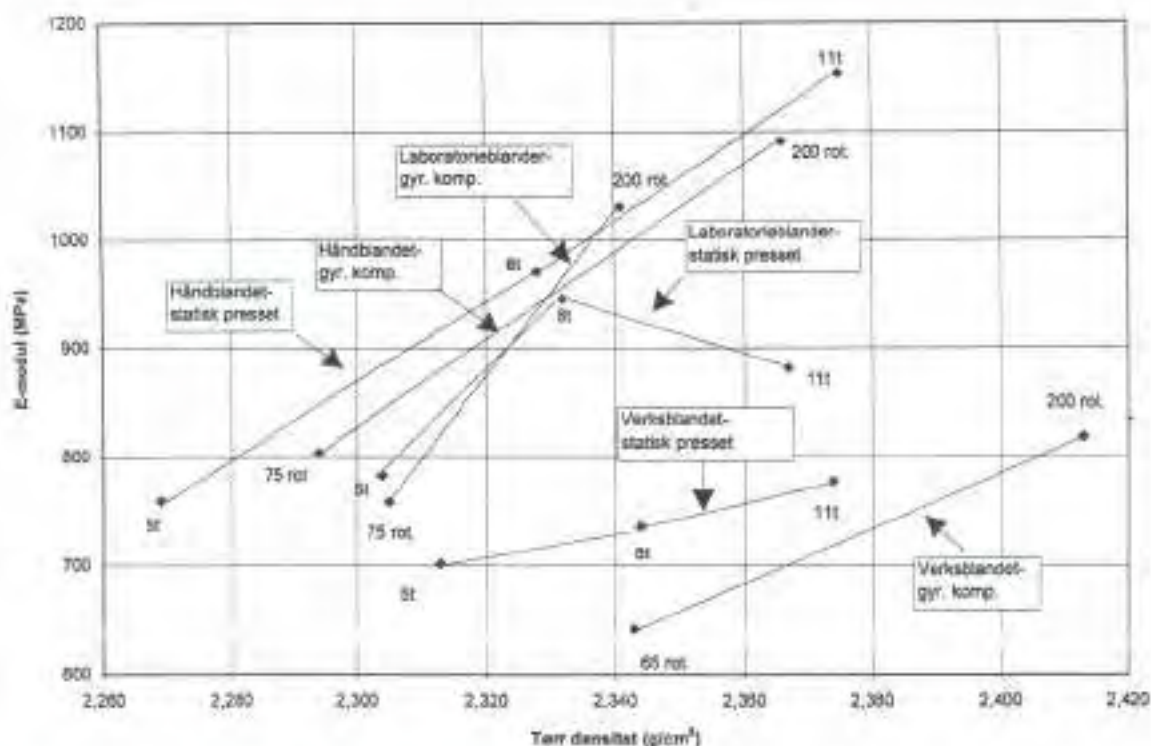
Det ble kompaktert prøver med statisk presse og gyrotorisk kompaktor både i felten og på laboratoriet. Ved tillaging av prøver i felten tok en massen fra blandeverket under ordinær produksjon, mens en i laboratoriet blandet for hånd eller med en laboratorieblender. Tilslagsmaterialer og bitumenemulsjon for laboratorieblending ble tatt ut ved blandeverket, samtidig med tillaging av prøvene i felt. Arbeidsresepten var den samme i begge tilfeller.

Resultatene i figur 5.11 viser at det for statisk pressede prøver kun er små forskjeller i densitet for de ulike blandemetodene. Tillaging av prøver i laboratoriet med bruk av håndblanding eller laboratorieblender ser ut til å gi samme densitet som ved pressing av verksblandet masse i felten. Disse konklusjonene er forskjellig fra resultatene i 1995 hvor en fikk signifikante forskjeller mellom verksblandet masse og håndblandet masse i laboratoriet. Det er imidlertid rimelig å feste mer lit til resultatene fra 1996 fordi en ikke hadde nevneverdige problemer med klumpdannelse dette året. En kan derfor anta at massesammensetningen var den samme for verksblandet masse og masse blandet i laboratoriet.

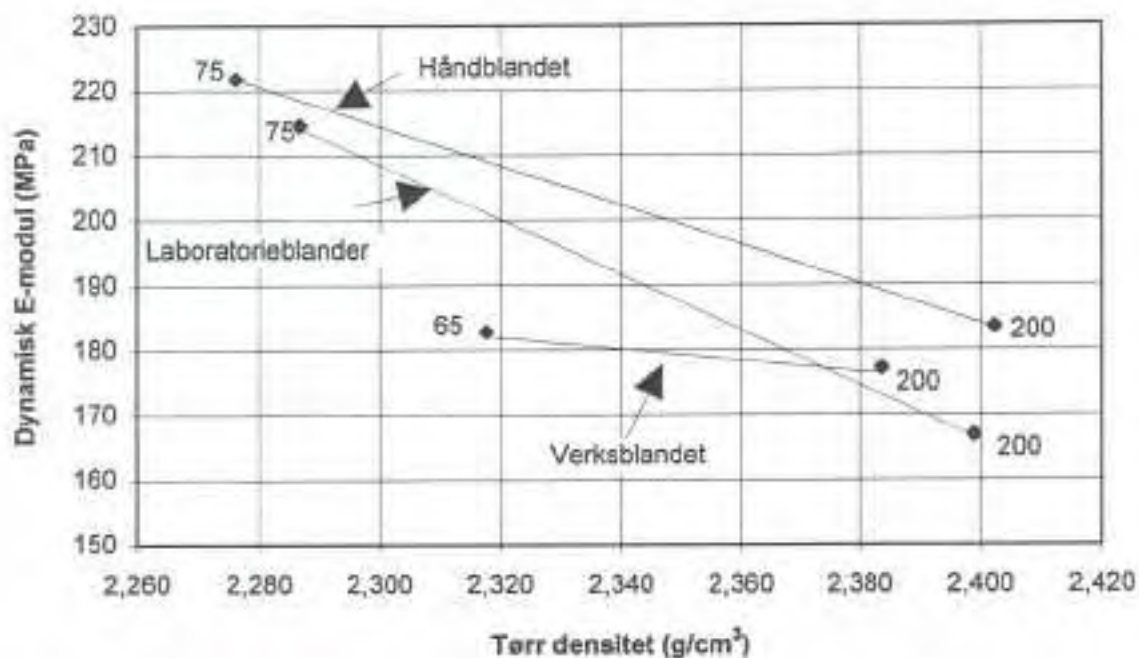
For prøver kompaktert med gyratorisk kompaktor får en lavere densitet for verksblandet masse sammenlignet med masse blandet i laboratoriet, mens det er jevnt over små forskjeller mellom håndblandet masse og masse blandet i laboratorieblender.

Resultatene fra prøver kompaktert med gyratorisk kompaktor viser at verksblanding gir langt lavere E-modul enn blanding i laboratoriet. Det er imidlertid relativt små forskjeller mellom håndblanding og blanding med laboratorieblender.

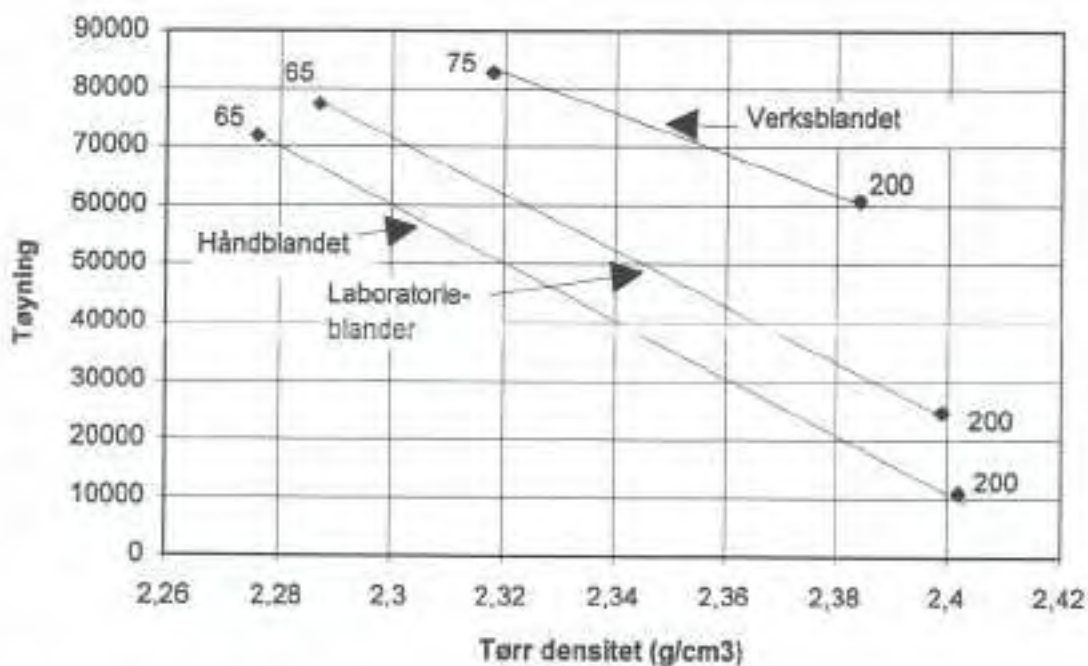
Det er også gjort forsøk med Nottingham Asphalt Tester (NAT), se figur 5.12-5.14. Resultatene her bekrefter tidligere konklusjoner fra statisk indirekte strekkforsøk, nemlig at det er klare forskjeller mellom verksblandet masse og masse blandet i laboratoriet når det gjelder egenskaper som E-modul bestemt med statisk indirekte strekkforsøk, dynamisk E-modul og plastiske egenskaper. Jevnt over er det imidlertid små forskjeller mellom håndblanding og blanding med laboratorieblender.



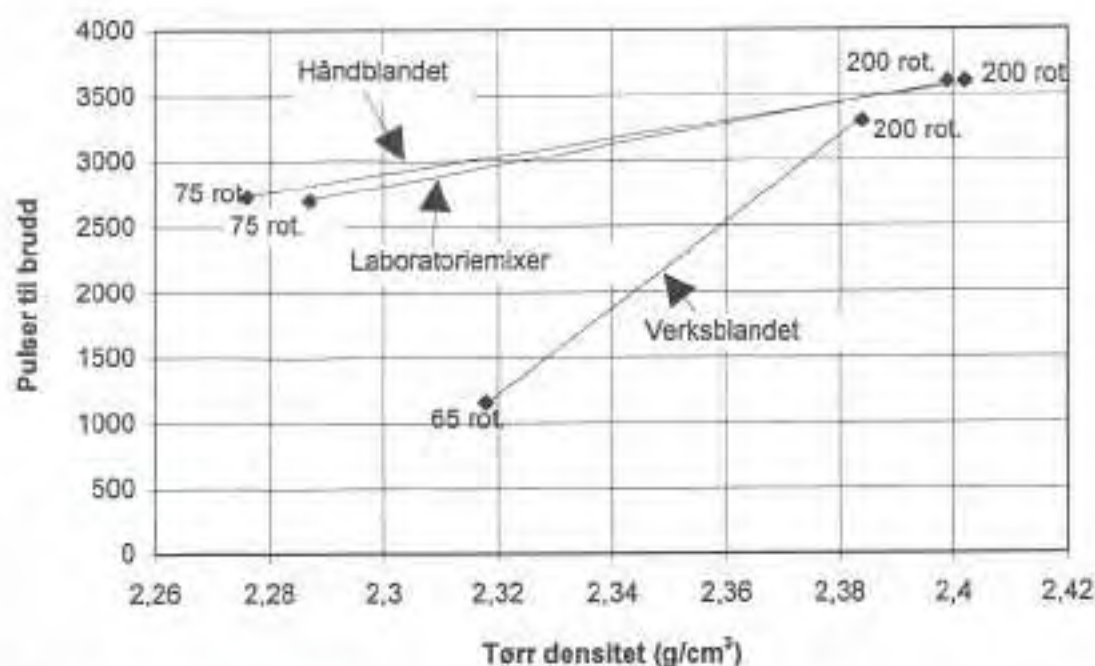
Figur 5.11 E-modul bestemt med statisk indirekte strekkforsøk



Figur 5.12 E-modul bestemt med indirekte strekkstyrke



Figur 5.13 Dynamisk E-modul bestemt med NAT-utstyr



Figur 5.14 Dynamisk sigetest-forsøk med NAT-utstyr

Ut fra forsøkene i 1995 og 1996 ser det ut til å være signifikante forskjeller mellom egenskapene for verksblandet masse og masse blandet i laboratoriet. Det er imidlertid ikke vesentlige forskjeller mellom håndblanding og bruk av en laboratorieblender. Ut fra hensynet til arbeidsmiljø og kapasitet ved prøvetillagingen kan det allikevel være fordelaktig å benytte en laboratorieblender.

Ved prøvetillaging i laboratoriet er målet å lage mest mulig sammenlignbare prøver med prøver fra felten. Det må derfor arbeides videre med å forbedre laboratoriemetodene. I AUT-prosjektet brukte en 2 sorteringer i verket, og disse ble tilsatt på forskjellige steder. Bindemiddelet ble tilsatt gjennom sprøyteramper montert på 2 forskjellige steder i miksekammeret. Dette skiller seg vesentlig fra blanding av prøver i laboratoriet hvor bindemiddelet vanligvis tilsettes manuelt (ikke via dyser) til en ferdig sammensatt prøve. En foreslår derfor å undersøke om laboratoriemetodene kan forbedres ved å bruke flere sorteringer og tilsette bindemiddel separat til de aktuelle sorteringene.

5.3 Bearbeidbarhet

5.3.1 Generelt

Emulsjonsmasser er tyngre bearbeidbar enn varm produsert asfalt og skumbitumenmasser. Emulsjonsmasser med stivt bindemiddel (viskositet $> 3000 \text{ mm}^2/\text{sek}$ v/60°C) kan være vanskelig å legge ut med tilfredsstillende jevnhet hvis brytningsprosessen har kommet for langt. Det er derfor ønskelig å kunne vurdere massens bearbeidbarhet som en del av proporsjoneringen på laboratoriet, slik at man unngår overraskelser når man starter opp produksjonen i felten.

I AUT valgte vi å undersøke to typer utstyr med hensyn på vurdering av bearbeidbarhet :

- | | |
|--|----------------|
| 1) Nynäs Workability Test (Lab.screed) | kapittel 5.3.2 |
| 2) Gyatorisk kompaktor, ICT | kapittel 5.3.3 |

Massene blir vurdert som for tungt bearbeidbar dersom :

- Dekket blir ujevnt
- Det oppstår rivninger i dekket
- Massen inneholder klumper som har herdet
- Massen går tregt gjennom utleggerscreed
- Massen er for tung å spa
- Massen går ikke gjennom utleggeren

Det finnes ingen eksakt definisjon av begrepet bearbeidbarhet. Nynäs bruker begrepet masseviskositet synonymt med bearbeidbarhet. Vi har anvendt begrepet både om "vanskelig" masse og om masse med høy masseviskositet. I AUT er bearbeidbarhet først og fremst benyttet om fasen fra massen kommer ut av blandeverket til den har kommet gjennom utleggeren. Fordi begrepet bearbeidbarhet ikke er entydig definert opplever vi at masse som i laboratorietester er tungt bearbeidbar, gir godt resultat på veien og omvendt. Det er nødvendigvis ikke noe motsetningsforhold her, da opplevelsen av utleggingsprosessen påvirkes av utstyret som anvendes (tyngde, innstilling, mm) og homogeniteten på massen. Inhomogen masse gir variasjon i mating til screeden, som medfører ujevnheter i dekke.

En målsetning i AUT var å kunne sette en varselgrense for massens bearbeidbarhet, slik at for tungt bearbeidbar masse kunne unngås. Hensikten er å produsere kaldasfaltdekker med tilfredsstillende jevnhet.

5.3.2 Bearbeidbarhet målt med Lab.screed.

Imledning

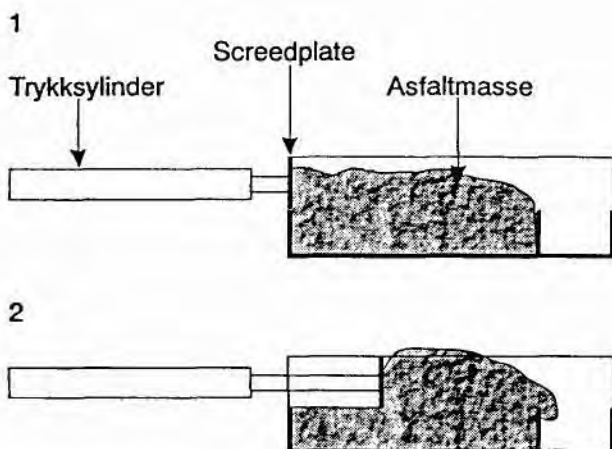
Formålet med anskaffelse av bearbeidbarhetstesteren, Lab.screed, var å få mulighet til å forhåndsteste og sammenlikne masser på laboratoriet før utlegging. Et delmål var å kunne sette en generell maksimal grense for bearbeidbarhet, slik at massetyper/resepter som har for høy masseviskositet ikke blir produsert.

Vi valgte å kopiere det utstyret som Nynäs hadde konstruert og benyttet i sitt utviklingsprogram for kaldasfalt. Utstyret ble presentert under Eurobitume 1993 /4/

Beskrivelse av utstyr

Figur 5.15 viser en skjematisk fremstilling av apparaturen. En plate skyves med konstant hastighet mot asfaltmassen i en stålkasse med bestemte innvendige mål. Kraften mot platen (motstanden i massen) registreres som et mål for bearbeidbarhet (masseviskositet). Platen som skyver den løse massen kan ikke direkte sammenliknes med hva som skjer i en utlegger. Resultatene plottes på en x,y-skriver, med tid på x-aksen og kraft på y-aksen. Målingen tar 14 sekunder. Nynäs benytter maksimalverdien. I AUT har vi benyttet både maksimalverdien og arealet (arbeid) under kraftkurven, se figur 5.16.

Massen helles i flere kasser samtidig, som testes etter ulik lagringstid. Brukt på denne måten vil testen også gi informasjon om brytning av emulsjonen og kohesjonsoppbygging i massen over tid.

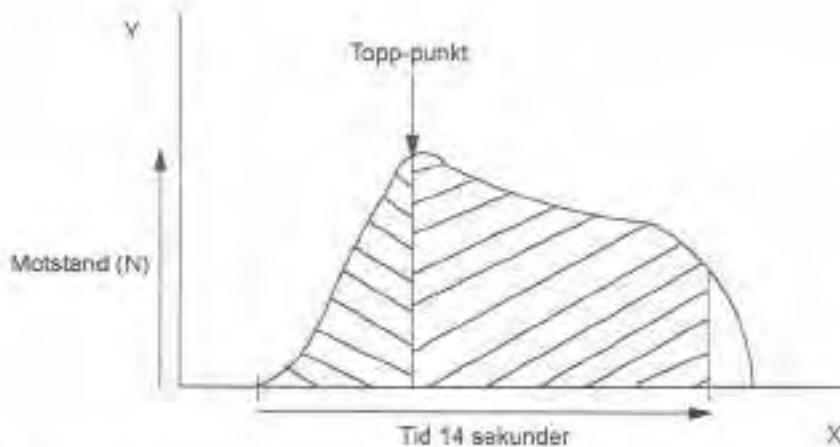


Figur 5.15 Lab. screed (Nynäs Workability Test)

En fordel med dette utstyret er at det lett kan fraktes med ut i felten. Det er derfor enkelt å måle på massen samtidig som den går gjennom utleggeren. Det er den løst lagrede massen som tippes i utleggeren vi først og fremst ønsker å måle masseviskositeten til, da det er utleggerens evne til å mate massen jevnt under screeden som er avgjørende for en tilfredsstillende jevnhet på dekket.

Under feltforsøkene i 1995 og 1996 ble utleggerbasen intervjuet etter hver test/variant, hvis det var anledning. Basen vurderte massens bearbeidbarhet slik han oppfattet den. En visuell vurdering av massen ble også foretatt av lab.screedens operatør.

Utleggerbasens subjektive vurderinger er foretatt i en hektisk arbeidssituasjon hvor mye skjer på samme tid. Resultatene fra disse intervjuene står ikke alltid i samsvar med måleresultatene. Som et eksempel på dette nevnes et feltforsøk med emulsjonsgrus hvor utleggerbas vurderte massen som meget fin å legge og måleresultatet viste en motstand på 235 N. Under et senere



Figur 5.16 Utskrift på skriver fra Lab.screed måling

feltforsøk vurderte utleggerbasen massen som tung å legge, og måleresultatene viste en motstand på 98 N. Årsaken til at en masse er "vanskelig" å legge, kan være en annen enn den parameteren som måles ved hjelp av Lab.screeden (masseviskositeten). Dette kan forklare det dårlige samsvaret mellom bearbeidbarhet ut fra visuelle vurderinger og måleresultater.

I AUT hadde vi følgende arbeidshypotese :

- Høy motstand eller stort areal under kurven betyr tungt bearbeidbar masse.
- Liten motstand eller lite areal under kurven betyr lett bearbeidbar masse.

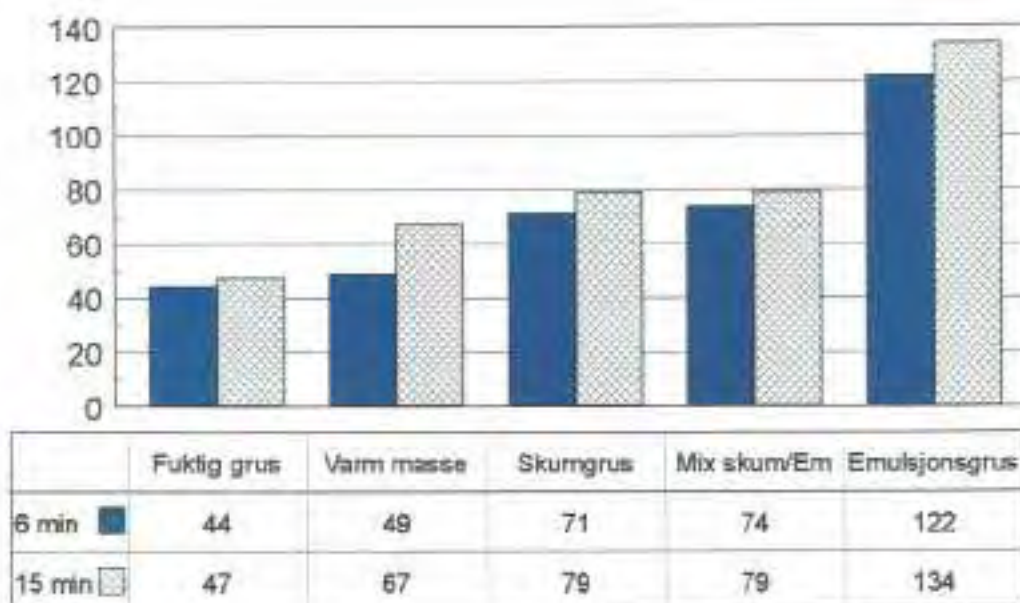
Forsøksresultater

Måleresultatene under AUT-forsøkene lå mellom 39 N (faktig grus) og 235 N (emulsjonsmasse).

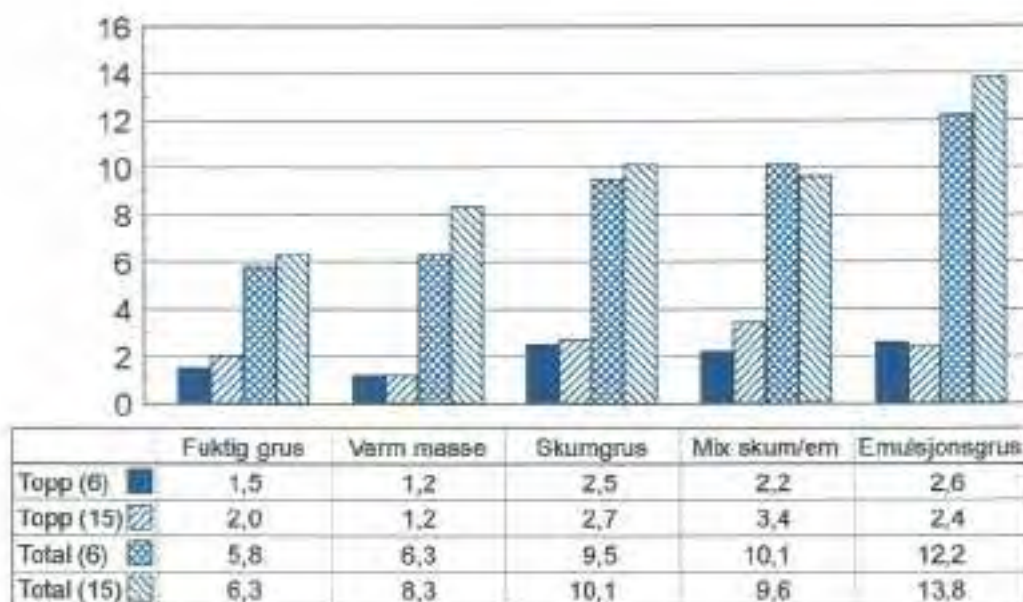
For å få et begrep på hvor tungt bearbeidbar en kald masse er i forhold til en varm masse ble det produsert flere varme massetyper som ble testet i Lab.screeden. De varmproduserte massetyperne er brukt som referanser ved forsøk med kaldproduserte masser.

De fleste massetyperne som er benyttet i prosjektet er testet i Lab.screed. Totalt er det utført 42 kjøring med Lab.screed. Figur 5.17 og 5.18 viser gjennomsnitt av alle kjøring med Lab.screed i perioden 1994-96 og gir forskjeller i maksimal motstand og arbeid utført på forskjellige massetyper. Variasjonen i måleresultatene for emulsjonsmasser var stor. Enkelte målinger lå langt over eller under gjennomsnittet. Resultatene viser at forskjellige massetyper har forskjellig motstand i Lab.screed.

Av resultatene kan man ikke trekke den konklusjonen at det er en direkte sammenheng mellom maksimal motstand og utført arbeid, men man ser allikevel en tendes til at det er slik. Resultatene gir en god referanse til hvor tungt bearbeidbar en kald masse er i forhold til en varm masse.



Figur 5.17 Typiske verdier for ulike massetyper. Maksimal motstand (N) målt med Lab.screed



Figur 5.18 Typiske verdier for areal(cm²) forskjellige massetyper. Tallene i parentes er antall minutter etter prøveuttak. Topp er areal under kurven til maksimalpunkt.

Resultatene viser at forskjellige massetyper har forskjellige verdier for utført arbeid. Arealet under kurven opp til toppunkt er tilnærmet likt for emulsjonsmasse og skumbitumenmasse. Dette resultatet er derfor ikke i overensstemmelse med erfaringer fra felten, og denne tolkningsmetoden kan derfor ikke anvendes. Arealet under hele kurven er et bedre uttrykk for masseviskositeten.

Nynäs har foretatt en ringanalyse /5/ der Icopal og VTT deltok. Resultatene viser at rangeringen av massene som ble testet var den samme for alle laboratoriene, men nivået (verdiene) var forskjellig for de forskjellige laboratorier/utstyr. Nynäs har også utarbeidet en metode for kalibrering mot et standard materiale (tilslag + olje).

Konklusjon

Lab.screeden kan være et nyttig verktøy ved vurdering av bearbeidbarhet, brytningsforløp og kohesjonsoppbygging. Utstyret er mer egnet for utviklingsarbeid, der prøveserier blir sammenliknet, enn som standardmetode for proporsjonering av kald asfalt. Årsaken til dette er at grenseverdien for bearbeidbarhet vil være ulik for forskjellige resepter, slik at denne verdien må finnes i felt for den aktuelle massen. Ulike utleggere vil tåle forskjellig motstand fra massen under utlegging, slik at en masse som er for tungt bearbeidbar for en maskin ikke nødvendigvis er det for en annen type maskin. Hvis en grenseverdi skal settes, bør kravet være strengere når massen benyttes til slitelag, enn når den benyttes til bærelag.

5.3.3 Vurdering av bearbeidbarhet med gyrotorisk kompaktor

Vurdering av massens egenskaper ved bruk av gyrotorisk kompaktor er beskrevet i kapittel 6.5. I dette kapitlet omtales kun muligheten for å vurdere massens bearbeidbarhet ved hjelp av gyrotorisk kompaktor, ICT. Hvis gyrotorisk kompaktor benyttes til tillaging av prøveklosser i forbindelse med normal proporsjoneringsrutine for kalde masser, vil man få en vurdering av massens bearbeidbarhet uten ekstra innsats, da verdiene allerede er tilgjengelig

I AUT er det utarbeidet følgende forslag til vurderingskriterier for bearbeidbarhet

- Densitet (kompakteringsgrad etter 10 gyreringer (sykler), N_{mi})
- høye densitetsverdier tolkes som god bearbeidbarhet
 - lave densitetsverdier tolkes som dårlig bearbeidbarhet

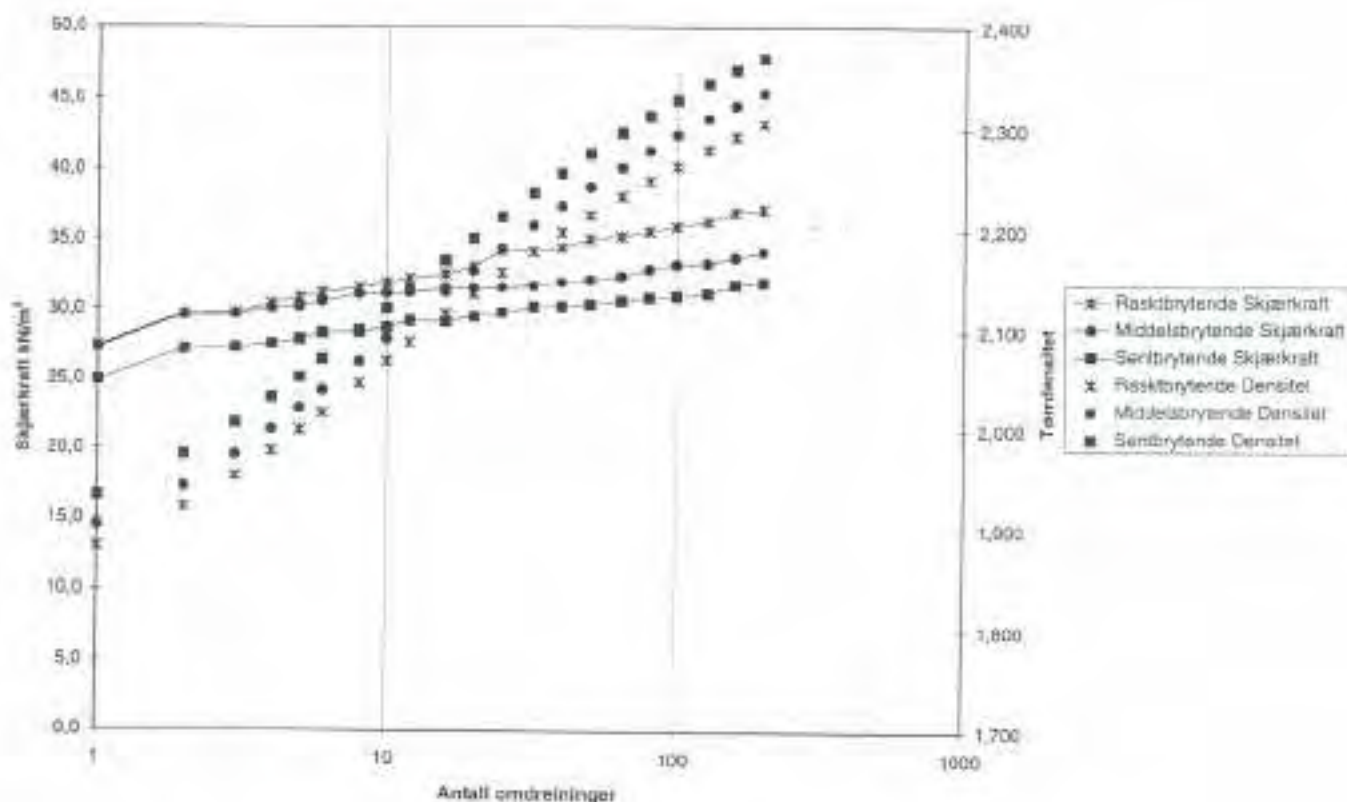
- I tillegg kan skjærmotstand, G , benyttes til vurdering av bearbeidbarhet:
- stor G indikerer tungt bearbeidbar masse
 - liten G indikerer lett bearbeidbar masse

Det er ingen direkte overensstemmelse mellom de to vurderingskriteriene, kompakteringsgrad og skjærmotstand, slik at en masse med høy kompakteringsgrad ikke nødvendigvis har liten skjærkraft ved 10 gyreringer. De to vurderingskriteriene gir informasjon som utfyller hverandre.

I AUT er det utført et sammenlikningsforsøk der masseprøver er testet både i Lab.screed og i ICT samtidig. Det ble valgt samme kornkurve og tre forskjellige emulsjoner, rask, middels og saktebrytende. De tre massene lå svært nær hverandre i bearbeidbarhet målt med lab.screed.

Det er av den grunn ikke mulig å trekke konklusjoner. Resultatene fra ICT viste, både når kompakteringsgrad og når skjærmotstand ble benyttet som kriterium, at saktebrytende emulsjon ga best bearbeidbarhet. Deretter følger middels brytende emulsjon, og rasktbrytende emulsjon ga dårligst bearbeidbarhet, se figur 5.19. Det var et forventet resultat, men forskjellene var små.

Konklusjonen så langt er at kriteriene fra AUT benyttes til å samle erfaring for en endelig vurdering av om gyratorisk kompaktor er egnet til å bestemme massens bearbeidbarhet. Det henvises til kapittel 6.4.4 hvor bruk av gyratorisk kompaktor er nærmere omtalt.



Figur 5.19 Gyratorisk kompaktering av emulsjonsmasser med ulik brytning

5.4 Avrenning

5.4.1 Generelt

Avrenning fra nyprodusert emulsjonsmasse kan til tider være et stort problem. Er deler av massen ubrutt når avrenningen starter vil avrenningsvannet dra med seg ubrutt emulsjon. Bitumenet i emulsjonen fører til tilgrising av trafikanter og utstyr. Det er ikke alltid enkelt å kartlegge årsakene til avrenningen. En årsak er at massen rett og slett inneholder for mye væske slik at massen ikke klarer å holde på fuktigheten. En annen årsak kan være at tilslagsmaterialet er for tørt og brytning oppstår for tidlig. Brytningsvannet vil føre med seg ubrutt emulsjon, og vi får bitumenholdig avrenning.

5.4.2 Erfaringer fra felt

Produksjonen ble fulgt opp med registreringer i felt for å kartlegge hvilke forhold som fremkaller avrenning fra massen: luftfuktighet, lufttemperatur, masstype og fuktighet i tilslagsmaterialet. Målingene ble utført under produksjon på Gautefall. Registreringene viste at avrenning oppstår både når massen er for tørr og for våt. Testing i laboratoriet etter forsøksprosedyren beskrevet i kapittel 5.4.3 kunne ikke påvise avrenning ved for tørr masse. Det skyldes sannsynligvis at massen i felt var inhomogen med hensyn på fuktinnhold. En liten prøvemenge vil ikke gjenskape denne situasjonen i en laboratorietest.

Det er fuktighetsinnholdet i 0-6mm sorteringen som er mest avgjørende, se tabell 5.6. Tabellen viser fuktighet i tilslagsmaterialene i lagerhaug før innmating i verket.

Tabell 5.6 Avrenning

% fuktighet i 0-6mm	Registrering av massen
> 7 %	avrenning på vei til utleggersted
4,6 - 5,7 %	ikke avrenning, god og smidig masse
3,5 - 4,5 %	avrenning kan forekomme, seig og klumpete masse
< 3,5 %	avrenning allerede på blandeverket

Erfaringer fra felt viser at det ikke er problemer med avrenning så lenge totalt vanninnhold i massen ligger i området 4,6 - 5,7 %. Det må presiseres at alle data angående sammenheng mellom fuktighet og avrenning gjelder kun denne aktuelle massen med stein fra Tømmeråsen. Optimalt vanninnhold ved Modifisert Proctor for tilslagsmaterialet, 0-16mm, er bestemt til 5,5%.

5.4.3 Laboratorietest

For å kunne avverge problemet på forhånd ble det benyttet en lab. metode for avrenning. Nyblandet masse legges i en trakt med en sil i bunnen. Massene får ligge i trakten i en halv time og avrenningsvæsken samles opp i en beholder under trakten. For å finne mengde avrent bitumen ble vannet dampet bort og avrent bitumenmengde beregnet.

Ved bruk av blandeforsøk med forskjellige fuktighetsinnhold i massene kan en finne ut hvilket fuktighetsinnhold som er ønskelig for den enkelte massesammensetning. Ved forsøk i laboratoriet ble det benyttet steinmateriale fra Tømmeråsen, 0-6mm/6-16mm i forholdet 40/60% og BE 65 S / B 370. Forsøket viser at det oppstår avrenning når total fuktighet i massen overskrider 5-6 %. Modifisert Proctor gir et optimalt vanninnhold 5,5%. Modifisert Proctor på tilslaget tilsatt 5,2% bitumen gir et optimalt vanninnhold på 4,2%.

Det er imidlertid en del usikkerhetsmomenter knyttet til metoden. Ved avrenning vil det følge med en del finstoff selv om man benytter fillerduk som sil i bunnen av trakten. Dette finstoffet vil bli registrert som bitumen i avrenningstesten. Det er også usikkert om en vil få fram avrenning i alle situasjoner på laboratoriet i samme grad som dette vil oppstå i felt. Prøvemengden (ca. 500 g) er trolig for liten.

5.4.4 Ny avrenningstest

På grunn av dårlig samsvar mellom resultater fra "trakttesten" og avrenning i felt, ble det utviklet en ny laboratoriemetode for avrenning i AUT-prosjektet. Den nye metoden tester på en større prøvemengde og simulerer bevegelse fra transport av massen.

Nyblandet masse, 6 kg, helles i en uthulet siktesats som står på en siktemaskin. I bunnen av siktesatsen er det et 1 mm sikt som massen hviler på og et 125µm sikt for å fange opp finmateriale. Det legges et lodd på toppen av massen. Bevegelse fra siktemaskinen og tyngden av lodden skal simulere belastningen massen blir utsatt for under transport. Siktemaskinen som er brukt er en Oktagon våtsiktemaskin. Bunnen har utløp med slange som leder avrenningsvæsken ned i en oppsamlingsbeholder. Mengden avrenningsvæske blir veiet etter bestemte tidsintervaller, og fargen på avrenningsvæsken vurderes, se metodebeskrivelse i vedlegg 8.

Metoden er foreløpig ikke sammenliknet direkte med feltforhold. Dette vil bli gjort sesongen 1997. Ut fra forsøk i laboratoriet med tilslag fra Tømmeråsen og Feiring Bruk, vurderes AUT-testen til å være bedre enn "trakttesten".

5.5 Initialstyrke

Varmprodusert asfalt oppnår sine styrkeegenskaper når dekket er avkjølt etter utlegging, normalt etter en til to timer. Da tåler vanligvis dekket de belastninger det utsettes for. For kaldprodusert asfalt forholder det seg annerledes. Det kan ta fra dager opp til et år før asfaltdekket når sine endelige styrkeegenskaper, for bærelag kan det ta enda lenger tid. Dette skyldes at det tar en viss tid før bindemiddelet i massen har oppnådd riktig fordeling og vannmengden er redusert til et normalnivå. For emulsjonsmasser skjer det en kohensjonsoppbygging og herding av emulsjonen. For skumbitumenmasser må en kontinuerlig bindemiddelfilm etableres ved hjelp av varme og trafikk. En slik langsom styrkeoppbygging medfører at kaldasfalt er følsom for belastninger rett etter utlegging, f.eks. vridningsskade, oppbremsing og kraftig nedbør. Det er derfor av stor betydning at asfalten får en rask styrkeoppbygging de første timene etter utlegging, selv om endelig funksjonsnivå først oppnås etter noen uker.

I AUT var det en målsetning å utvikle et verktøy for måling av initialstyrken til kaldasfaltdekket. Med initialstyrke menes styrkeoppbyggingen i dekkets første døgn etter utlegging. Et slikt verktøy er nødvendig både for å kunne vurdere når dekket tåler trafikkpåkjenninger og for å kunne videreutvikle kaldasfalten med hensyn på å bedre initialstyrken.

I AUT er det utviklet et utstyr for måling av initialstyrke på veien. Dette utstyret, kalt "piggskive" består av en plate, 55x25 cm og tykkelse 2,5 cm, med en innfelt skive, diameter 18 cm, som dreies rundt med en momentnøkkel. Skiven har fire 25 mm lange pigger, som presses ned i dekket. Momentet som måles (Nm) når skiven dreies 2 cm, er et mål for dekkets styrke. Denne metoden benyttes ute på veien etter at dekket er lagt ut og kompaktet. Utstyret og erfaringene med bruken av dette er nærmere beskrevet i AUT, Temarapport "Produksjon". Da bituminøse masser er viskoelastiske er det behov for en korrigeringstabell for temperatur ved bruk av piggskiva.

Med utgangspunkt i piggskiva fra AUT har Akzo Nobel laget en laboratorieversjon av utstyret. Det er tatt utgangspunkt i deres eget cohesionmeter, som benyttes til testing av slurry seal. Det benyttes prøveklosser med diameter 150 mm til lab.piggskiva. Disse kan for eksempel være laget ved hjelp av gyatorisk kompaktor. Utstyret er vist i figur 5.20. Utstyret kan benyttes som hjelpemiddel i mixdesign og utviklingsarbeid.



Figur 5.20 Akzo Nobels laboratoriepiggskive.

5.6 Vurdering av resultater

Ved valg av sammensetning skal krav til massen i håndbok 018 og "Veiledning for kalde bitumenstabiliserte bærelag" /1/ tilfredsstilles

- bindemiddelinnhold
- bindemiddeldekning (emulsjonsmasser)
- lastfordelingskoeffisient
- kornfordeling (slitelagsmasser)
- mekaniske krav til tilslagsmaterialene

Når det gjelder kornfordeling er det i håndbok 018 kun krav til slitelagsmasser. Kornkurvene for bærelagsmasser er veiledende. Da det ofte er ønskelig å benytte stedlige materialforekomster nær utleggerstedet til produksjon av kaldasfalt for rehabilitering av lavtrafikkerte veier, vil avvik fra veiledningen forekomme.

Dersom flere massesammensetninger tilfredsstiller overnevnte krav bør en av hensyn til massens bestandighet, prioritere høyt bindemiddelinnhold framfor høy lastfordelingskoeffisient.

I tillegg til nevnte parametre må en også vurdere følgende forhold ved valg av massesammensetning, jfr. kapittel 3 og 5 :

- lastfordelende evne for andre lag i vegkonstruksjonen
- klimatiske betingelser
- mellomlagring av massen

For masser basert på bitumenemulsjon vil en vurdering av faren for avrenning ha betydning for massesammensetning, spesielt hvis produksjonen foregår nær vann eller resipienter /6/. Bearbeidbarheten må ivaretas på en slik måte at massen kan legges ut med tilfredsstillende jevnhet. Her må transportavstander tas med i vurderingen ved direkte utkjøring av masse uten mellomlagring (bruk av stivt bitumen). For skumgrus er ikke avrenning eller bearbeidbarhet noe problem, og følgelig ikke relevant ved vurdering av massesammensetning.

6 Egenskaper for kaldmasse

6.1 Utmatting

I AUT er det utført utmatningsforsøk på prøver av emulsjonsgrus Eg 16. Tilslagsmaterialene i prøvene var knust kulestein fra Verpe i Telemark. Resepten tilsvarende den som ble benyttet på Rv. 36 i Bø.

Bindemiddelet var av typen BE 65S /B370. Det ble kompaktet prøver med 3 forskjellige bindemiddelinhold, 3,5%, 4,5% og 5,5% (-rest). Utmatningsprøvene er bjelkeformede og måler 5*10*40 cm. Etter kompaktering ble prøvene kondisjonert i henhold til standardprosedyren.

- tørr lagring i 7 døgn ved 40 °C
- 8 fryse/tine sykler (4 sykler pr. døgn)

Deretter testet en utmatningsstyrken i en bjelkeutmatningsrigg ved konstant spenning. Dette er tilnærmet spenningssituasjonen i bærelaget dersom samlet tykkelse av de bituminøse lagene er 10-15 cm eller mer. Temperaturen under utmatningsforsøkene var 5 °C som er i det temperaturområdet en har om våren når forholdene ofte er kritiske mhp. utmatting. Utmatningsforsøkene ble utført av Sintef Vegteknikk.

Resultatene er oppsummert i tabell 6.1, mens figur 6.1 og 6.2 viser utmatningskurvene. I tabell 6.1 har en angitt gjennomsnittlig hulrom og E-modul (bøyestivhet) for prøve-seriene. Av tabellen ser en at hulrommet reduseres fra 17,2 % til 14,3 % ved å øke bindemiddelinholdet fra 3,5 til 4,5 % (-rest), og for et bindemiddelinhold på 5,5 % (-rest) er hulrommet 11,3 %. Tilsvarende øker E-modulen fra 2211 MPa til 3721 MPa ved en øking av bindemiddelinholdet fra 3,5 % til 4,5 % (-rest), mens økningen av E-modulen fra 4,5 til 5,5 % restbindemiddel er marginal.

Tabell 6.1 Resultater fra utmatningsforsøk

Parameter	Bindemiddelinhold (% rest)		
	3,5	4,5	5,5
Hulrom (%)	17,2	14,3	11,3
E-modul (MPa)	2211	3721	3801
N- ϵ kurver, regresjonsparametre 1)	K1=-0,1771 K2=3,3282 R ² = 0,98	K1=-0,2321 K2=3,5829 R ² =0,91	K1=-0,2016 K2=3,4503 R ² =0,94
N- σ kurver, regresjonsparametre 2)	K3=-0,0649 K4=0,2777 R ² =0,85	K3=-0,1193 K4=0,6618 R ² =0,84	K3=-0,0742 K4=0,4795 R ² =0,80 3)

1) $\log N = K1 \cdot \log(\epsilon) + K2$

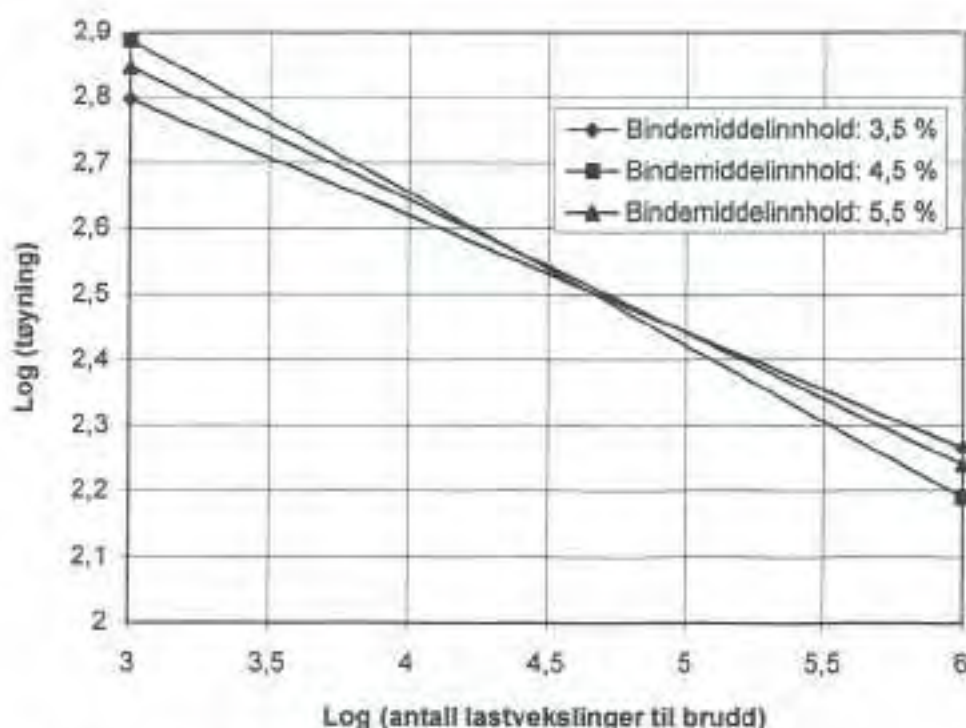
2) $\log N = K3 \cdot \log(\sigma) + K4$

3) Prøve nr. 11 er utelatt pga. svært stort avvik

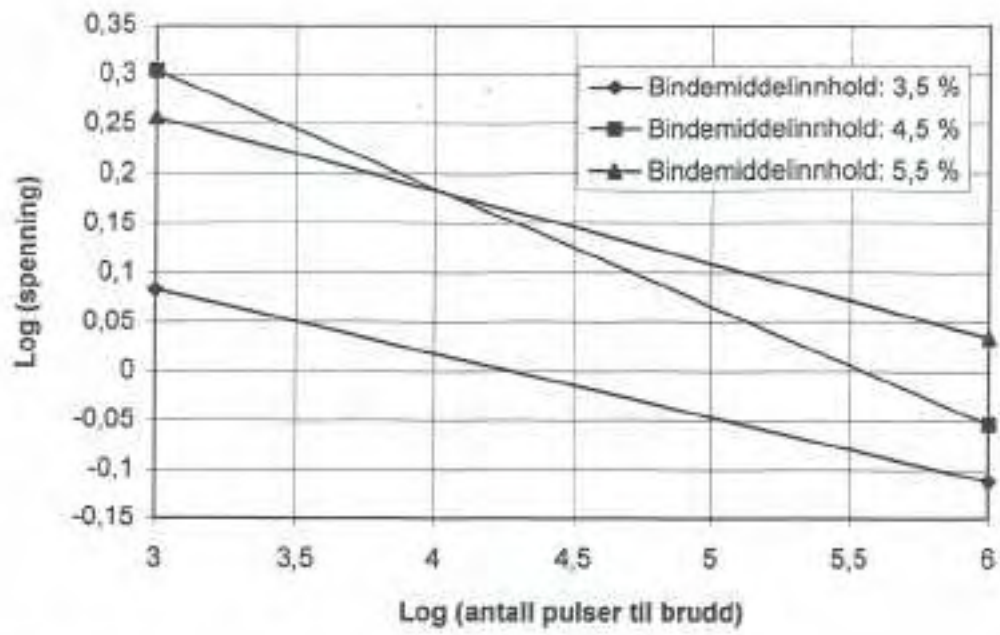
Figur 6.1 viser antall lastvekslinger til brudd som funksjon av tøyning. Av figuren ser en at det er liten forskjell mellom utmattingskurvene. Resultatene fra konstante spenningsforsøk kan imidlertid ikke sammenlignes direkte i N- ϵ diagram (N er antall lastvekslinger til brudd og ϵ er tøyning) fordi E-modulen er forskjellig. Dette påvirker tøyingsnivået og dermed også antall lastvekslinger til brudd.

For å kunne sammenligne resultatene direkte har en derfor framstilt N- σ kurver (N er antall lastvekslinger til brudd og σ er spenning) som vist i figur 6.2. Resultatene viser at utmattingsstyrken forbedres med en faktor på 10-100 ved å øke bindemiddelinnholdet fra 3,5 til 4,5 % (-rest). Effekten av å øke bindemiddelinnholdet fra 4,5 til 5,5 % (-rest) er ikke så klar. For høye spenningsnivå har nevnte økning i bindemiddelinnhold ingen virkning, mens en for lave spenningsnivå har en viss økning av antall lastvekslinger til brudd. Konklusjonen er derfor at en har svært mye å tjene på å øke bindemiddelinnholdet fra 3,5 til 4,5 % (rest) når det gjelder utmattingsstyrke, mens effekten av en økning fra 4,5 til 5,5 % restbitumen er langt mindre.

Ved inngåelsen av kontrakter om produksjon og legging av kalde masser har en sett tendenser til at byggherren ønsker å spare penger ved å redusere bindemiddelinnholdet så mye som mulig innenfor gjeldende krav til lastfordelingskoeffisient. For en del masser vil lastfordelingskoeffisienten øke med redusert bindemiddelinnhold pga. økt indre friksjonen i massen. En reduksjon i bindemiddelinnholdet vil imidlertid som en har vist i AUT prosjektet, føre til dårligere utmattingsstyrke og bestandighet.



Figur 6.1 Resultater fra konstante spenningsforsøk, N- ϵ kurver



Figur 6.2 Resultater fra konstante spenningsforsøk, N- σ kurver

6.2 Lastfordeling og stabilitet

6.2.1 Generelt

Lastfordelende evne og stabilitet er to grunnleggende egenskaper som det er relativt begrensede kunnskaper om for kaldasfalt. Lastfordelende evne kan uttrykkes ved E-modul, og stabilitet ved plastiske deformasjoner for aktuell spenningstilstand. Det ble brukt to forsøksmetoder i AUT for å finne E-modul og stabilitet :

- dynamisk treaksialprøving
- spaltetrekkforsøk (statisk)

Dynamisk treaksialprøving simulerer trafikkpåkjenningen relativt godt og gir kvalitetsmessig god informasjon om materialparametre. To hovedpunkt ved disse undersøkelsene har vært å få data om :

- E-moduler med varierende sidetrykk (0, 40 og 80 kPa)
- utvikling og tolking av bruddtilstand ved statisk og dynamisk belastning

Spaltetrekkforsøk er tatt med som referanse. I tillegg ønsket man å sjekke om formlene for sammenhengen mellom indirekte strekkstyrke og lastfordelingskoeffisient som benyttes i dimensjoneringsnivå 2 stemmer, ref. håndbok 018 side 155. Disse formlene er satt opp på grunnlag av tidligere treaksialforsøk og spaltetrekkforsøk for varme og halvvarme masser /7/. Prøveprogrammet for dynamiske treaksialforsøk og spaltetrekkforsøk er vist i vedlegg 9. Forsøksprosedyrer for treaksialprøving er vist i vedlegg 10.

6.2.2 Prøver

Borprøver fra felten

Borprøvene er tatt fra bærelaget på Rv 36 i Bø som ble lagt i 1995. Hensikten med prøvene var først og fremst å få en referanse til felt. I tillegg ble prøvene brukt for å velge kompakteringsnivå på prøvene som ble laget i laboratoriet. Borprøvene ble tatt i to serier: 1. serie (6 prøver) høsten 1995, og 2. serie (7 prøver) høsten 1996 (etter ett år). Prøvehøyden etter utboring var i underkant av 20 cm. Borprøvene som ble testet for spaltetrekk, ble kappet i tre deler, hver med ca. 6 cm høyde

Laboratorietillagde prøver

Kneading kompaktor var valgt som hovedmetode når det gjelder kompaktering i laboratoriet, men det ble også laget en serie på 3 prøver med Kango for å teste lastfordeling/stabilitet. Alle prøvene som var laget i laboratoriet ble kompaktert til en prøvehøyde på ca. 20 cm. Prøver til spaltetrekk ble kappet i tre med standard høyde (ca. 6 cm).

Det ble valgt to kondisjoneringsvilkår for prøvene kompaktert i laboratoriet. Den ene metoden var standard kondisjonering: 7 døgn i varmeskap v/40°C og 8 fryse/tine-syklener fordelt på to døgn. Den andre metoden var en forenklet kondisjonering for å se om fryse/tine-syklene har betydning for massens lastfordelende egenskaper. Denne kondisjoneringen bestod av 7 døgn i varmeskap v/40°C uten fryse/tine-påkjenninger

Prøvene kompaktert med kango ble kondisjonert etter standard metode. Under testing ble prøvene temperert til 25°C.

6.2.3 Dynamisk treaksialtesting

Forsøksprosedyrer

Forsøksprosedyrene for laboratorietillagde prøver og borprøver fra felt er tilnærmet like for å kunne sammenligne prøvene direkte. Tre borprøver ble avsluttet med statisk belastning til brudd for å sammenligne statiske og dynamiske bruddkriterier. Forsøksprosedyrene H som ble brukt i hovedundersøkelsen, og A og B som ble brukt i tilleggsundersøkelsen, er vist i vedlegg 10.

Prøvene ble belastet med dynamisk deviatorspenning som ble økt i trinn til brudd/store plastiske deformasjoner. Det ble påført kontinuerlig sinusformet belastning med frekvens 10 Hz. Denne delen av forsøksprosedyren er senere benevnt "trinntest". I de første lasttrinnene er det også påført belastning med ulik frekvens i området 5-20 Hz. Denne delen av prøveprosedyren er her benevnt "frekvenstest".

I første forsøksserie/hovedserie har prøvene sidetrykk 0 eller 80 kPa. I tilleggsundersøkelsene er det benyttet varierende sidespenning (0, 40 eller 80 kPa) for hver enkelt prøve, jfr. vedlegg 10.

Spenningsforhold

Det ble utført forsøk både med 0, 40 og 80 kPa sidetrykk. Ved frekvenstesten var sidetrykket 0 eller 80 kPa og ved trinntesten 40 eller 80 kPa. Sidetrykket ble variert for å kunne påvise forskjeller i materialeegenskapene ved ulike sidetrykk og for å simulere relevante spenningsforhold fra felt.

De fleste av forsøkene ble utført med sidetrykk. I felt vil sidetrykket variere i takt med den dynamiske aksialspenningen $\sigma_3^{dyn} = K \sigma_1^{dyn}$. Dersom vi forenkler spennings situasjonen ved å velge statisk sidetrykk, bør dette være maksimalverdien, dvs.:

$$\text{der } \sigma_3^{stat} = \text{maks } \sigma_3^{dyn} = K \text{ maks } \sigma_1^{dyn} \quad (6.1)$$

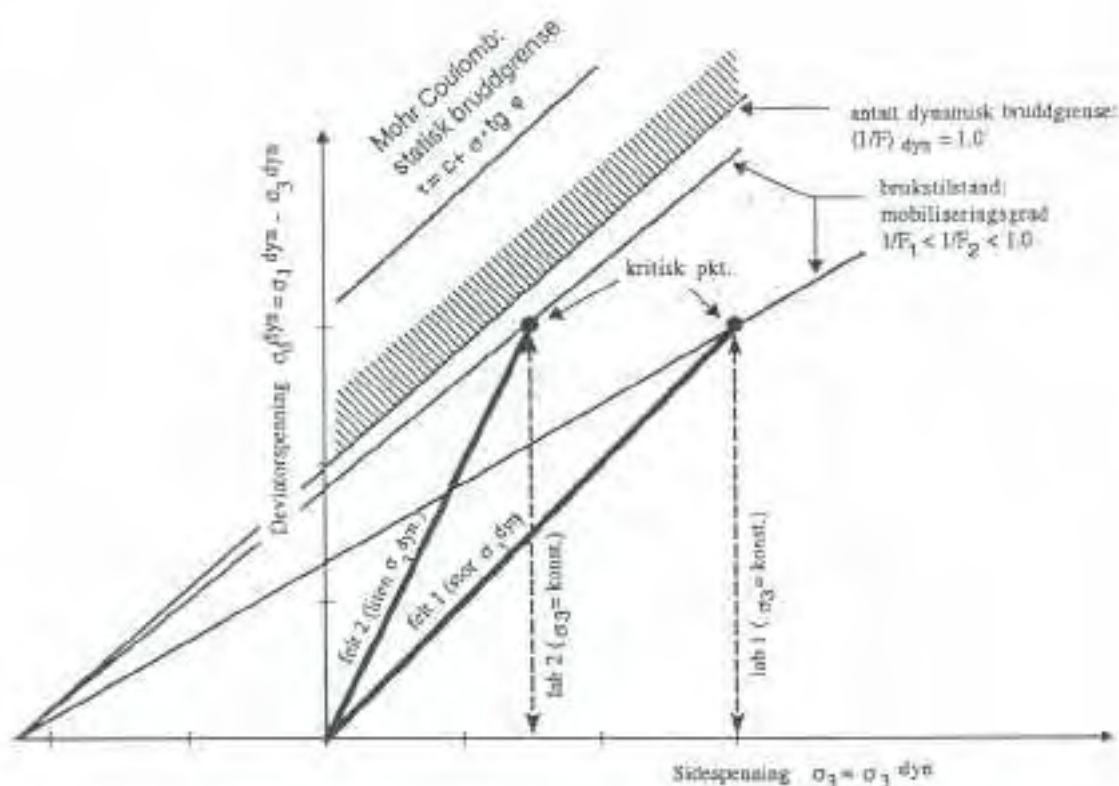
σ_3^{dyn} = dynamisk horisontalspenning
 σ_1^{dyn} = dynamisk vertikalspenning
 K = konstant

Da vil materialets maksimale mobiliseringsgrad i forhold til bruddtilstand (1/F) være den samme som ved dynamisk sidetrykk, se figur 6.3.

Den dynamiske vertikalspenningen vil avta med dybden i dekket/bærelaget og kan beregnes etter ulike teoretiske modeller. For lagdelte konstruksjoner er det vanskelig å forutsi spenningsfordelingen eksakt, og de teoretiske modellene når lett begrensninger i troverdighet ved lagskiller.

Anta $\sigma_1^{dyn} = 900$ kPa (tillatt ringtrykk) på dekkeoverflaten avtagende til i størrelsesorden 300 - 400 kPa i nedre del av asfaltlaget ($d=10-15$ cm). I en viss dybde under overflata vil $K = 0,4-0,5$ være realistisk. Med $\sigma_1^{dyn} = 300-400$ kPa tilsvarer dette $\sigma_3^{stat} = 120-200$ kPa i følge ligning (6.1). I underkant av dekket/bærelaget kan det også oppstå horisontale strekkspenninger, dvs. $\sigma_3^{dyn} < 0$.

I utførte laboratorieforsøk var $\sigma_3 = 0$ eller $\sigma_3 = 80$ kPa. Forsøkene uten sidespenning ble valgt for å sammenligne med tilsvarende forsøk med andre massetyper, og $\sigma_3 = 80$ kPa for å simulere feltsituasjonen bedre.



Figur 6.3 Spenningstilstand i felt ved dynamisk trafikkbelastning med ulik sidespenningsrespons (ulik \bar{v}) og tilsvarende simulering i treksialkammer med statisk σ_3

Frekvenstest

Generelt

Hensikten med frekvenstesten er å finne materialets respons på ulik belastnings-hastighet. Dette gir uttrykk for materialets viskoelastiske og plastiske egenskaper. Vi har begrenset dette til å tolke E-modulens frekvensavhengighet. Et rent elastisk materiale har ingen frekvensavhengighet. Graden av frekvensavhengighet er uttrykk for materialets viskoelastiske og plastiske egenskaper.

Første forsøksserie/hovedundersøkelse

Under frekvenstesten ble borprøvene testet ved 3, 10 og 30 Hz, og de fleste laboratorietillagde prøvene ble kjørt på 3, 5, 10, 15 og 20 Hz. De fleste prøvene ble kjørt både med og uten sidetrykk. Første forsøksserie hadde imidlertid en feilkilde ved at det automatiske reguleringsystemet for kraftpåføring viste seg å være frekvensavhengig slik at påført kraft avtok når frekvensen blir regulert opp. Dette ble rettet opp i tilleggsundersøkelsen.

Tilleggsundersøkelse

Alle prøvene her ble testet med frekvenstest på 5, 10 og 15 Hz, og enkelte prøver opp til 20 Hz. Prøvene ble kjørt både med (80 kPa) og uten sidetrykk. Resultatene er drøftet og vist grafisk i figur 6.2.5 og 6.2.6 i kapittel 6.2.3.

Trinntest*Generelt*

Hensikten med trinntesten er å finne den dynamiske E-modulens spenningsavhengighet samt å karakterisere materialets plastiske egenskaper og skjærstyrke avhengig av spenningstilstanden.

Første forsøksserie/hovedundersøkelse

I trinntesten ble prøvene påført belastning i trinn til brudd oppstod. Belastningstrinnene var ca. 50, 70, 90 kPa, osv. Alle prøvene ble testet ved en frekvens på 10 Hz. Laboratorietillagde prøver ble påført et sidetrykk på 80 kPa. Halvparten av borprøvene ble kjørt uten sidetrykk, og resten med samme sidetrykk som laboratorietillagde prøver.

Tilleggsundersøkelse

Det ble kjørt trinntest på hver prøve med både 40 og 80 kPa sidetrykk. De fleste av prøvene ble kjørt til brudd med 80 kPa sidetrykk (forsøksprosedyre A), mens på noen av prøvene ble det brukt 40 kPa sidetrykk i de siste lastrinnene fram til brudd (forsøksprosedyre B), jfr. vedlegg 10. Trinntesten ble kjørt med en frekvens på 10 Hz.

Tolkingsprinsipp

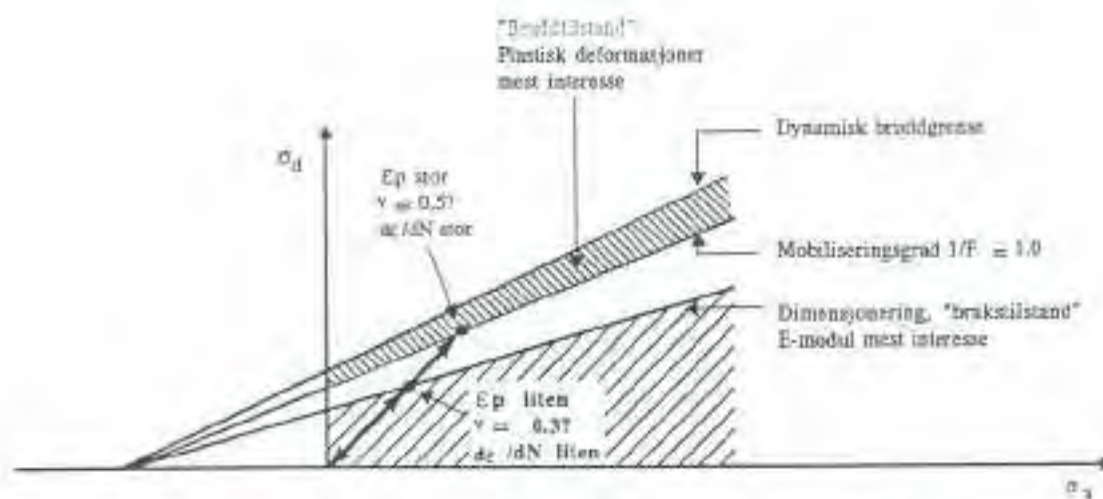
For en vegkonstruksjon som er tilstrekkelig dimensjonert, vil E-modulen være mest relevant i brukstilstanden, dvs. ved en spenningstilstand langt fra "brudd" eller store plastiske deformasjoner. Plastiske deformasjoner er interessant både i brukstilstand (etterkompaktering av trafikk) og for tolking av bruddtilstand, se figur 6.4. Plastisk deformasjon (ϵ_p), gradienten på plastisk utvikling ($d\epsilon/dN$) og tverrkontraksjon (ν) er benyttet som alternative parametre for å definere en bruddtilstand. Som grenseverdier mot "brudd" har vi definert følgende alternative verdier

- 1) $\epsilon_p = 0,5\%$
- 2) $\nu = 0,4$ alt $0,5$
- 3) $d\epsilon/dN = 7 \cdot 10^{-8}$

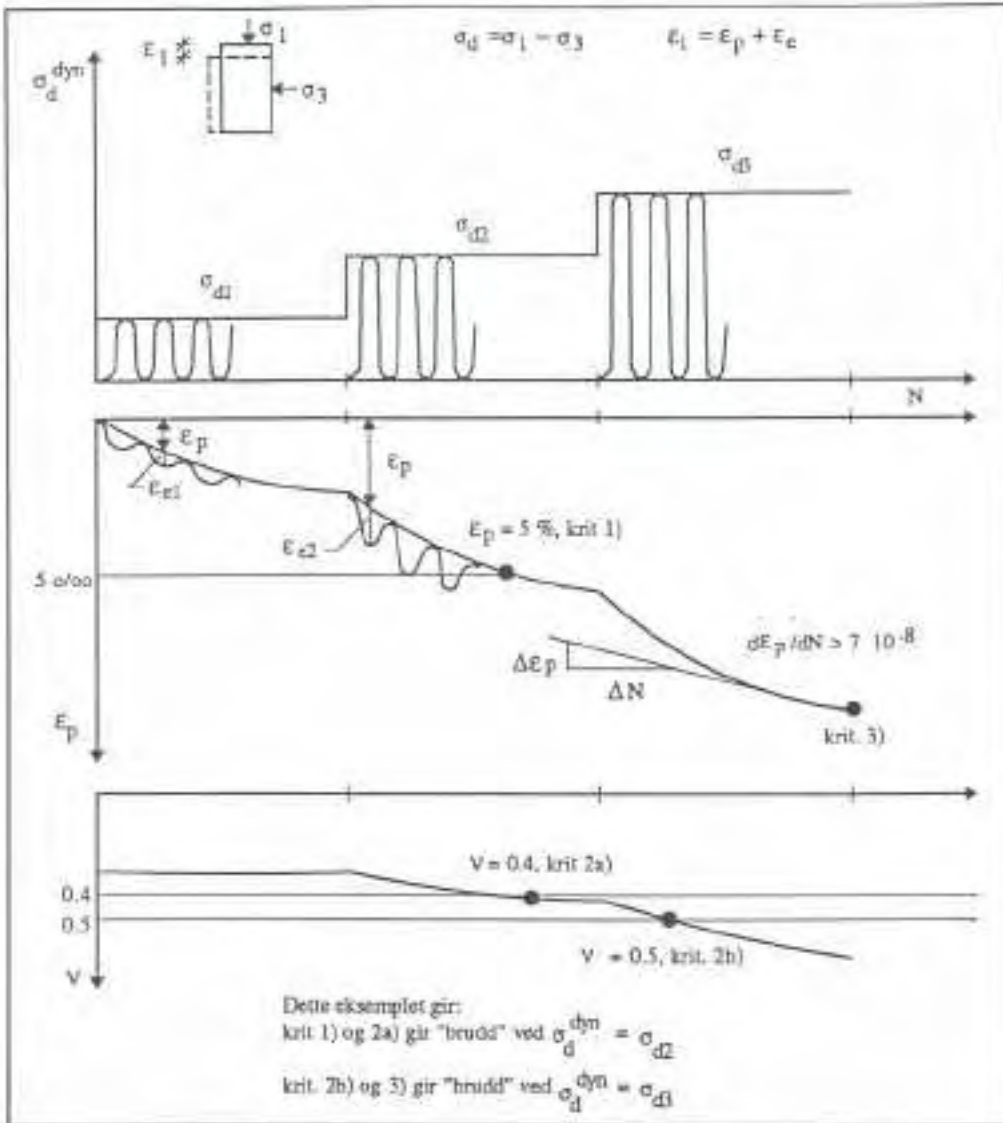
Disse alternative bruddgrensekriteriene er illustrert i figur 6.5. Parametervalget har følgende begrunnelse:

- 1) Når ϵ_p overskrider en viss størrelse vil det oppstå permanente spor i dekket. Det er en sammenheng mellom store plastiske deformasjoner og instabilitet i massen, men tallverdien 0,5 % er ikke begrunnet i en grenseverdi for massen dokumentert mot feltforsøk.
- 2) Når massen får store deformasjoner, vil den disintegre, og det oppstår en bruddtilstand. Normalt vil da tverrkontraksjonstallet v øke. Begrunnelsen for valg av tallverdi er ikke entydig, men er valgt skjønsmessig ut fra at når $v > 0,5$, må materialet gå fra hverandre/disintegre (positiv dilatans). $v = 0,4$ er en verdi noe lenger fra en klar disintegrasjon, men høyere enn antatt for normal brukstilstand som kan være nærmere $v = 0,3$ (på grunn av porevolum/permeabel masse).
- 3) Når materialet får store plastiske deformasjoner, er helningen på deformasjonskurven $d\epsilon/dN$ også stor. Som arbeidshypotese antar en derfor at det finnes en grenseverdi for deformasjonsutviklingen som indikerer at materialet er i ferd med å utvikle uakseptabelt store plastiske deformasjoner og samtidig miste stabilitet. Forsøksvis så har en valgt $d\epsilon/dN \geq 7 \cdot 10^{-6}$ pr. lastpuls ved $N = 3000$ fordi dette ser ut til å være en grenseverdi for overgang til en ustabil deformasjonssituasjon for forsøkene. Dette betyr at neste lasttrinn vil gi store plastiske deformasjoner.

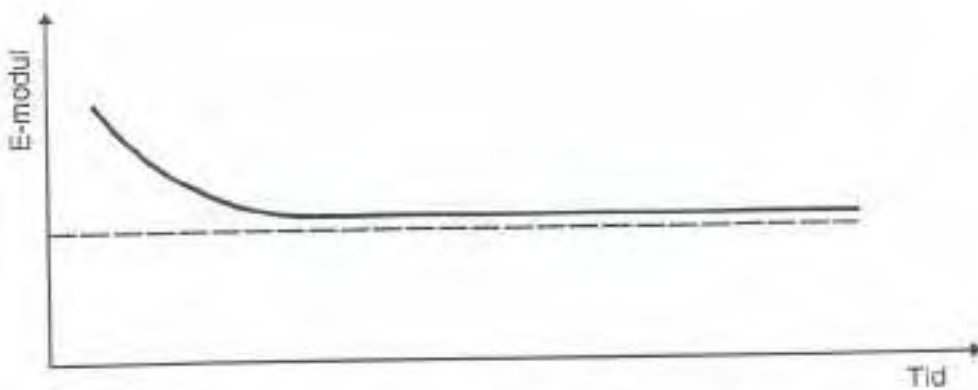
I forsøksserien med belastningsprosedyre A og B (tilleggsundersøkelser) ser vi en tendens til reduksjon av E-modulen over tid ved endring av deviatorspenningen i materialets brukstilstand, se figur 6.6. Vi tolker dette som en nedbryting av materialets kohesjon med redusert E-modul som følge. Denne effekten er nærmere beskrevet i kapittel 6.2.3.



Figur 6.4. Spenningstilstand i vegdekke/bærelag ved dynamisk trafikkpåkjenning



Figur 6.5 Alternative bruddkriterier: ϵ_p , v , $d\epsilon/dN$



Figur 6.6 Utvikling av E-modul ved dynamisk belastning over tid

E-modul

Generelt

E-modulen fra dynamiske treaksialforsøk er definert som

$$E = \frac{\sigma_d^{dyn}}{\epsilon_e}$$

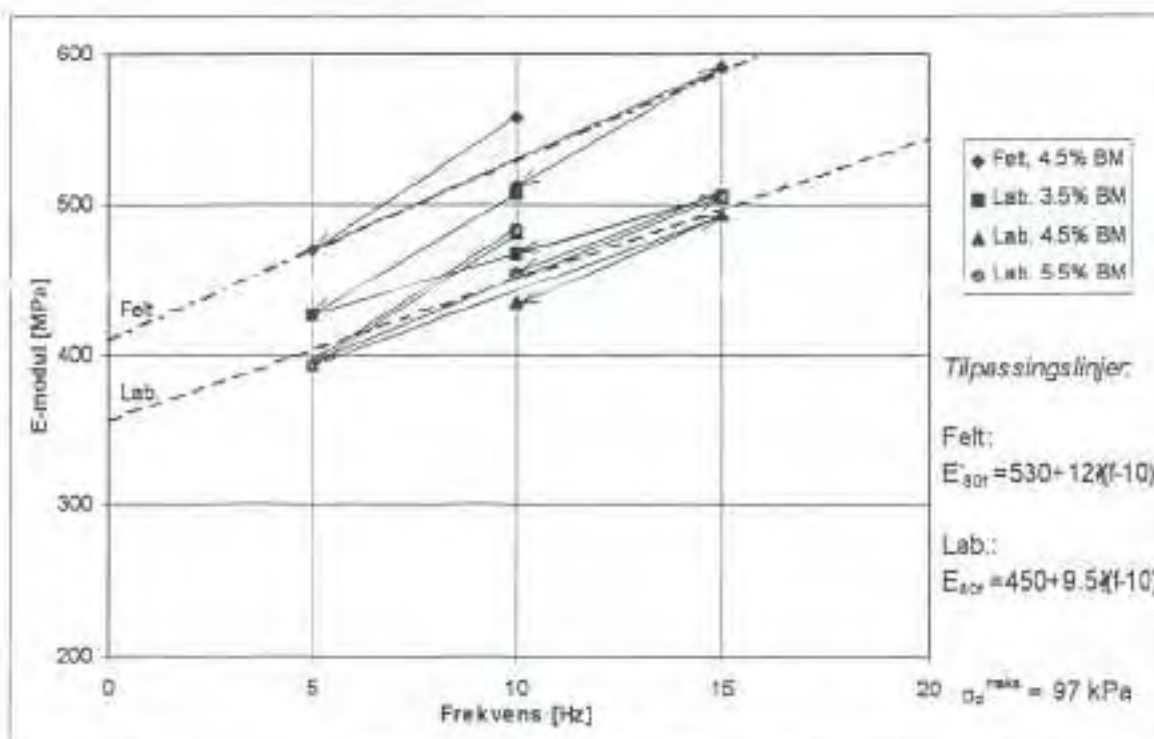
der

σ_d^{dyn} = påført dynamisk deviatorspenning

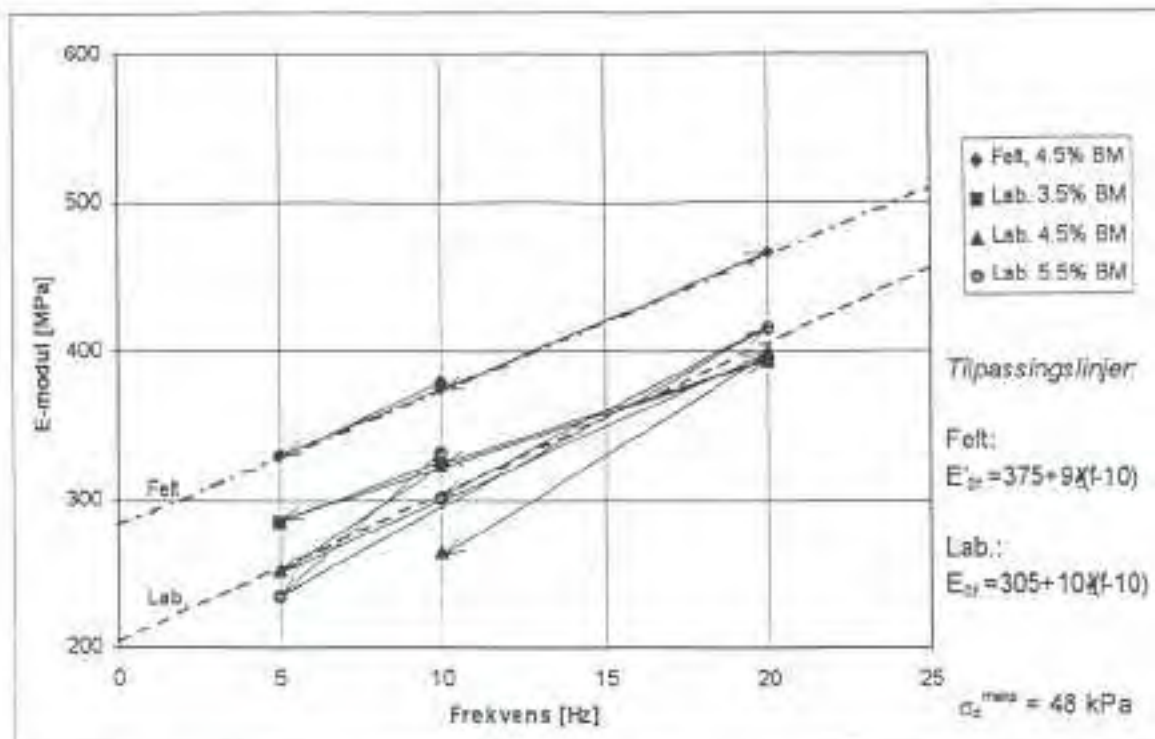
ϵ_e = elastisk/resilient deformasjon (se figur 6.5)

Verdier fra frekvenstest

Resultatene viser at materialets E-modul øker med økende frekvens, noe som er kjent fra ordinære asfaltmasser. Materialet som er testet ved en frekvens på 10 Hz to ganger viser en tendens til at E-modulen blir mindre ved annen gangs testing. Dette skyldes sannsynligvis nedbryting av attraksjon over tid. Vi ser også at denne effekten er mindre for feltprøvene (1 år gamle). E-modulene ved 2. gangs testing er antagelig mest representative for tilstanden etter en tid på vegen. På den andre siden kan det tenkes at materialet i felten kan oppnå en selvlegende effekt ved hvileperioder/varmeperioder som kan gjenopprette attraksjonen i materialet. Dette må eventuelt verifiseres med videre forsøk på borprøver fra felt.



Figur 6.7 Resultat fra frekvenstest ved 80 kPa sidetrykk, gjennomsnittsverdier



Figur 6.8 Resultat fra frekvenstest ved 0 kPa sidetrykk, gjennomsnittsverdier

Anta følgende lineære sammenheng mellom E-modul, spenning (σ_d , σ_3) og frekvens (f):

$$E = E_* + a \sigma_d^{\text{maks}} + b \sigma_3 + c (f-10) \quad (6.2)$$

der $\sigma_d^{\text{maks}} = (\sigma_1 - \sigma_3)^{\text{maks}}$ = (maksimal) dynamisk deviatorspenning
 σ_3 = sidespenning/kammertrykk
 f = frekvens
 E , E_* , a , b , c er her konstanter

Fra figurene 6.6 og 6.7 finner vi $c = 11$ (9-12) for feltprøver og $c = 9,7$ (9,5-10) for laboratorieprøver. Fra trinntester (kapittel 6.2.3) har vi funnet $a = 0,3$. Dette gir:

$$\text{Feltprøver:} \quad E = 360 + 0,3\sigma_d + 1,7\sigma_3 + 10,5 (f-10) \quad (6.2a)$$

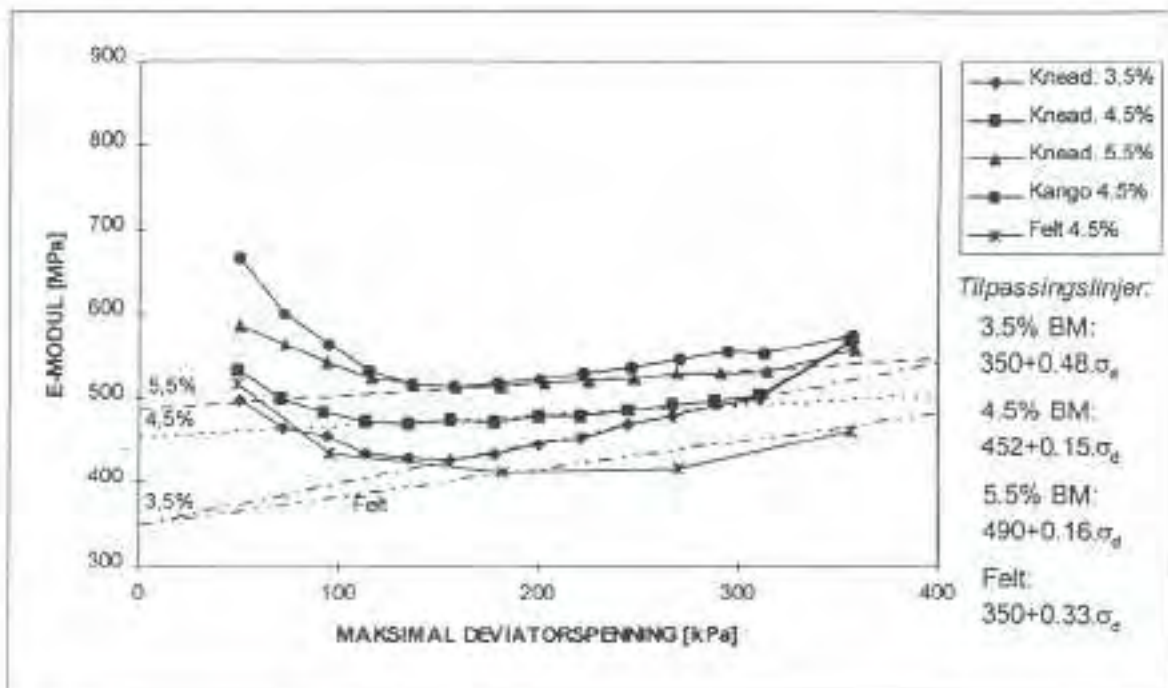
$$\text{Laboratorieprøver:} \quad E = 290 + 0,3\sigma_d + 1,7\sigma_3 + 9,7 (f-10) \quad (6.2b)$$

E-modulene for feltprøvene i tilleggsserien er i samme størrelsesorden som for ferske borprøver (samme høst) i hovedundersøkelsen. Vi har imidlertid tidligere tolket verdiene fra de første lasttrinnene i hovedserien som "for høye", jfr. drøfling av lasthistoriens innflytelse ved 2. gangs testing. Dersom en tar hensyn til dette, kan det indikere en økning i E-modul fra 1. borprøveserie samme sesong til 2. borprøveserie ett år etter dekkelegging.

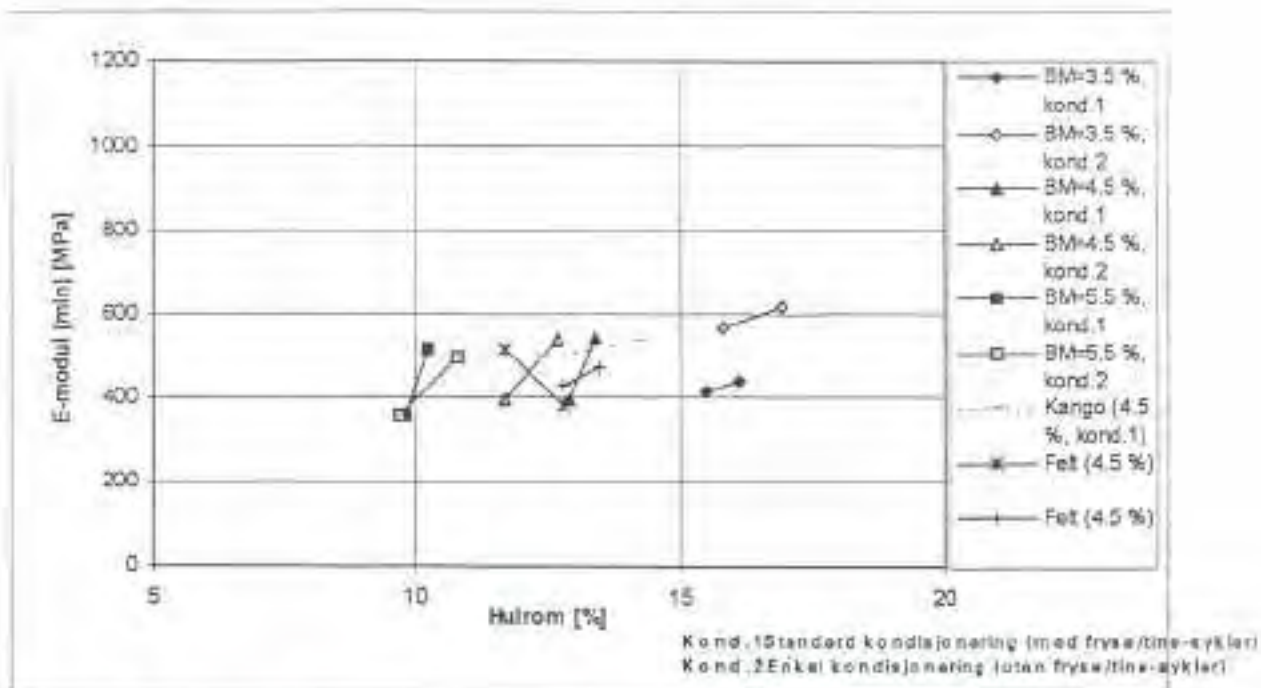
Resultater fra trinntest

Forsøksresultatene fra hovedundersøkelsen viser at E-modulen er spenningsavhengig: $E = f(\sigma_d, \sigma_3)$. Ved samme sidespenning er E-modulen avhengig av deviatorspenningen: $E = f(\sigma_d)$. Figur 6.9 viser at E-modulen er høy ved små deviatorspenninger. Ved økt deviatorspenning reduseres E-modulen til et minimum, E_{min} , for så å øke igjen ved økende deviatorspenning opp til brudd/store plastiske deformasjoner. E_{min} defineres her som minimumsverdien funnet i trinntesten. E_{min} oppnås som regel etter 4-6 trinn.

Senere forsøk med en annen pålastningsprosedyre i trinntesten viste at E-modulen ble betydelig redusert ved å gå opp til høyere belastningstrinn og så tilbake til små belastninger. Dette tyder på at stor E-modul i første fase skyldes høy kohesjon som senere kan reduseres/brytes ned ved større påkjenninger. Den minste E-modulen, E_{min} , er brukt ved videre tolking og sammenstilling i hovedundersøkelsen. E_{min} vil også korrespondere bedre med E-modul verdiene ved de supplerende forsøkene. Den store forskjellen på små lasttrinn skyldes hovedsakelig ulik belastningshistorie/forsøksprosedyre.



Figur 6.9 E-modul/maksimal deviatorspenning for prøver kjørt med 80 kPa side-trykk, kondisjonert med fryse/tine-sykler, gjennomsnittsverdier



Figur 6.10 E-modul, E_{min} , som funksjon av hulrom etter trinntest, gj.snittsverdier

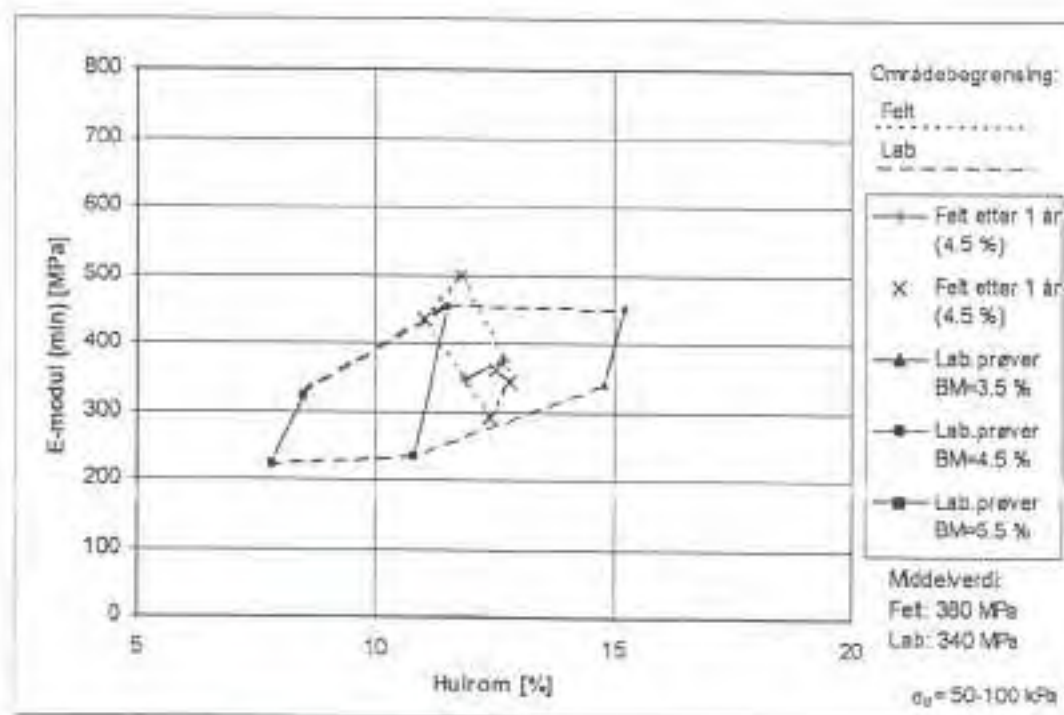
Figur 6.10 som er en sammenstilling av dynamisk E-modul som funksjon av hulrom og bindemiddelinhold viser:

- Det er ingen sammenheng mellom hulrom og E-modul, og spredningen mellom parallellprøvene er svært stor. For parallellprøver (samme bindemiddelinhold) gir prøvene med størst hulrom alltid størst E-modul, men når vi betrakter E-modul mot hulrom (samlet) for alle prøver (med ulike bindemiddelinhold), er det ingen sammenheng.
- Fryse/tine-syklus har ingen effekt på E-modulen for prøvene med 4,5 og 5,5 % bindemiddel. For massen med 3,5 % bindemiddel kan en se en tendens til at E-modulen reduseres en del etter fryse/tine-syklene. Dette kan indikere at fryse/tine-syklene som gjennomføres som standard kondisjonering på kalde masser kanskje er unødvendig for masser med bindemiddelmengde større enn en bestemt verdi (her 4,5 %). På den andre siden vil fryse/tine-syklus sikre at en ikke overvurderer E-modulen på frostømfintlige eller magre masser.
- Når det gjelder E-modulens variasjon med bindemiddelmengde, kan vi se en trend som går på at E-modulen er høyest for magre masser (3,5 % bindemiddel) ved kondisjonering uten fryse/ tine-syklus. Med påført fryse/tine-påkjenning ser vi ingen slik tendens. Massen med 4,5 og 5,5 % bindemiddel oppnår E-moduler i samme størrelsesorden (mellom ca. 350 og 550 MPa).
- Kompakteringsmetoden ser ikke ut til å ha noe særlig betydning. E-modul for prøvene kompaktert i Kango er i samme størrelsesorden som prøver kompaktert i Kneading kompaktor. Det er en del forskjell parallellprøvene imellom, så det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner.

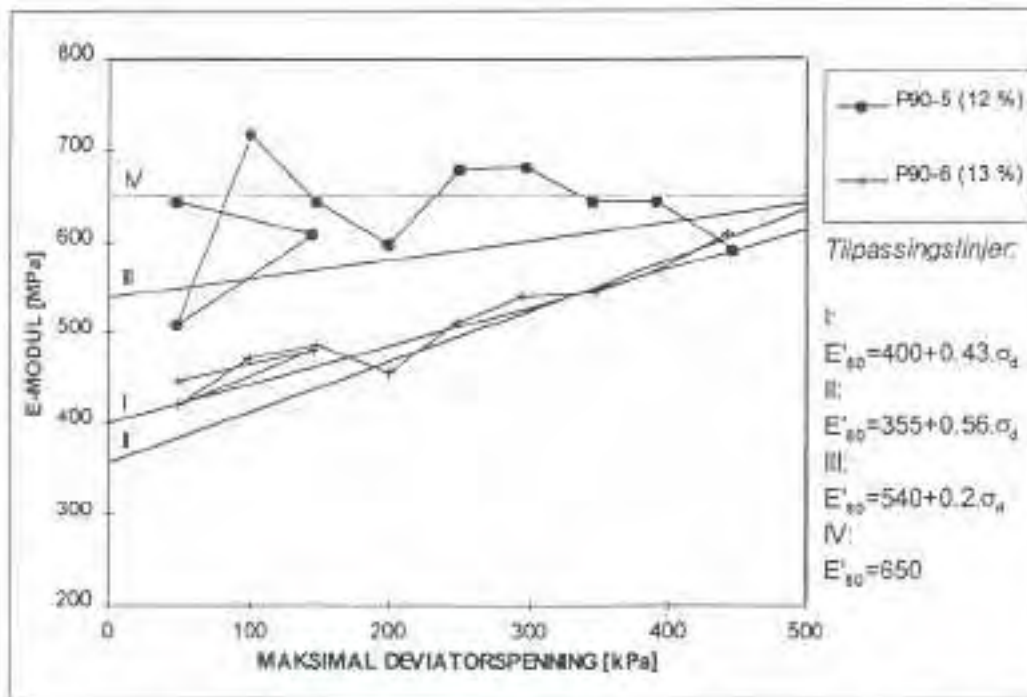
- Sammenligner vi E-modulene for laborietillagde prøver med borprøver fra felten, ligger også disse i samme størrelsesorden - lab.prøvene kanskje litt under. Borprøvene ble tatt opp på høsten etter utlegging. Massen hadde da bare ligget på veggen noen måneder. Det vil være interessant å se utviklingen av E-modul over flere år, for sammenligning med prøver tillaget i laboriet. Særlig interessant er det å finne en kompakteringsmetode og evt. kondisjoneringsmetode som forteller noe om massens egenskaper etter en tid ute på veggen. Det ser ut til at kompakteringen og kondisjoneringen som er brukt i disse forsøkene tilsvarer prøvene på veggen, samme høst.

Figur 6.11 og 6.12 viser eksempler på hvordan E-modulen varierer med hulrom og bindemiddelinhold (tilleggsserie). Det er ingen signifikant sammenheng mellom E-modul og bindemiddelinhold. For prøvene med 40 kPa sidetrykk kan vi se en liten tendens til at minst bindemiddelinhold (3,5 %) gir høyest E-modul, men tendensen er ikke signifikant.

Feltprøvene ligger i samme variasjonsområdet som laborieprøvene med 4,5 % bindemiddel. Når det gjelder variasjon i sidetrykk, ser en at E-modulen blir lavere med lavere sidetrykk, noe som stemmer overens med tidligere observasjoner.



Figur 6.11 E-modul som funksjon av hulrom etter trinntest, 40 kPa sidetrykk



Figur 6.12 E-modul/maksimal deviatorspenning for feltprøver, 80 kPa sidetrykk, 4,5 % bindemiddel

Ligning (6.1) fra kapittel 6.2.3 kan omformes videre til:

$$E = E_* + a \sigma_1 + (b - a) \sigma_3 + c (f - 10) \quad (6.3)$$

der: σ_1 = maksimal vertikalspenning
 σ_3 = maksimal horisontalspenning/sidetrykk
 f = frekvens
 E_* , a , b , c er konstanter

Med innsatte verdier for E_* , b og c fra frekvenstesten og a fra trinntesten blir dette:

$$E = 360 + 0,3\sigma_1 + 1,4\sigma_3 \quad (6.3a)$$

for $f = 10$ Hz

Med innsatte verdier for E_* og c fra frekvenstesten og a og b fra trinntesten får vi en alternativ sammenheng:

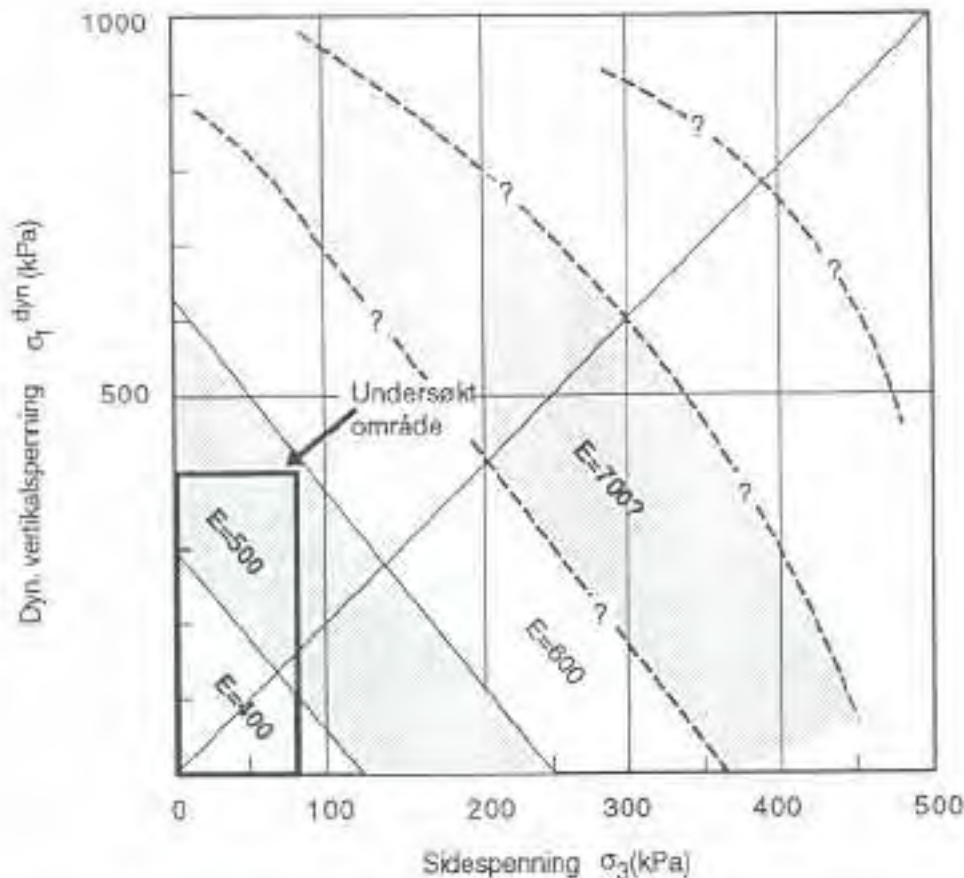
$$E = 360 + 0,3\sigma_1 + 0,7\sigma_3 \quad (6.3b)$$

$$E = 360 + 0,9\theta \text{ der } \theta = 1/3(\sigma_1 + 2\sigma_3)$$

En gjennomsnittsverdi for b (= 1,3) gir:

$$E = 360 + 0,3\sigma_1 + \sigma_3 \quad (6.3c)$$

Ligning (6.3b) er framstilt grafisk i figur 6.16 der det også er antydnet forventede verdier for et relevant spenningsområde utenfor det undersøkte.



Figur 6.13 E-modul som funksjon av dynamiske hovedspenninger $E = f(\sigma_1, \sigma_3)$ etter ligning (7b): $E = 360 + 0,3\sigma_1 + 0,7\sigma_3$ (ved $f = 10$ Hz) $E = 360 + 0,9\theta$ der $\theta = 1/3(\sigma_1 + 2\sigma_3)$

6.2.4 Spaltestrekkundersøkelse

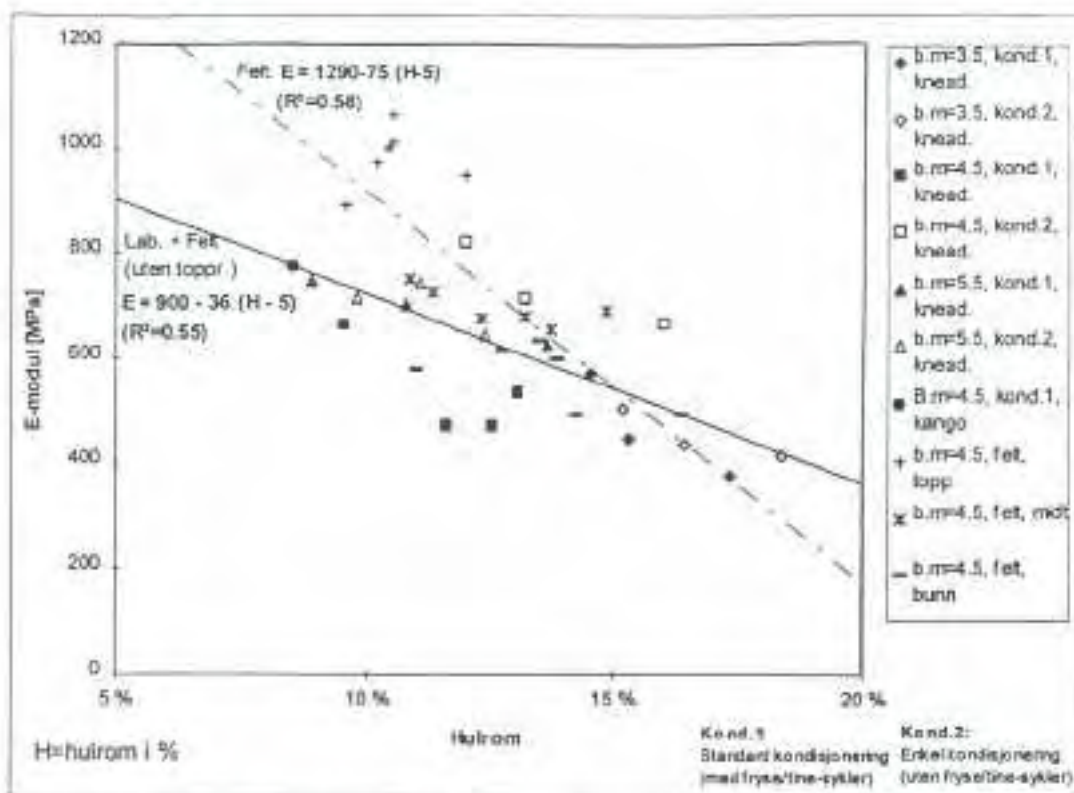
Fra spaltestrekkundersøkelsen kan en trekke følgende konklusjoner:

- Det er en klar sammenheng mellom E-modul og hulrom uavhengig av om prøven er tatt fra felt eller kompaktert i laboratoriet. E-modulen avtar med økende hulrom. Regresjonslinja $E = f(H)$ er vesentlig brattere for borprøvene enn for de laboratorie-kompakterte prøvene. Men dersom vi ser bort fra topplaget i borprøvene, vil regresjonslinjene bli nær sammenfallende. Dette kan tyde på at etterkompaktering og klimapåvirkning kan ha påvirket E-modulen i topplaget (kornorientering, temperatur-effekter mm) ut over den rene hulromseffekten. Dersom dette er tilfelle, er det ikke korrekt å ta med toppprøvene i regresjonssammenhengen, og vi får da sammenhengen:

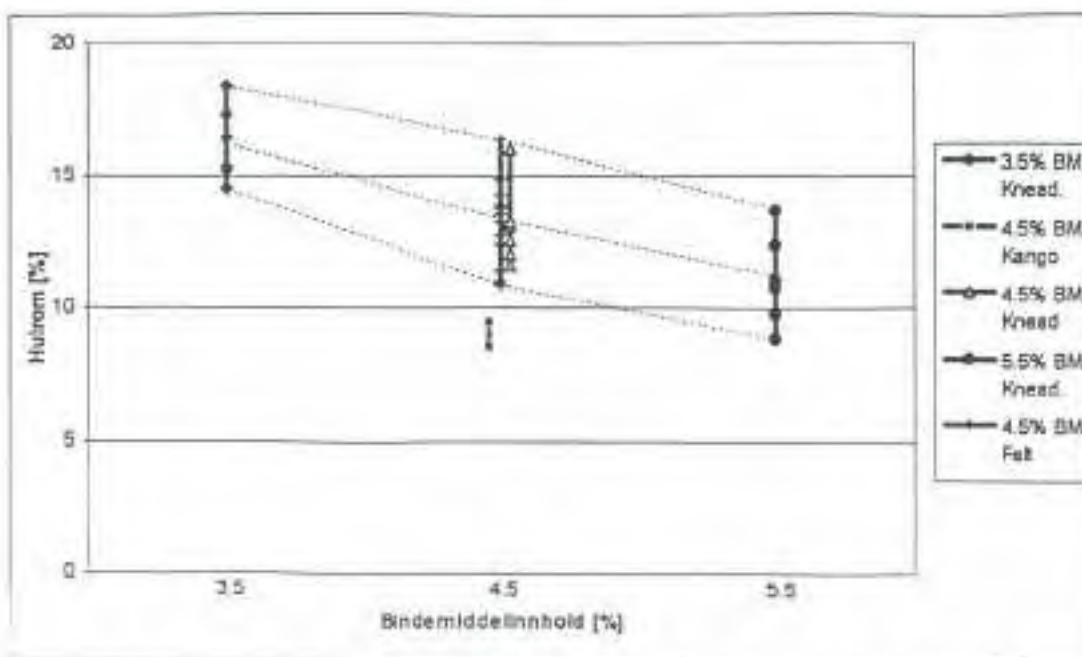
$$E = 900 - 36(H - 5) \quad (6.4)$$

der $E = E\text{-modul (kPa)}$
 $H = \text{Hulrom (\%)}$

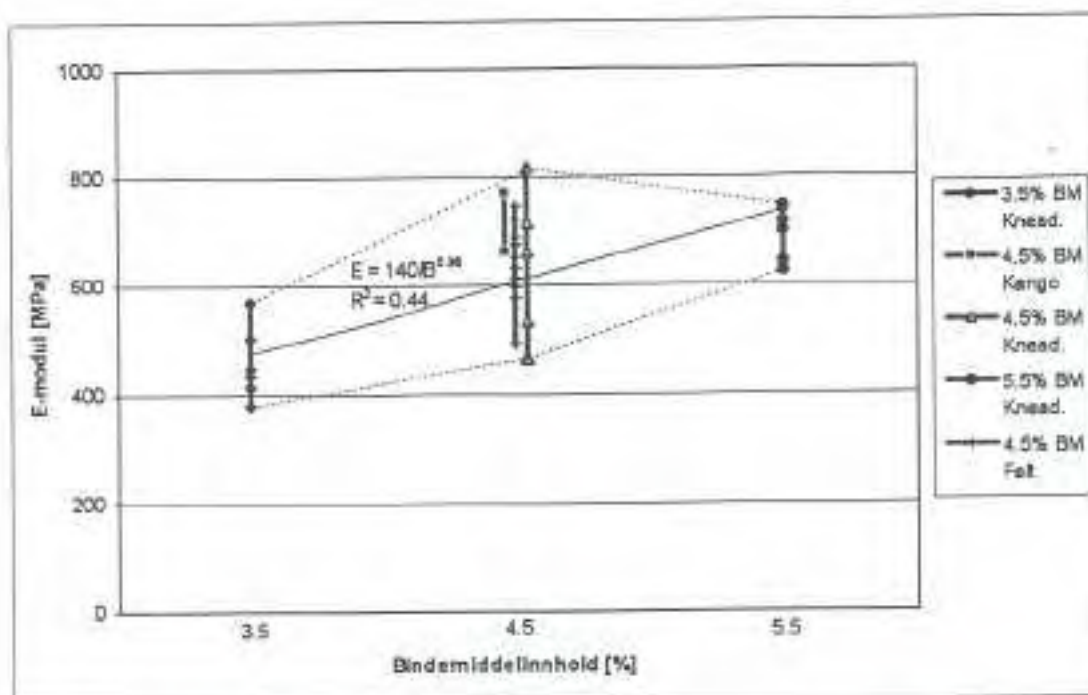
- Sammenhengen mellom E-modul og bindemiddelinnhold er ikke tilsvarende entydig, spesielt pga. stor spredning i E-modul for prøvene med 4,5 % bindemiddel. Bindemiddelinnholdet ser hovedsakelig ut til å influere på E-modulen gjennom endring i hulrom, se figur 6.15 og 6.16.



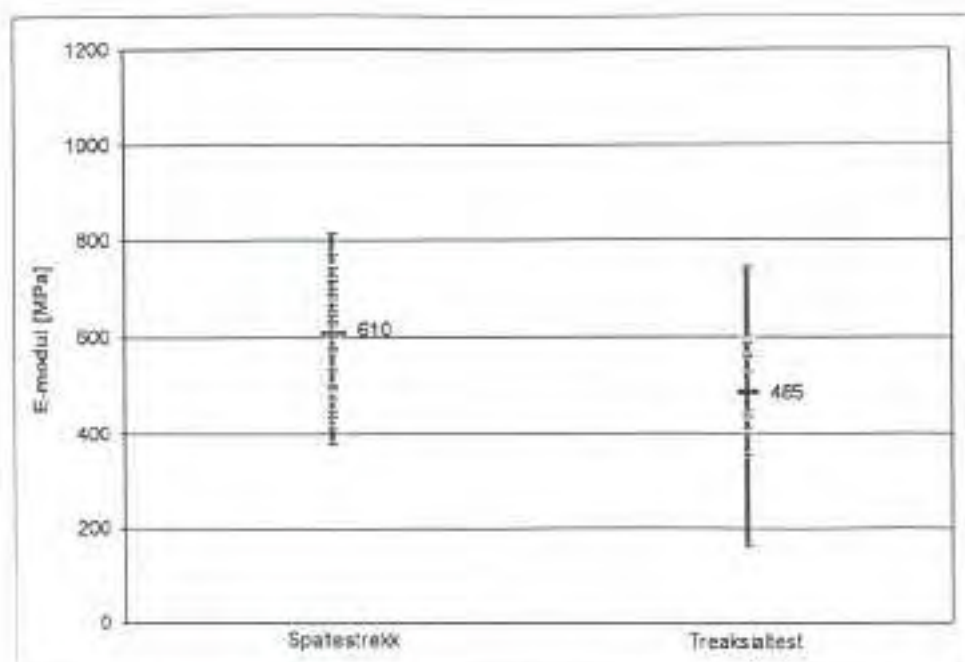
Figur 6.14 Sammenheng mellom hulrom og E-modul fra spaltestrekkforsøk



Figur 6.15 Sammenheng mellom hulrom og bindemiddelinnhold for prøver til spaltestrekkforsøk (prøvene fra toppen av borprøvene er ikke med, jfr. drøfting av figur 6.14)



Figur 6.16 Sammenheng mellom E-modul og bindemiddelinhold fra spaltestrekkforsøk (prøvene fra toppen av borprøvene er ikke med, kfr. drøfting av figur 6.14)



Figur 6.17 Variasjonsområde for E-modul etter spaltestrekk og treksialtest, enkeltprøver, Kneading Kompaktor og borprøver. (Kangoprøver og prøver fra topp av borkjerner er utelatt) Gjennomsnittsverdien er avmerket på hvert bånd

6.2.5 Plastiske egenskaper

Generelt

I kapittel 6.2.3 har en definert tre alternative bruddkriterier eller mer korrekt grenseverdier for overgang mot store plastiske deformasjoner. Disse kriteriene er:

- 1) $\epsilon_p = 0,5 \%$
- 2) $\nu = 0,4$ alt. $0,5$
- 3) $d\epsilon/dN = 7 \cdot 10^{-4}$

Det er så utført trinnvis økning av dynamisk deviatorspenning, σ_1^{ds} , opp til "brudd" etter kriteriene 1 - 3, kfr. vedlegg 10.

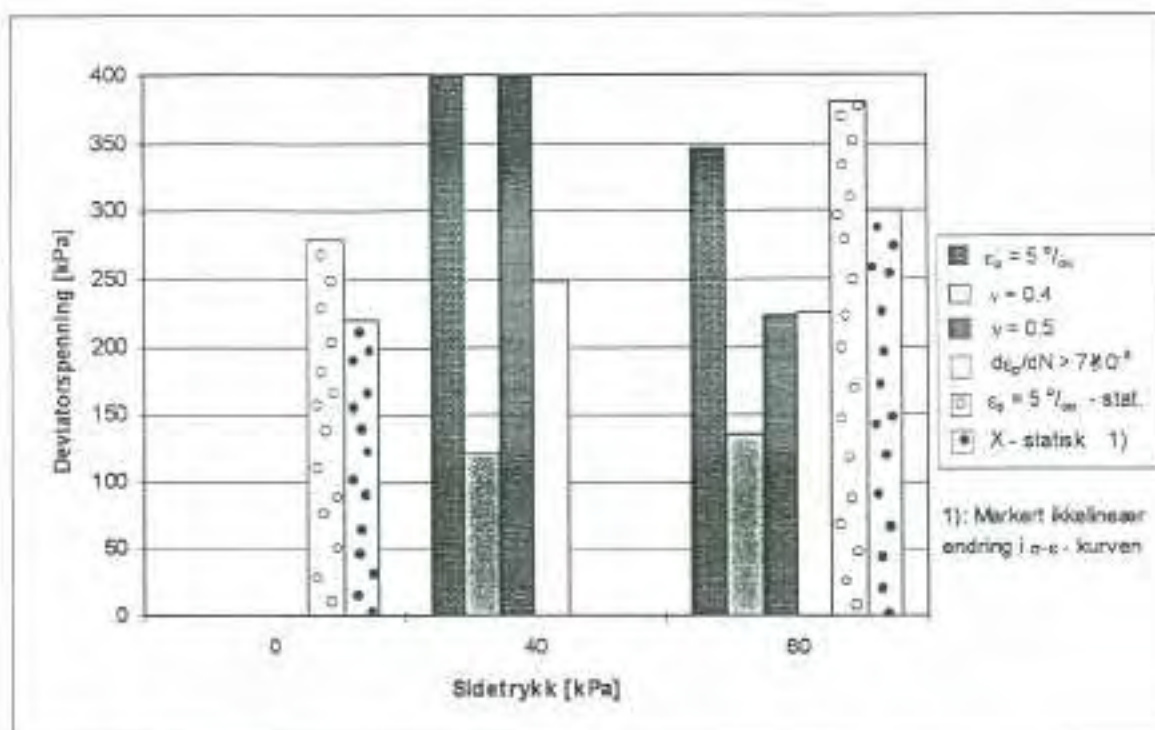
Feltprøver

For borprøvene fra felt er det også utført 3 deformasjonskontrollerte statiske treaksialforsøk, to uten sidespenning og en med 80 kPa sidespenning. Feil ved lastpåføringen på det ene forsøket førte imidlertid til at dette ikke kan benyttes. De to forsøkene med sammenlignbare data viser bruddspenning i området 220-280 kPa uten sidespenning og 300-380 kPa ved sidespenning på 80 kPa. Dette indikerer at sidespenninga prinsipielt har innflytelse på statisk brudd i overensstemmelse med Mohr-Coulomb, jfr. figur 6.3 og 6.4.

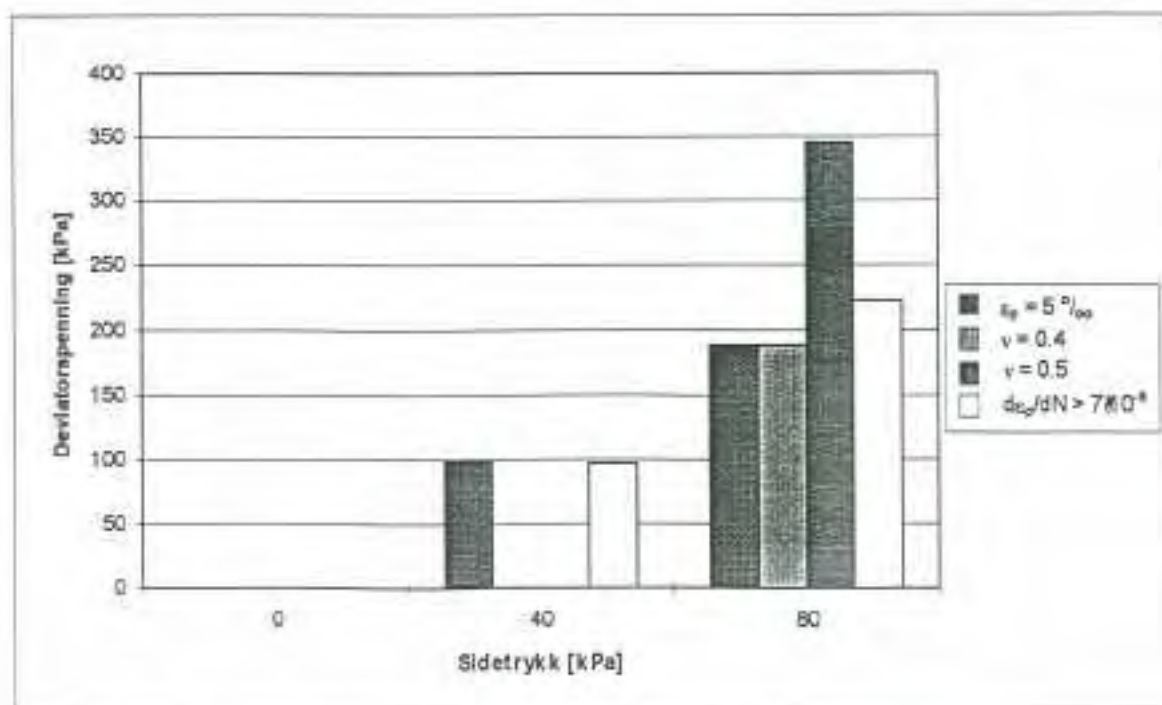
Dynamisk treaksialprøving etter trinnvis pålasting til brudd viser derimot ingen korrelasjon med sidetrykket. Det er også svært stor forskjell på bruddspenning avhengig av hvilket bruddkriterium som blir lagt til grunn. Dette er vanskelig å forklare på annen måte enn at borprøvene har forskjellig styrke pga. inhomogeniteter/variasjoner i dekket på veien.

Laboratorieprøver

For laboratorieprøvene ser vi en klar effekt av sidetrykket for bruddspenninga. Ved $\sigma_3 = 80$ kPa er bruddspenningen 200-400 kPa avhengig av bindemiddelinhold og bruddkriterium. Vi ser en tendens til at prøvene med lavest bindemiddelinhold (3,5 %) gav høyest bruddspenning. Ved $\sigma_3 = 40$ kPa er tilsvarende bruddspenning 100 kPa. Det er imidlertid behov for flere statiske treaksialforsøk for å fastlegge bedre referanse til statisk brudd.



Figur 6.18 Plastiske parametre for feltprøver, 4,5 % bindemiddel, gjennomsnittsverdier



Figur 6.19 Plastiske parametre for lab prøver, 4,5 % bindemiddel, gjennomsnittsverdier

6.2.6 Konklusjoner

Forsøkene med dynamisk treaksialprøving og spaltestrekk har gitt økt kunnskap om materialoppførsel for kaldproduserte materialer både i elastisk og plastisk område. Hovedkonklusjonene etter forsøkene er som følger:

- De dynamiske treaksialforsøkene viser ingen entydig sammenheng mellom E-modul og bindemiddelinhold.
- Det kan ikke påvises noen sammenheng mellom E-modul og hulrom for dynamisk treaksialforsøk tilsvarende som ved spaltestrekkforsøk. Dette kan vi heller ikke vente, siden E-modulen fra treaksialprøving er sterkt spenningsavhengig og spenningen (σ_{dyn}) varierer. Vi ser imidlertid at verdien fra treaksialforsøk og spaltestrekkprøving ligger innenfor omtrent samme variasjonsområde, men noe forskjøvet i middelverdi.
- Det er en systematisk forskjell mellom spaltestrekk og treaksialforsøk på ca. 120 kPa, men det er svært store variasjoner mellom parallellprøvene. Resultatene vil imidlertid bli sammenfallende dersom sidespenningen σ_3 ble økt med 125 kPa. Sidespenningen $\sigma_3 = 80$ kPa er i nedre område for det som er realistisk i felt. Ved $\sigma_3 = 200$ kPa ville resultatet blitt sammenfallende.
- For magre masser (bindemiddelinhold på 3,5 %) gir fryse/tine - påkjenning (standard kondisjonering) markert lavere E-modul (treaksialprøving). For prøver med bindemiddelinhold på 4,5 og 5,5 % ser vi ingen effekt av fryse/tine - påkjenning.
- Tilleggsserien viser en betydelig reduksjon av E-modulen ved påføring av store spenninger før tilbakevending til små belastninger. Dette tolkes som reduksjon av attraksjon over tid. Ved lastprosedyren som er benyttet, er antagelig 2. gangs testing mest relevant for tilstanden på vegen etter ei viss tid. De relativt høye E-modulene som ble funnet ved små spenninger i hovedundersøkelsen, vurderes for mindre representative for langtidstilstanden.
- Både i hovedserien og i tilleggsserien viser frekvenstesten noe høyere E-modul enn trinntesten ved samme spenningstilstand. Dette skyldes hovedsakelig nedbryting av attraksjon under frekvenstesten som blir påført i de første lasttrinnene.
- Det er liten forskjell i E-modulene fra feltprøvene fra 1995 og 1996. Det er imidlertid en tendens til noe høyere E-modul i 1996, men spredningen er svært stor. Hulrommet i prøvene ser derimot ut til å ha blitt redusert noe.
- Generelt kan den dynamiske E-modulen uttrykkes som:

$$E = E_* + a \sigma_1 + b \sigma_3 + c (f - 10) \quad (6.2)$$

eller

$$E = E_* + a \sigma_1 + (b-a)\sigma_3 + c (f - 10) \quad (6.3)$$

Følgende sammenheng mellom E-modul og spenningstilstand er funnet i det undersøkte spenningsområdet :

$$E = 360 + 0,3\sigma_1 + 1,4\sigma_2 \quad (6.3a)$$

og

$$E = 360 + 0,3\sigma_1 + 0,7\sigma_2 \text{ når } f = 10 \text{ Hz} \quad (6.3b)$$

(6.3b) kan også tilnærmet omformes til :

$$\begin{aligned} E &= 360 + 0,3(\sigma_1 + 2\sigma_2) = 360 + 0,9 * 1/3(\sigma_1 + 2\sigma_2) \\ E &= 360 + 0,9\theta, \text{ der } \theta = \sigma_m = 1/3(\sigma_1 + 2\sigma_2) \end{aligned} \quad (6.3b')$$

E-modulens frekvensfølsomhet c er funnet til å ligge i området:

$$c = 9 - 12 \text{ i frekvensområdet } 3 - 20 \text{ Hz}$$

Fra et teoretisk synspunkt vil ligning (6.3b) og (6.3b') være en rimelig modell ved sammenheng mellom E-modul og middelspenning θ .

6.3 Vurdering av hulrommets betydning

6.3.1 Generelt

Hulrommet i et asfaltdekke påvirker dekkets egenskaper på en rekke områder: stabilitet, holdbarhet, slitasje, etc. Nevnte erfaringer bygger hovedsakelig på forsøk og observasjoner gjort på varmprodusert asfalt, mens undersøkelser av kaldprodusert asfalt er få. I AUT har vi tatt utgangspunkt i hypotesen "hulrom i kaldprodusert asfalt er forskjellig fra hulrom i varmprodusert asfalt".

De betraktninger og undersøkelser som er foretatt i AUT gjelder emulsjonsmasser. Skumbitumenmasser er ikke behandlet i samme omfang. Generelt antas et høyt hulrom å gi en raskere herding av emulsjonsmasser pga. vannets mulighet for å unnsnippe.

Fra varmprodusert asfalt, med tett kornfordeling, er det alment akseptert at hulrom under 1% kan gi deformasjonsproblemer, mens hulrom mellom 2 og 5% betraktes som ideelt. Området 7-10% er mest ugunstig, fordi vann kan bli stående i dekket. Høyere hulrom vil kunne gi sammenhengende porer med en drenerende effekt. Massen er derfor ikke like utsatt for stripping.

6.3.2 Hulrommets utforming

Vi startet med følgende hypotese: "Mens hulrommet i en varmasfalt består av endel større lufllommer, består hulrommet i en kaldasfalt av mange små luftbobler". Hypotesen ble satt på grunnlag av visuelle observasjoner av borkjerner: en varmasfaltkjerne med 10% hulrom ser "markspist" ut, mens en kaldasfaltkjerne med 10% hulrom ser tett ut. Det ble derfor sendt prøveklosser laget med gyratorisk kompaktor til Danmark for planslip analyse ved Vejteknisk institut. I tillegg ble borkjerner fra Rv 358 analysert.

Serie A (K-A og V-A) ble forsøkt kompaktert til et hulrom på 10%. Serie B (K-B og V-B) ble kompaktert til 100 gyreringer. De to kaldasfaltprøvene som ble kompaktert med henholdsvis 100 gyreringer og til 10% hulrom med gyratorisk kompaktor, har oppnådd samme hulrom. Dette kan skyldes at vanninnholdet i massen ikke tillater lavere hulrom. For varmasfaltprøvene gir 100 gyreringer lavere hulrom enn forsøket på å oppnå 10% hulrom.

Hvis vi sammenlikner varmasfaltprøve V-A, med størst hulrom (7,7%) med kaldasfaltprøvene, K-A og K-B, med hulrom 12,5%, ser vi at både middeldiameter og middelareal for luftporene er større i varmasfaltprøven enn i kaldasfaltprøven. Antallet luftporer er mye høyere i kaldasfaltprøvene enn i varmasfaltprøvene. Dette bekrefter vår hypotese om hulrommets utforming.

Tabell 6.2 Resultater fra optisk hulromsbestemmelse ved Vejteknisk institut

	Prøver fra Gyratorisk kompaktor				Borkjerner	
	Varm asfalt		Kald asfalt		Kald asfalt	
Prøve	V-A	V-B	K-A	K-B	K 1	K 2
Prøveareal (cm ²)	44	44	39	43	24	22
Antall målefelter	198	192	176	198	108	108
Antall luftporer	565	631	4954	5686	1694	887
Middeldiameter D _λ (mm)	0,53	0,34	0,22	0,22	0,33	0,40
Middelareal A (mm ²)	0,57	0,25	0,09	0,09	0,19	0,29
Middel formfaktor F	42	43	33	35	37	38
Samlet hulrom volum (%)	7,7	3,8	12,5	12,6	14,2	11,3

V-A og K-A er planlagt kompaktert til 10% hulrom i gyratorisk kompaktor

V-B og K-B er kompaktert med 100 sykler (gyreringer)

K1 og K2 er borkjerner fra slitedekke på RV 358

Formfaktor = 100 angir sirkelformet pore, mens formfaktor = 0 angir linjeformet, flat pore

Tabell 6.3 Antall luftporer pr volumprosent hulrom

V-A	V-B	K-A	K-B	K 1	K-2
73	166	396	451	119	78

V-A og V-B er varmasfalt, K-A og K-B er kaldasfalt og K1 og K2 er borkjerner

I tabell 6.3 ser vi at borkjernene fra Rv 358 har i samme størrelsesorden antall luftporer pr volumprosent hulrom som varmasfaltprøvene fra gyratorisk kompaktor, mens kaldasfaltprøvene fra gyratorisk kompaktor har et større antall luftporer pr. volumprosent hulrom. Dette kan skyldes at dekket på veien er etterkompaktert av trafikk etterhvert som vanninnholdet avtar på grunn av opptøking. En annen årsak kan være at massen fra laboratorieprøvene er forskjellig fra massen produsert i felt, selv om sammensetningen er omtrent lik, jfr. kapitell 5.2.1

6.3.3 Totalt hulromsinnhold

Fra Toulouse i Frankrike, hvor de har lang erfaring med kaldprodusert asfalt med bruk av emulsjon, fikk vi følgende vurdering av J-F Lafon (LRPC): Erfaringsmessig ligger hulrommet i emulsjonsgrusdekkene på 11-15%. Over 16% anses å være for høyt, men antagelsen er basert på følelser og er ikke dokumentert. Hulrommet avtar med fra 0 til 4% i løpet av dekkets levetid. Hulrom under 10% blir sjelden registrert.

I de Sør-Afrikanske retningslinjer for emulsjonsmasser (GEMS) /8/ er det beskrevet et minimum hulrom på 5%, for at emulsjonen skal ha anledning til å bryte og massen herde, og et maksimum hulrom på 15%, for at massen ikke skal være for vannømfintlig.

Når kaldasfaltmassen er mettet med vann er det ikke mulig å oppnå høyere densitet ved kompaktering. Det er derfor en klar sammenheng mellom vanninnhold i massen og det hulrommet som oppnås.

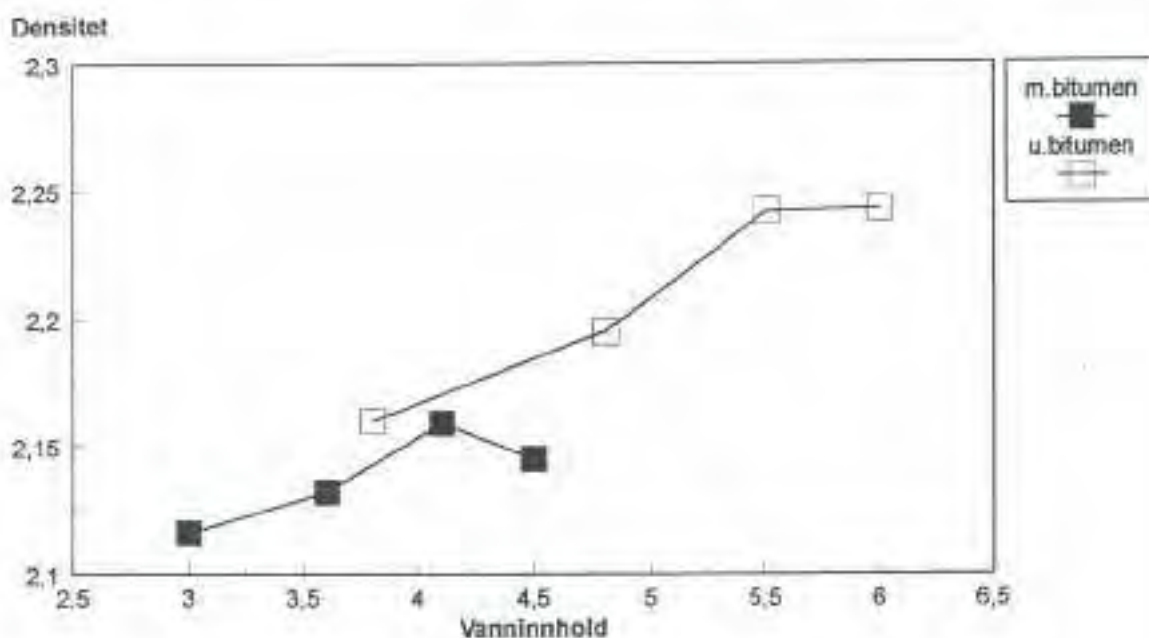
6.3.4 Analysering av hulrom i kaldasfalt

I AUT er det gjennomført en laboratorieundersøkelse der fuktig tilslag med varierende vanninnhold og emulsjonsmasse med varierende vanninnhold, er testet i gyatorisk kompaktor og ved Modifisert Proctor. Det er benyttet samme tilslag og resept som ved arbeidet på Rv.358.

Resultat fra Modifisert Proctor

Proctorforsøk med tilslag fra Tømmeråsen ga følgende resultat:

- Tilslag uten bitumen : optimalt vanninnhold 5,5%, max tørrdensitet 2,25 g/cm³
- Tilslag med bitumen (5,2%) : opt.vanninnh. 4,2%, max tørrdensitet 2,16 g/cm³



Figur 6.20 Modifisert Proctor på tilslag fra Tømmeråsen, med og uten bitumen.

Resultat fra Gyatorisk kompaktering

Ved kompaktering i gyatorisk kompaktor er innstillinger for varm asfalt ifølge CEN-standard benyttet. Det ble benyttet perforert form med prøvediameter 100mm. I løpet av kompakteringen vil densiteten endres på grunn av at bitumen og eventuell filler renner av gjennom hullene i den perforerte formen.

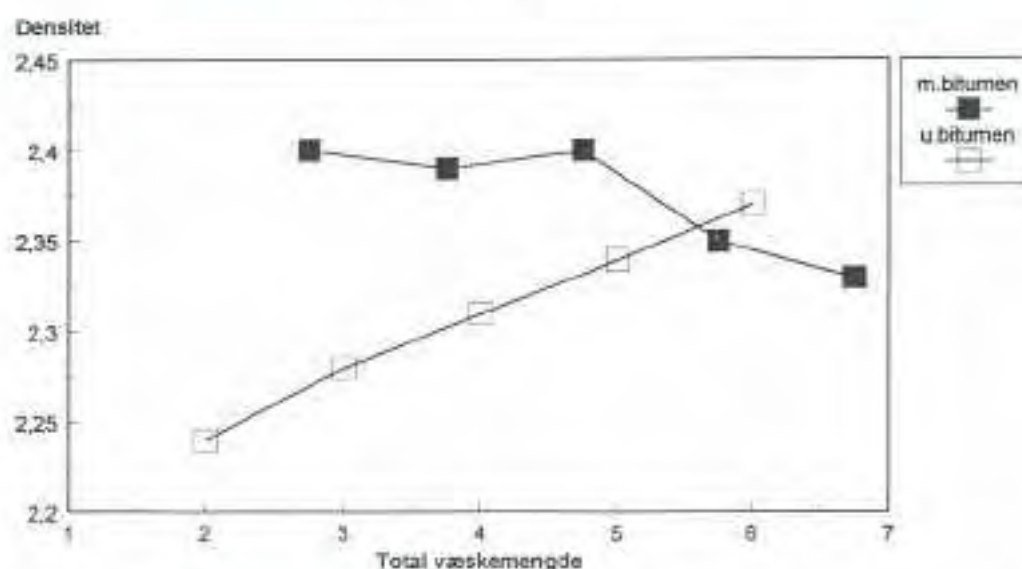
Tabell 6.4 Gyratorisk kompaktering av fuktig tilslag

Vanninnh.	Densitet N_{10}	Densitet N_{100}	Densitet N_{200}	Merknader
2%	2,03	2,2	2,24	2,5g vekttap. Ikke synlig avrenning. Ikke hel kloss
3%	2,06	2,24	2,28	2,7g vekttap. Ikke synlig avrenning. Hel kloss
4%	2,06	2,26	2,31	5,8g vekttap. Ikke synlig avrenning.
5%	2,07	2,29	2,34	12,3g vekttap. Såvidt synlig avrenning
6%	2,07	2,32	2,37	21,4g vekttap. Slurry rant ut etter ca. 100 sykler

Tabell 6.5 Gyratorisk kompaktering av emulsjonsmasse med varierende vanninnhold

Vanninnh.	Densitet N_{10}	Densitet N_{100}	Densitet N_{200}	Merknader
1%	2,210	2,422	2,468 (2,403)	39g vekttap. Emulsjon brutt ved start. Avrenning
2%	2,202	2,428	2,476 (2,385)	56g vekttap. Emu delvis brutt. Brun avrenning
3%	2,240	2,468	2,521 (2,400)	74g vekttap. Emulsjon ubrutt ved start. Avrenning
4%	2,231	2,451	2,511 (2,351)	98g vekttap. Emulsjon ubrutt. Avrenning
5%	2,253	2,468	2,520 (2,326)	119g vekttap. Emulsjon ubrutt. Mye avrenning

Tallene i parentes er justert i forhold til vekttap.



Figur 6.21 Gyratorisk kompaktering av tilslag fra Tømmeråsen, med og uten bitumen, ved forskjellig vanninnhold.

Resultatene fra gyratorisk kompaktering er beheftet med usikkerhet grunnet avrenning av vann og bitumen. X-aksen for vanninnhold er ikke korrigert for tap av vann, slik at punktene sannsynligvis ligger lenger til venstre enn vist på figuren. En slik forskyvning er vanskelig å foreta uten å registrere avrenningen nøyaktig. En korrigering vil gi bedre samsvar mellom resultatene i figur 6.20 for Modifisert Proctor og resultatene for gyratorisk kompaktering i figur 6.21.

6.3.5 Hulrom målt på dekker lagt i AUT

Kaldasfaltdekkene som er lagt i AUT har hulrom i området 9-18 %. Tidligere er det registrert følgende hulrom i kaldasfalt ved analyse av borkjerner:

- ca 22 %, Egt 11, Fv 62 Buskerud /9/
- ca 17 %, Egt 16, Fv.425 Oppland /10/

Mange rapporter fra feltforsøk med kaldasfalt oppgir ikke hulrom beregnet fra borkjerner. Praksis i Norge med bruk av lokale tilslag, som ikke nødvendigvis oppfyller vegnormalenes krav til kornkurve, har vært at hulrommet blir hva det blir. Det er ikke gjort grundige undersøkelser av hulrommets betydning for vegdekkets egenskaper på samme måte som for varmasfalt. En videre oppfølging av dekker utlagt i AUT vil kunne gi mer informasjon om denne sammenhengen.

Tabell 6.6 Hulrom på dekker utlagt i AUT

Massetype	Sted	Utlagt	BK uttatt	Hulrom	a-verdi
Eb 16 5,0% B 180	Rv 45	18.06.96	08.10.96	9,14 (5) 8,2 - 10,5	1,74
Eb 11 5,0% B 370	Rv 45	26.07.96	08.10.96	18,0 (5) 15,6 - 22,1	
Eb 11 5,0% B 370	Rv 45	09.07.96	08.10.96	13,6 (5) 10,9 - 16,5	1,72
Eg 6 MB6000	Rv 358 oppretting	12.09.96	09.10.96	13,3 (3) 13,1 - 13,5	
Eg 11 4,5% B 370	Rv 36	13.06.95	okt. 95	12,9 (9) 7,6 - 15,5	1,76
Eb 11 5,0% B 370	Rv 36	04.07.95	okt. 95	9,0 (2) 6,9 - 11,0	1,85

6.4 Vurdering av massens egenskaper ved bruk av gyratorisk kompaktor

6.4.1 Generelt

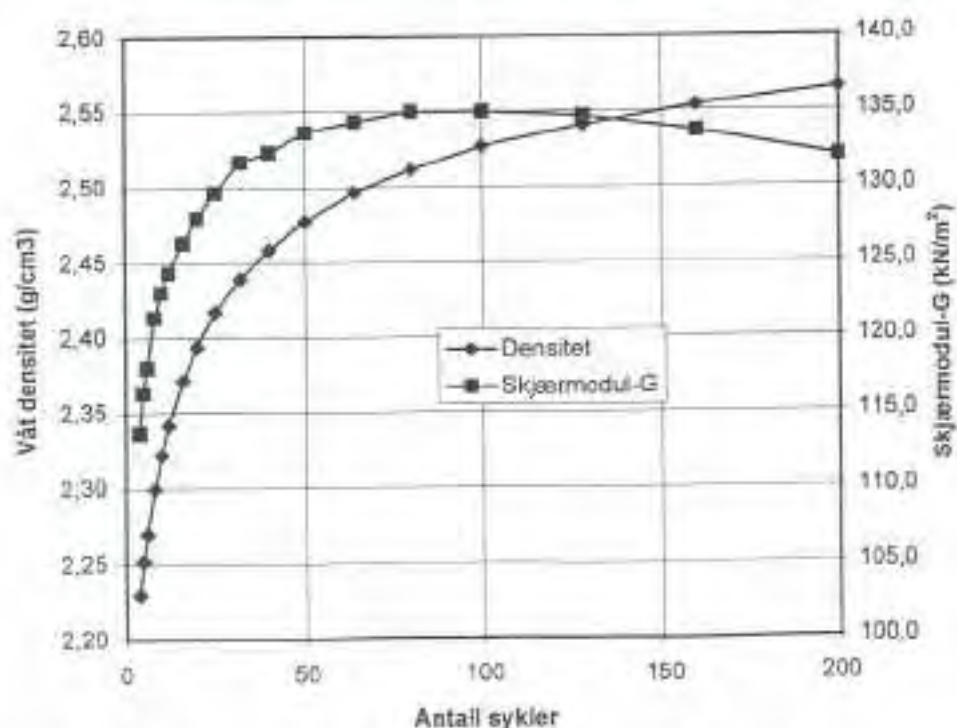
Gyratorisk kompaktor er et relativt nytt utstyr for tillaging av prøveklosser av bituminøse masser i laboratoriet. En av fordelene med utstyret er at gyratorprøvene har sammenlignbare egenskaper med prøver fra felten.

Erfaringene foreløpig når det gjelder kalde masser er imidlertid svært begrensende. Den overordnede målsetningen i AUT-prosjektet har derfor vært å utvide erfaringsgrunnlaget for tillaging av prøveklosser av kalde masser med bruk av gyratorisk kompaktor. Mere konkret ønsket en å:

- etablere en kompakteringsprosedyre som gir sammenlignbare densiteter med felten
- undersøke om resultatene fra kompaktering med gyratorisk kompaktor kan benyttes til å vurdere massens bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet.

I Telemarkprosjektet har en benyttet en gyratorisk kompaktoren av typen ICT. Dette utstyret gir densitet og skjærmodul som funksjon av antall gyreringer. Massen som er brukt ved kompakteringsforsøkene er emulsjonsgrus av dekke- eller bærelagskvalitet. Figur 6.22 viser eksempler på resultater. I figuren har en angitt 3 viktige verdier for antall gyreringer:

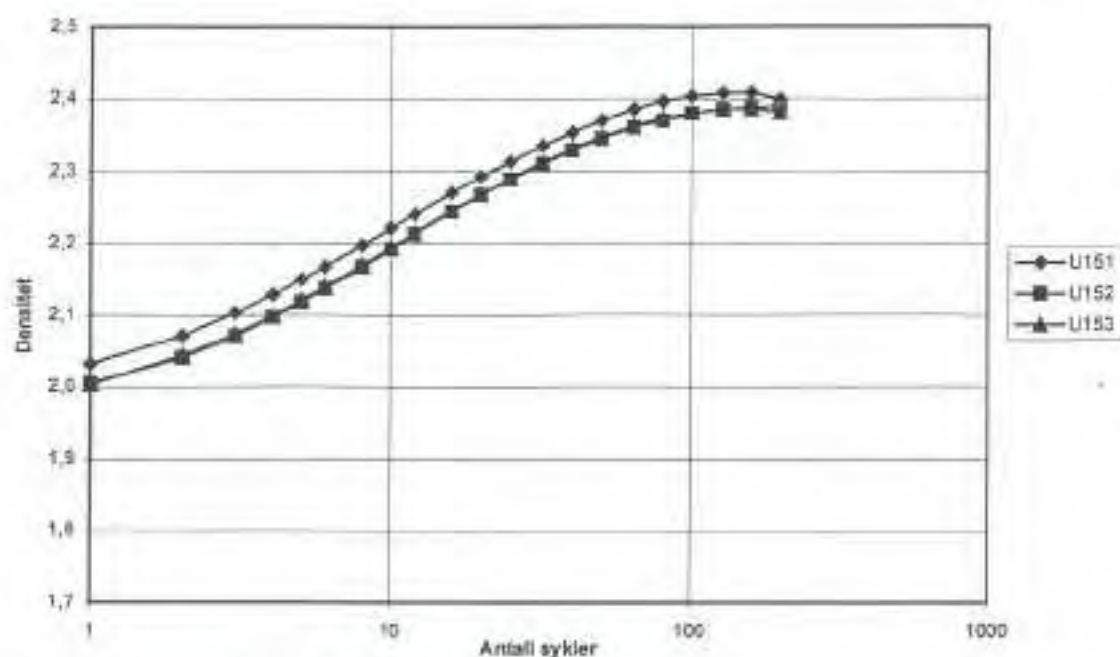
- N_{rel} er antall gyreringer for å få en densitet tilsvarende den en har etter utleggeren. I SHRP-prosjektet brukes 7-11 gyreringer.
- N_{design} er antall gyreringer for å få den densiteten en har etter valsing
- N_{max} betraktes som den teoretisk maksimale densiteten en kan oppnå i felten uavhengig av valseutstyret. I SHRP-prosjektet er $N_{max} = 200$.



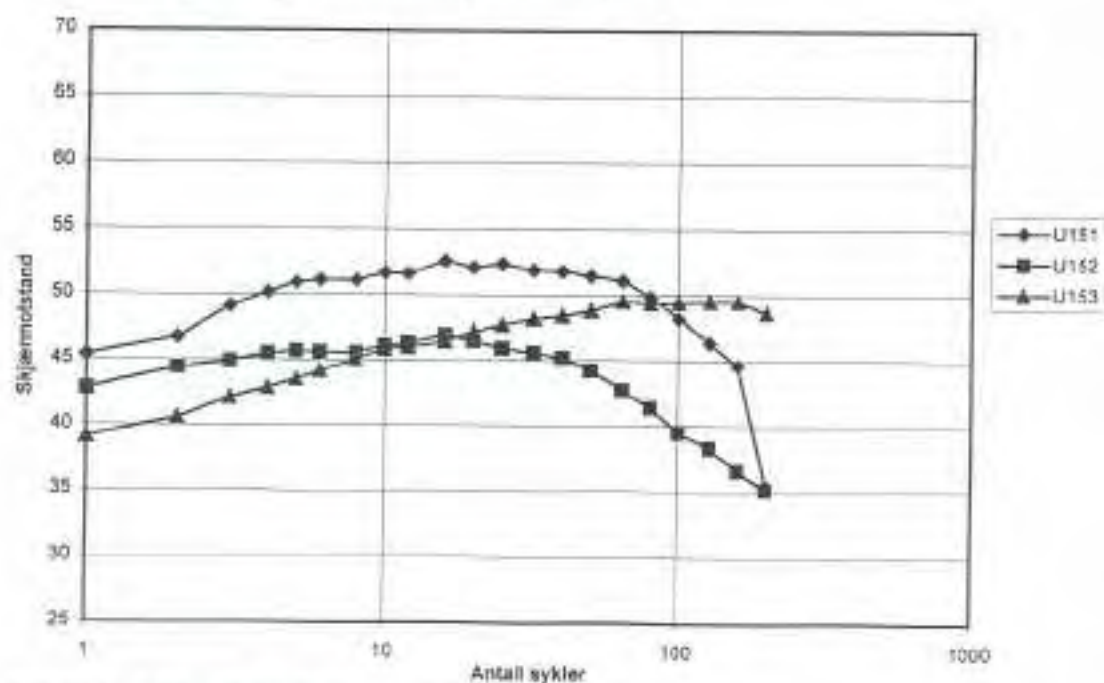
Figur 6.22 Eksempel på resultater fra gyratorisk kompaktor

6.4.2 Spredning i enkeltresultater

I AUT-prosjektet har en valgt å bruke 3 parallelle prøver pr. forsøksbetingelse. Figur 6.23 og 6.24 viser typiske eksempler på spredningen i resultatene. Av figurene ser en at densitetsverdiene er temmelig like for de 3 parallellene. På tross av dette er det stor spredning i skjærmodulen. Dette er vanskelig å forklare, men tendensen er gjennomgående for en del av resultatene fra AUT.



Figur 6.23 Spredning i densitet for parallelle prøver



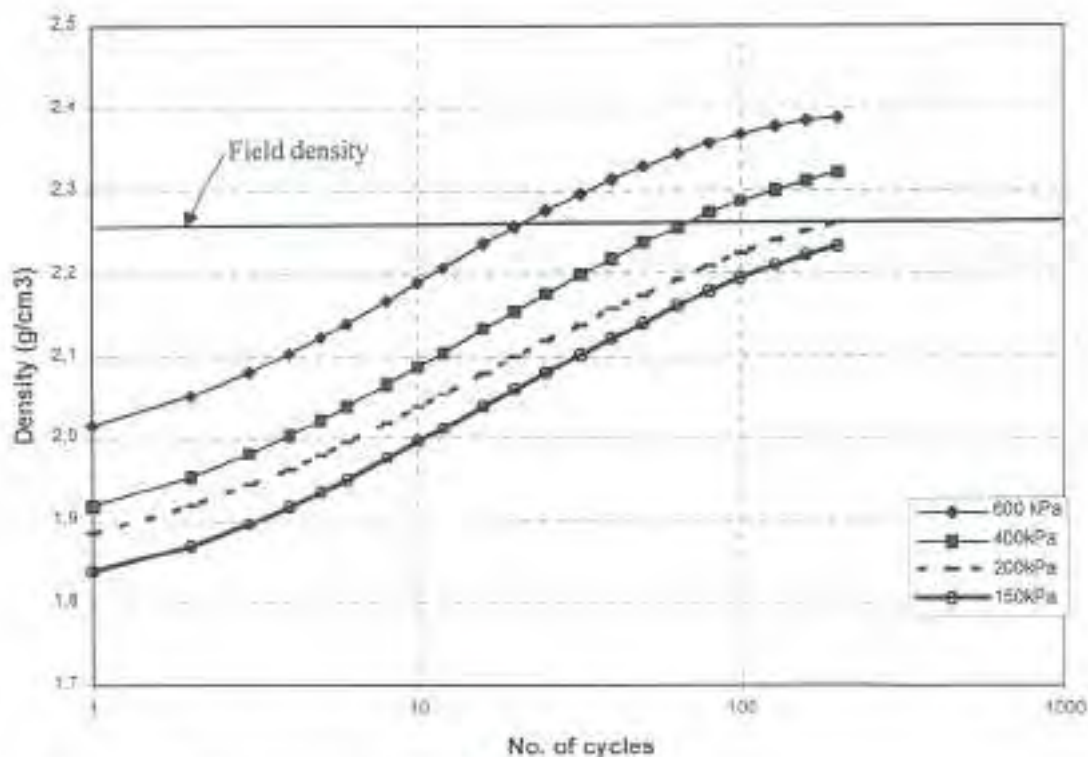
Figur 24 Spredning i skjærmodul for parallelle prøver

6.4.3 Valg av innstilling for kompaktering av prøver til statisk indirekte strekkforsøk

Ved valg av kompakteringsprosedyre er et av hovedmålene at prosedyren gir sammenlignbare densiteter med felten. En har følgende variable faktorer ved kompaktering av prøver i gyratorisk kompaktor: diameter på prøven, trykk på prøveoverflaten, gyratorvinkel og antall omdreininger pr. tidsenhet.

Til nå har en brukt 100 mm prøver for bestemmelse av statisk indirekte strekkstyrke og lastfordelingskoeffisienten. Ut fra hensynet til maksimal steinstørrelse er det imidlertid fordelaktig å bruke større prøver, men formelgrunnlaget for sammenhengen mellom statisk indirekte strekkstyrke og lastfordelingskoeffisient for 150 mm prøver er ikke utarbeidet. I AUT har en derfor valgt å satse på 100 mm prøver for bestemmelse av lastfordelingskoeffisienten. Resultater som er presentert videre i dette kapittelet er derfor basert på 100 mm prøver.

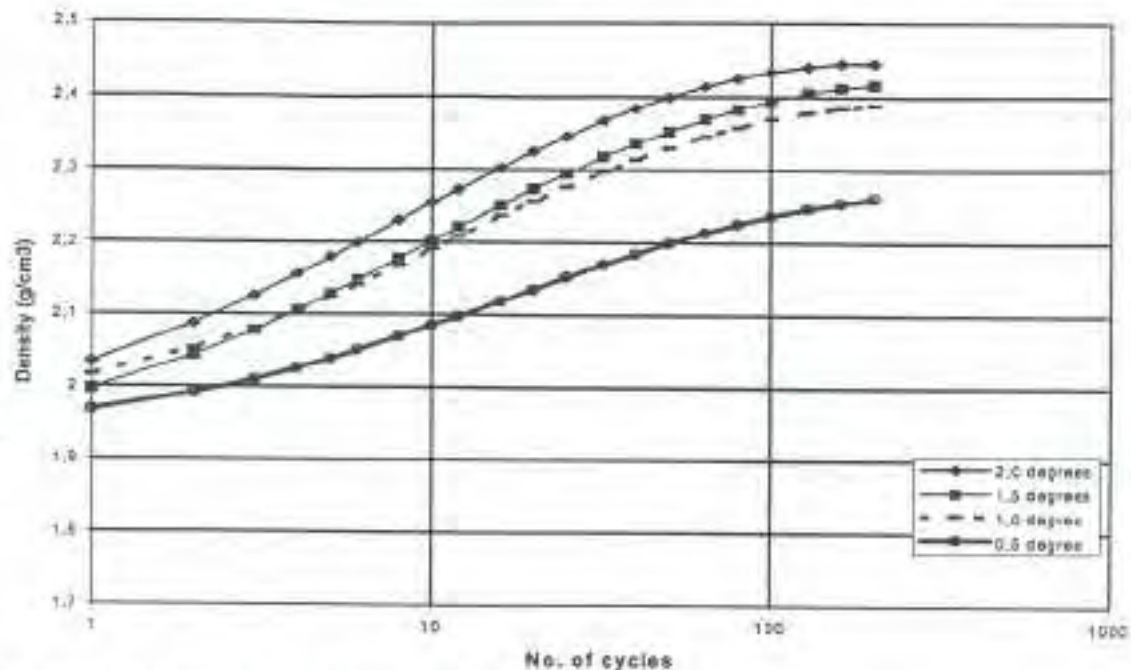
Figur 6.25 viser resultater fra kompaktering av emulsjonsmasse med forskjellige arbeidstrykk. Feltdensiteten er markert med en horisontal linje. Figuren er basert på forsøk på Rv. 36 i Bø hvor en først la ett lag med tykkelse 6-7 cm og deretter et lag på 16-17 cm (ferdig kompaktet). Normalt ville en i stedet ha lagt to lag hver med 12 cm tykkelse, men det ble gjort som angitt av hensyn til opptak av treaksialprøver. Resultatene i figur 6.25 viser at det er mulig å kompaktere prøver til en densitet tilsvarende den en har i felten med arbeidstrykk i området 400 til 600 kPa.



Figur 6.25 Effekten av trykk på overflaten

På Rv. 36 ville en antagelig densiteten ha vært noe høyere ved legging i to like tykke lag. Ut fra resultatene kan det derfor konkluderes med at en bør bruke et arbeidstrykk på 600 kPa ved kompaktering av prøver.

Det er også utført forsøk med varierende gyratorvinkel, se resultater i figur 6.26. Resultatene viser at større vinkel gir høyere tørr densitet. Feltdensiteten nås både for 1,0, 1,5 og 2°. For en vinkel på 2° når en imidlertid feltdensiteten etter få sykler, og densiteten etter 200 sykler er også svært høy i forhold til feltdensiteten (horisontal linje i figur 6.25). En vinkel på 2° synes derfor å være mindre egnet.



Figur 6.26 Effekten av gyratorvinkel

I CEN (Europeisk standardiseringsarbeid) brukes følgende innstillinger ved kompaktering av varme masser:

- Arbeidstrykk: 600 kPa
- Gyratorvinkel: 1°
- Rotasjonshastighet: 30 omdreininger pr. minutt

Resultatene fra Telemarksprosjektet viser at denne prosedyren også kan benyttes for kalde masser. Nevnte prosedyre anbefales derfor for bestemmelse av lastfordelingskoeffisienter for kalde masser. Det understrekes at erfaringsgrunnlaget med kalde masser foreløpig er begrenset, og at det er behov for flere forsøk.

6.4.4 Bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet

Bearbeidbarhet

Bearbeidbarheten er knyttet til fasen fra massen er produsert til den er lagt og beskriver hvor lett det er å håndtere massen ved produksjon eller transport og hvor lett den går gjennom utleggeren.

I AUT har en benyttet en gyrotorisk kompaktor av typen ICT for kompaktering av prøver. Med dette utstyret får en både densitet og skjærmodul G som funksjon av antall gyreringer. Arbeidshypotesen har vært at massens bearbeidbarhet kan vurderes ut fra kompakteringsgraden eller skjærmodulen G etter N_{mi} (10 rotasjoner):

- høy kompakteringsgrad eller liten G -verdi betyr god bearbeidbarhet
- lav kompakteringsgrad eller høy G betyr dårlig bearbeidbarhet

Høy kompakteringsgrad etter N_{mi} medfører at massen raskt oppnår god kompaktering. Liten skjærmotstand G er karakteristisk for masse som er lett å legge pga små indre friksjonskrefter. Masser med lav kompakteringsgrad eller høy G etter N_{mi} krever sannsynligvis tungt valseutstyr. Stor G indikerer også stor påkjenning på screeden i utleggeren pga. høy indre friksjon i massen.

I AUT har en kompaktet prøver av emulsjonsmasse med forskjellig sammensetning for å teste nevnte arbeidshypotese, se resultater i tabell 6.7. Følgende konklusjoner kan trekkes når det gjelder massens bearbeidbarhet vurdert ut fra kompakteringsgraden etter N_{mi} :

- Tett gradering gir bedre bearbeidbarhet enn åpen gradering
- Mye filler gir bedre bearbeidbarhet enn lite filler
- Økt bitumeninnhold gir bedre bearbeidbarhet
- Økt andel knust tilslag gir ikke signifikante forskjeller i bearbeidbarhet
- Mykt bitumen gir bedre bearbeidbarhet enn stivt bitumen

Når det gjelder bearbeidbarhet vurdert ut fra skjærmodul kan en trekke følgende konklusjoner:

- Åpen gradering gir bedre bearbeidbarhet enn tett gradering
- Det er ikke signifikante forskjeller i bearbeidbarhet for masser med lite og mye filler
- Økt bitumeninnhold gir bedre bearbeidbarhet
- Økt andel knust tilslag gir dårligere bearbeidbarhet
- Mykt bitumen gir bedre bearbeidbarhet enn stivt bitumen

Av vurderingene over ser en at det ikke alltid er samsvar mellom kriteriene kompakteringsgrad og skjærmodul. Kriteriet kompakteringsgrad erstatter derfor ikke kriteriet skjærmodul eller omvendt. Følgelig er kriteriene supplerende.

Tabell 6.7 Kompakteringsgrad og skjærmodul etter N=10

Parameter for variasjon	Verdi	Kompakteringsgrad etter N=10 (%)	Skjærmodul G etter N=10 (kN/m ²)
Gradering	Tett	84	40,1
	Åpen	78	35,9
Fillerinnhold	3 %	79	31,6
	10 %	83	32,8
Bitumeninnhold	1,5 %	76	55,4
	3,5 %	80	49,8
	4,5 %	84	52,9
	5,5 %	85	47,9
	6,5 %	89	41,2
Knusningsgrad	0 %	85	42,5
	100 %	84	52,9
Bindemiddelstivhet	B85	81	56,6
	B370	84	52,9
	MB3000	87	50,1

Kompakterbarhet

Kompakterbarheten er knyttet til valsingen, dvs. fasen fra massen er lagt til den er ferdig valset. Kompakterbarheten beskriver hvordan densiteten øker ved valsing.

Arbeidshypotesen i AUT er at kompakterbarheten kan vurderes ut fra forholdet

$N_{\text{design}}/N_{200}$ (se figur 6.22):

- Store verdier viser at det må mange rotasjoner til for å oppnå god kompaktering, dvs. tungt kompakterbar masse
- Liten verdi viser god kompakterbarhet

I tillegg kan kompakterbarheten også beskrives med stigningsforholdet på kompakteringskurven (tørr densitet - N):

- Stor helning viser god kompakterbarhet
- Liten helning viser dårlig kompakterbarhet

Tabell 6.8 viser resultater fra forsøk med gyrotorisk kompaktor og varierende massesammensetning. For å regne ut forholdet $N_{\text{design}}/N_{200}$ har en gått ut fra at densiteten i felten i gjennomsnitt tilsvarer 96 % av densiteten ved 200 gyreringer, se kap. 5.2.9. På bakgrunn av resultatene i tabell 6.8 kan en trekke følgende konklusjoner om kompakterbarheten ut fra forholdet $N_{\text{design}}/N_{200}$:

- Tett gradering gir bedre kompakterbarhet enn åpen gradering
- Det er ikke signifikante forskjeller i kompakterbarhet for masser med lite og mye filler
- Et bitumeninnhold på 6,5 % gir bedre kompakterbarhet enn bitumeninnhold i området 1,5 - 5,5 %
- Økt andel knust tilslag gir ikke signifikante forskjeller i kompakterbarhet
- Mykt bitumen gir bedre kompakterbarhet enn stivt bitumen

Når det gjelder kompakterbarhet vurdert ut fra skjærmodul kan en trekke følgende konklusjoner :

- Tett gradering gir bedre kompakterbarhet enn åpen gradering
- Masse med mye filler har bedre kompakterbarhet enn masse med lite filler
- Økt bitumeninnhold gir bedre kompakterbarhet
- Det er ikke signifikante forskjeller i kompakterbarhet for masse med 0 % og 100 % knust tilslag
- Mykt bitumen gir bedre kompakterbarhet enn stivt bitumen

Av vurderingene over ser en at det ikke alltid er samsvar mellom kriteriene. Det er derfor ikke slik at det ene kriteriet kan erstattes av det andre. Følgelig er kriteriene supplerende.

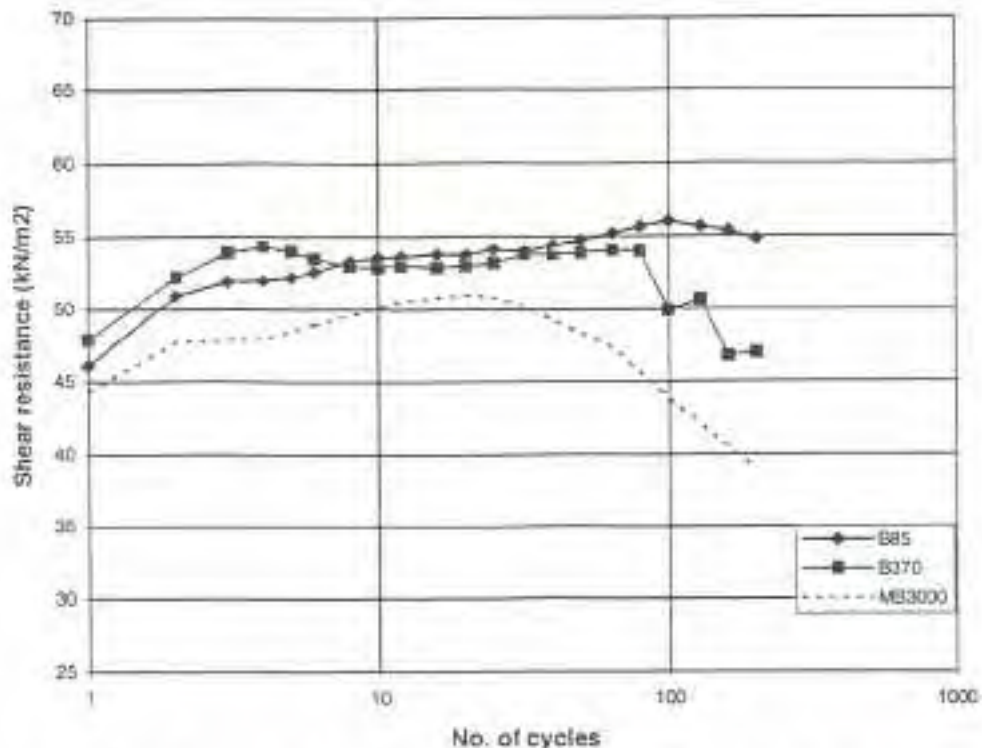
Tabell 6.8 Kompakterbarhet

Parameter for variasjon	Verdi	N_{design}	N_{design}/N_{200}	Helning på kompakteringskurven ved N_{design} (*1000)
Gradering	Tett	48	0,24	1,7
	Åpen	60	0,30	1,4
Fillerinnhold	3 %	54	0,27	1,4
	10 %	50	0,25	1,8
Bitumeninnhold	1,5 %	50	0,25	1,5
	3,5 %	50	0,25	1,7
	4,5 %	50	0,25	2,0
	5,5 %	47	0,24	1,9
	6,5 %	30	0,15	2,9
Knusningsgrad	0 %	48	0,24	1,8
	100 %	48	0,24	2,0
Bindemiddelstivhet	B85	62	0,31	1,6
	B370	48	0,24	2,0
	MB3000	34	0,17	2,3

Stabilitet

I AUT ønsket en også å undersøke om skjærmodulen i området etter N_{design} kan benyttes til å vurdere stabilitetsegenskapene for kalde masser. Arbeidshypotesen var som følger :

- Stigning eller utflating av kurveforløpet viser at massen er stabil (økende skjærmotstand ved økende kompaktering)
- Fall i kurveforløpet viser instabil masse (minkende skjærmotstand ved økt kompaktering)



Figur 6.28 Skjærmodul G for masser med forskjellige stivhet for bindemiddelet

6.4.5 Sammendrag

Gyratorisk kompaktor er et relativt nytt utstyr for tillaging av prøveklosser av bituminøse masser i laboratoriet. En av fordelene med utstyret er at gyratorprøvene har sammenlignbare egenskaper med prøver fra felten. I AUT har en benyttet et gyrator-utstyr av typen ICT for kompaktering av prøver. Dette utstyret gir både densitet og skjærmodul som funksjon av antall gyreringer.

Generelt sett var spredningen i densitetsverdier mellom parallelle prøver liten. På tross av dette fikk en ofte relativt stor spredning i skjærmodulen mellom de samme prøvene. I en del tilfeller var det også store forskjeller i skjærmodul mellom ulike testserier uten at en kunne finne noen logisk forklaring.

Ved kompaktering av prøver har en 3 sentrale verdier for antall gyreringer

- N_{mi} er antall gyreringer for å få en densitet tilsvarende den en har etter utleggeren (I SHRP- prosjektet brukes 7-11 gyreringer)
- N_{design} er antall gyreringer for å få den densiteten en har etter valsing
- N_{max} betraktes som den teoretisk maksimale densiteten en kan oppnå i felten uavhengig av valseutstyret (I SHRP prosjektet er $N_{max} = 200$)

I AUT har en brukt kompakteringsgraden og skjærmodul ved N_{mi} eller N_{design} til å vurdere massens bearbeidbarhet, kompakterbarhet og skjærstyrke, se nærmere forklaring av tolkningsprinsipper i kap. 6.4.1. Resultatene virker lovende. Dette gjelder spesielt bruk av skjærmodul for å vurdere stabilitetsegenskapene. Erfaringsgrunnlaget

foreløpig er imidlertid for lite til å trekke endelige konklusjoner. Det er derfor behov for flere forsøk.

I AUT har en kommet fram til at følgende innstilling av gyratorutstyret gir sammenlignbare densiteter med hva som oppnås i felten:

- Prøvestørrelse: 100 mm
- Arbeidstrykk: 600 kPa
- Gyratorvinkel: 1°
- Rotasjonshastighet: 30 omdreininger pr. minutt

Nevnte innstilling bør derfor benyttes ved proporsjonering av kalde masser, og følgende kompakteringsprosedyre anbefales (resultater fra kapittel 5.2):

- først kompakteres en prøveserie a minimum 3 prøver med 200 omdreininger
- deretter kompakteres en ny prøveserie a minimum 3 prøver til 96 % av densiteten ved 200 rotasjoner.

Sistnevnte prøveserie brukes for å bestemme indirekte strekkstyrke.

Erfaringsgrunnlaget med bruk av gyratorisk kompaktor er foreløpig svært begrenset. Det kan derfor være behov for å revidere nevnte prosedyre etter som datamaterialet blir større. En bør være spesielt oppmerksom på at kompakteringsprosedyren presentert i dette kapitlet er utviklet for emulsjonsmasse. Det kan derfor være at skumbitumenmasser krever en annen prosedyre.

7 Utvikling av emulsjonsteknologi

7.1 Generelt

I AUT arbeider vi med to tilnæringsmåter for å få informasjon om bitumenemulsjon. Den ene går ut på å benytte enkle testmetoder og empirisk erfaring for tilpassing og kontroll med produksjon og bruk av bitumenemulsjon. Den andre går ut på å etablere analytiske metoder for å øke forståelsen av emulsjonens fundamentale karakter og relatere disse til bruksegenskaper.

En innføring av analytiske metoder for testing av bitumenemulsjon vil gi større forståelse av de prosesser som er knyttet til anvendelsen av emulsjon og er en nødvendig forutsetning for å forbedre emulsjonsbaserte veibyggingmaterialer.

Følgende analytiske analysemetoder er undersøkt og utprøvet i AUT :

- Dråpestørrelsesfordelingen i emulsjon ved hjelp av laserdifferaksjonsmåling
- Bestemmelse av fri amin i vannfasen ved sentrifugering og titrering
- Testing av bitumen / vannfase - kombinasjoner med dråpetensiometer

I tillegg er analyse av Zetapotensial vurdert, men ikke utprøvet i prosjektet.

7.2 Dråpestørrelsesfordeling

7.2.1 Mål og hensikt

Ved produksjon og bruk av emulsjon kan det oppstå problemer eller variasjoner som er vanskelige å forklare ved hjelp av de ordinære testene vi vanligvis bruker. Emulsjonens egenskaper er blant annet avhengig av størrelsen på bitumendråpene. Det er derfor av stor betydning å kunne måle dråpestørrelsesfordelingen av bitumendråpene i en emulsjon. Viskositet er en av de egenskapene som er avhengig av dråpestørrelsesfordelingen. Emulsjonsteorien sier at jo mindre dråpene er desto høyere vil viskositeten bli. Hvilken dråpestørrelse som er ønskelig avhenger av bruksområdet, men normalt er størrelsesområdet 3µm - 10µm.

Når det gjelder lagringsstabilitet har dråpestørrelsen stor betydning. Store dråper forårsaker raskere sedimentasjon enn små dråper. Det er også en fordel at dråpene har jevn størrelse. Enkelte store dråper innimellom små vil kunne føre til flokkulasjon (sammenklumping) og begynnende brytning. Standardavviket (SD) i statistikkutskriften forteller om spredning av dråpestørrelsene.

Ved emulgering av bitumen ønsker man at mest mulig av emulgatoren binder seg til bitumendråpens overflate. For å oppnå høyest mulig flateareal er det derfor ønskelig med et stort antall små dråper, se kapittel 7.3 "Bestemmelse av fri amin i vannfase".

Ved hjelp av et laserdiffraksjons utstyr kan dråpestørrelsen måles på en enkel og rask måte. For å få utført denne testen måtte vi før sende prøvene til laboratorier i utlandet. Dette var tungvindt og tidkrevende, og det ble derfor bestemt å kjøpe inn et slikt

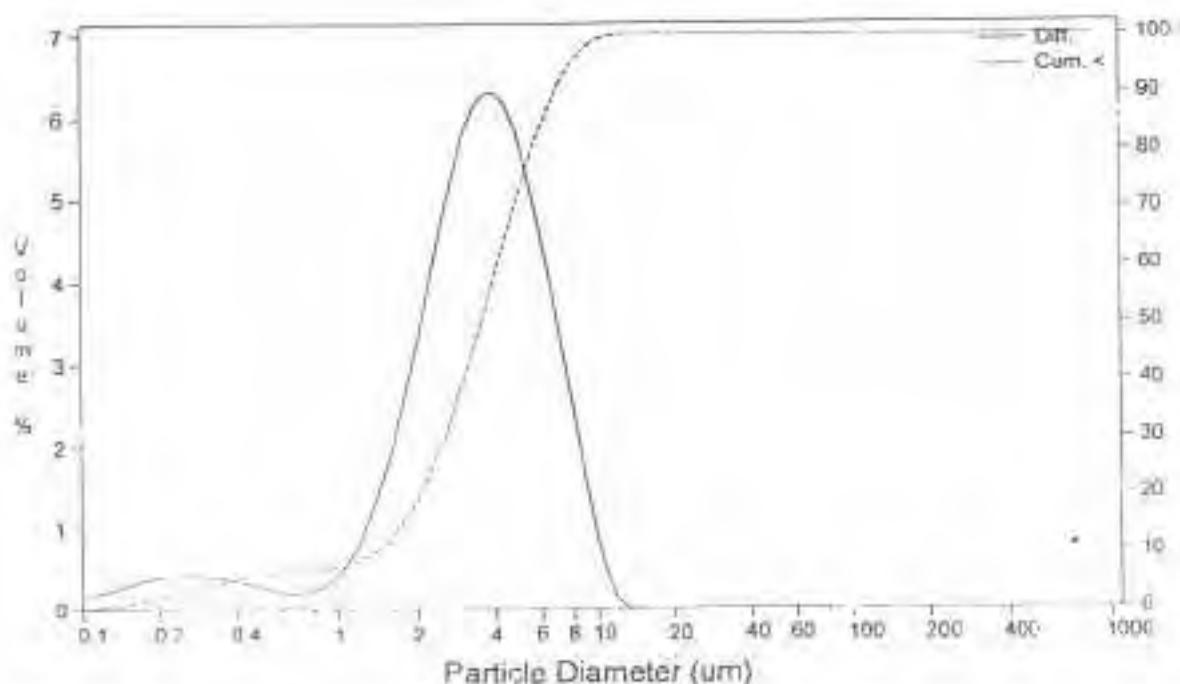
instrument for å kunne følge opp emulsjonen fortløpende. Det finnes flere ulike instrumenter på markedet. I AUT valgte vi å kjøpe et instrument av typen Coulter LS 130.

Instrumentet kan også brukes til å finne kornfordelingskurve på filler materiale. Her måtte vi før utføre en slemmeanalyse (hydrometeranalyse) som tar ett til to døgn. På Coulter LS 130 får vi resultatet etter noen minutter.

7.2.2 Beskrivelse av metoden

Coulter LS 130 kan måle størrelsen på partikler i området 0,1 til 900 mikrometer (μm). Instrumentet er automatisert, og alle funksjoner er PC-styrt. Det er ikke nødvendig med store prøvemengder, noen få gram er nok. Det finnes flere måter å mate prøven inn i instrumentet på. På vårt instrument er det en vannmodul. Prøven løses opp i en vannbeholder og pumpes automatisk inn i instrumentet forbi en laserstråle.

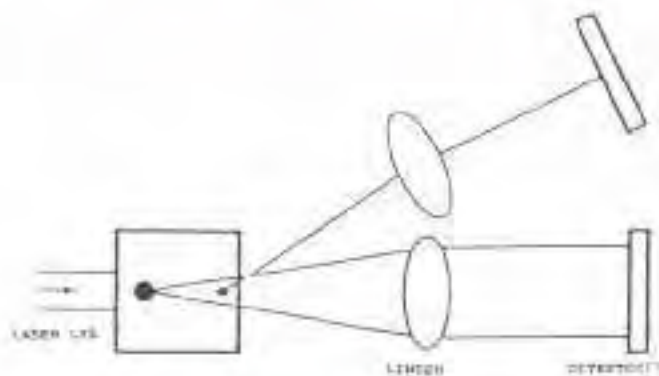
Partikler av ulik størrelse bryter lyset i forskjellige vinkler, og lysspredningen blir fanget opp på forskjellige detektorer inne i instrumentet. Hvilke detektorer lyset treffer og lysintensiteten gjenspeiler partikkelstørrelse og konsentrasjon. Programvaren behandler rådata fra målingene og gir oss kurver og tabeller som viser størrelsesfordeling på partiklene uttrykt i volumprosent av total prøve. Figur 7.1 viser to kurver som gir partikkelstørrelsesfordelingen (μm) uttrykt i volumprosent av total prøve. Den ene kurven er kumulativ, mens den andre viser differensiell mengde for hver enkelt størrelse. Instrumentet kontrolleres med standardmaterialer som fås av instrumentleverandøren.



Figur 7.1 Dråpestørrelsesfordeling bitumenemulsjon

7.2.3 Teoriutdyping

Størrelsesmåling ved hjelp av laserdiffraksjon bygger på prinsippet om at ulike partikler bøyer av lyset forskjellig når de blir truffet av en lysstråle. De små partiklene vil bøye av lyset i en stor vinkel, mens de store partiklene vil bøye av lyset i mindre vinkler. Laserlyset er en lysstråle der alle strålene går parallelt og har samme bølgelengde. Laserlyset i Coulter LS 130 har en bølgelengde på 750 nm. Når laserlyset treffer en partikkel vil denne bøye av lyset i bestemte vinkler avhengig av partikkelstørrelsen, se figur 7.2



Figur 7.2 Laserdiffraksjonsinstrument

Innebygd i instrumentet sitter det 130 detektorer som fanger opp lyset i de forskjellige vinklene. Ut i fra hvilken detektor lyset treffer kan instrumentet fastslå nøyaktig diameter på partikkelen. Alle partikler med samme diameter treffer samme detektor. Lysintensiteten kan derfor angi konsentrasjonen av partikler med denne diameteren.

Teorien bygger på en del forutsetninger:

- alle partiklene er sfæriske
- alle partiklene er total absorberende (helt svarte og ugjennomskinnelige)
- diameteren på partiklene er minst 5 ganger større enn bølgelengden på laserlyset

Avvik fra disse forutsetningene vil nesten alltid oppstå, og man må ta dette i betraktning ved vurdering av resultater. Det er helst ved måling av små partikler (< 10µm) at det oppstår usikkerheter. Man kan eliminere en del av usikkerheten ved å legge inn forskjellige optiske modeller etter hvilket materiale man tester. De optiske modellene justerer for materialets gjennomskinnelighet og materialets lysbrytende evne. Det man ikke kan justere for er partiklenes kornform.

Fordelen ved testing av bitumendråper er at disse er tilnærmet sfæriske og nesten ugjennomskinnelige. Ved testing av fillermateriale kan det oppstå usikkerheter i måleresultatet hvis partiklene for eksempel er svært flisige. Utdypende teori kan fås av instrument leverandør /11/

7.2.4 Erfaring med metoden i AUT

Innkjøp av utstyr og opplæring ble utført i oktober 1994. Det er utarbeidet egen metodebeskrivelse. Metoden har blitt brukt til testing av både emulsjon og filler-materiale. Instrumentet er lett å bruke, og man får resultatene raskt. Det ser ut til å være god reproduserbarhet på prøveresultatene. Vi har hatt mulighet til å følge opp produktene på en helt ny måte.

Emulsjonsteorien tilsier at det er sammenheng mellom dråpestørrelser og viskositet. For å prøve ut dette har vi testet viskositet og dråpestørrelser på en del emulsjoner. Ut fra våre testresultater kunne vi ikke finne denne sammenhengen. Det er sannsynligvis andre parametre som har påvirket viskositeten mer enn dråpestørrelsen (for eksempel bitumeninnholdet). For å komme fram til sikre resultater må man teste et større antall emulsjoner og benytte kjemometrisk analysemetodikk for å tolke dataene.

7.2.5 Anvendelse av resultater

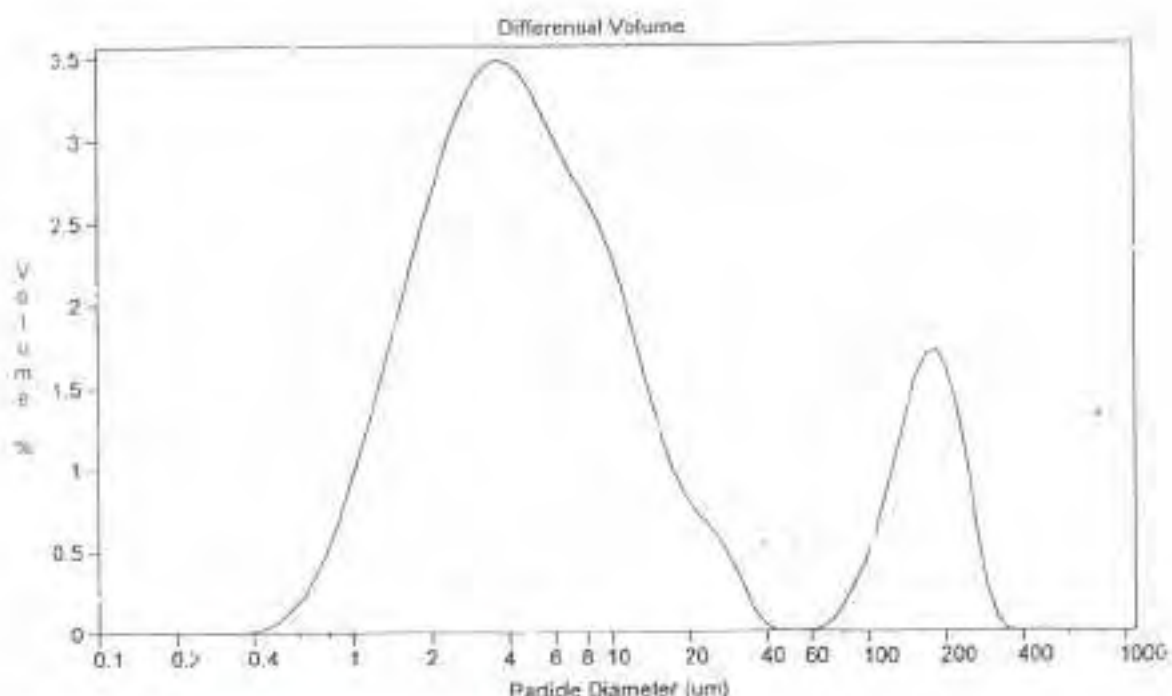
Testing av dråpestørrelsesfordeling kan benyttes som en del av produksjonskontrollen. Ved å teste emulsjonene med jevne mellomrom gjennom hele sesongen kan man se om dråpestørrelsen endres. Får man større dråper etter hvert, kan dette tyde på slitasje i mølla eller at denne ikke er riktig innstilt.

Man kan etter hvert lage en "erfaringsbank" med resultater fra de mest produserte emulsjonene.

Ved bytte av bitumenleverandør eller råolje (crude) kan man sammenligne dråpestørrelser med det man har hatt før for å vurdere om bitumenet egner seg for emulsjonsproduksjon eller om man må justere resepten.

Har man problemer med lagringsstabiliteten kan man teste dråpestørrelsene for å se om emulsjonen inneholder store dråper som forårsaker sedimentasjon eller flokkulasjon. Figur 7.3 viser en emulsjon som inneholder en del store dråper ($> 40\mu\text{m}$).

Dråpestørrelsen er en meget viktig parameter ved testing av emulsjonens egenskaper og kan også kombineres med andre analyser. Analysing av dråpestørrelsen er et betydningsfullt hjelpemiddel ikke bare ved utvikling av nye produksjonsresepter, men også ved problemløsning når det har oppstått tvil om emulsjonens kvalitet.



Figur 7.3 Dråpefordelingsanalyse emulsjon med store dråper

7.2.6 Alternative utstyr / prinsipper

Når det gjelder testing av dråpestørrelser i emulsjon finnes det ingen enkle, rimelige metoder som alternativ til mer avanserte instrumenter for å få pålitelige resultater. To leverandører av måleinstrumenter er Malvern og Coulter. Disse har begge flere instrumenter å velge mellom. Det er to hovedtyper for måleprinsipper. Det ene er størrelsesmåling ved hjelp av laserdiffraksjon, og det andre er måling ved hjelp av partikkeltelling. Ved partikkeltelling vandrer partiklene i et elektrisk felt forbi en sensor. Ved sensoren registreres det væskevolum som partikkelen fortrenger. Fortrengt væskevolum blir målt som en elektrisk puls. Styrken på pulsen angir dråpestørrelsen.

Det finnes også instrumenter som måler både partikkelstørrelse og Zeta potensiale. (Zeta potensiale, se kapittel 7.5.)

Når det gjelder kornkurve på filler materiale kan slemmeanalyse (hydrometeranalyse) være et billig alternativ. Metoden er imidlertid tidkrevende. Forsøk som er utført ved Icopals sentrallaboratorium viser at det er god overensstemmelse mellom resultater fra slemmeanalyse og fra Coulteranalyse (se tabell 7.1).

Tabell 7.1 Sammenlikning filler analysert ved hjelp av slemmeanalyse og Coulter

Slemmeanalyse		Coulteranalyse	
%	µm	%	µm
71,2	54,3	67,5	53,5
63,2	43,7	59,7	44,6
53,4	34,0	49,5	33,9
39,6	24,3	38,8	23,5
21,8	12,6	25,0	12,5
19,8	9,2	20,2	9,5
13,8	6,8	13,9	6,0
8	3,5	8,1	3,5
2	1,4	1,3	1,4

7.3 Bestemmelse av fri amin i vannfase

7.3.1 Generelt

En analysemetode for å kunne bestemme emulgatorfordelingen mellom bitumen og vannfase i en emulsjon, CAT (Centrifugation and Amin Titration), er lansert av Esso /12/. Esso rapporterte at emulsjonens brytnings- og vedheftsegenskaper bedre kunne forklares ved hjelp av dråpestørrelsesfordeling og fordeling av emulgator i vann/bitumenfase.

7.3.2 Beskrivelse av metoden

Metoden består av to trinn :

- 1) Separasjon av bitumenemulsjon i vann- og bitumenfase ved high-speed sentrifugering
- 2) Vannfasen titreres med natriumhydroksid og amininnholdet bestemmes ved hjelp av standardkurve.

Figur 7.4 viser hvordan metoden utføres. Til sentrifugeringen benyttes 50 ml sentrifugerør. Sentrifugeringen blir utført ved 17.000 rpm (20.000 G) og 40°C i 2 timer.

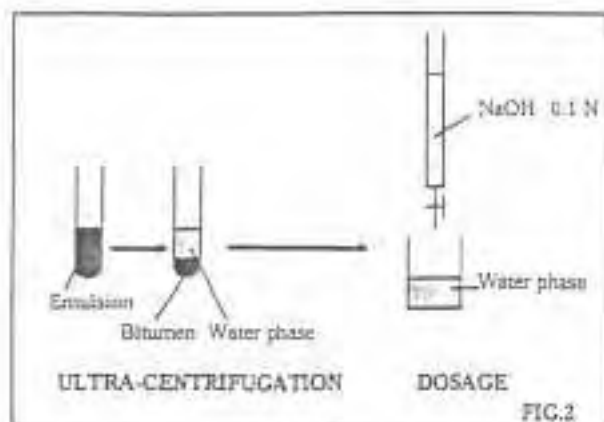
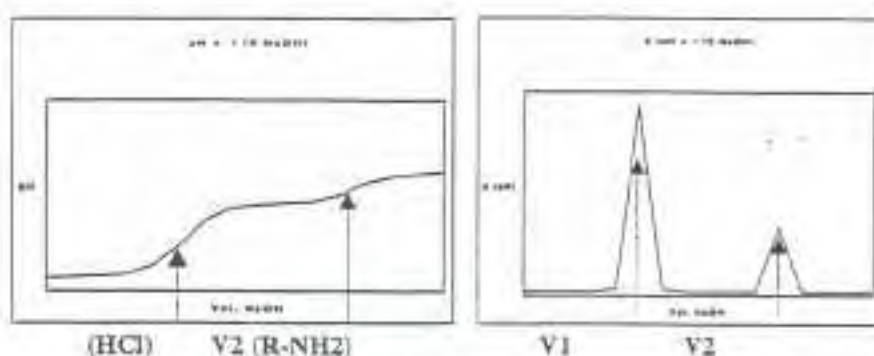


fig. 2



Figur 7.4 CAT-bestemmelse av fri amin, beskrivelse av metode /13/

7.3.3 Teori

Siden fri amin bestemmelsen blir brukt til å forklare emulsjonsegenskaper, er det en forutsetning at likevekten ikke forkyves under separasjonen. Av den grunn ønsker man ikke å tilsette kjemikalier/fortynningsmidler som kan lette separasjonen. I tillegg utføres sentrifugeringen ved 40°C for å unngå utfelling av amin.

Emulgatorer av diamin-typen inneholder én NH_2 gruppe, som kalles fri amin. Ved tilsetning av saltsyre protoniseres den til $-\text{NH}_3^+$. Ved titrering med basen natriumhydroksyd vil den sure emulgatorløsningen nøytraliseres, og en får ett ekvivalenspunkt som tilsvarer mengden saltsyre og ett ekvivalenspunkt som tilsvarer mengde fri amin. Ved beregning av ekvivalent mengde $-\text{NH}_2$ i mol finnes mengde fri amin direkte i gram.

Standardkurve lages ved å titrere forskjellige konsentrasjoner av den benyttede emulgatoren. Konsentrasjonen av emulgator i g/l i den separerte vannfasen finnes ved å sammenholde titerverdien for fri amin med standardkurven.

Ved titrering med 0,1N NaOH bestemmes først omslaget for saltsyre, HCl (V_1) og deretter for fri amin (V_2). Med titervolumet for fri amin ($V_2 - V_1$) finnes konsentrasjon emulgator fra standardkurven (g/l), som er laget med kjente konsentrasjoner av aktuell emulgator.

Jo mindre bitumendråpene er, desto større spesifikt overflateareal har de. Stort overflateareal letter overføringen av emulgator fra vannfase til bitumenfase i produksjonsprosessen (emulsjonsmålla).

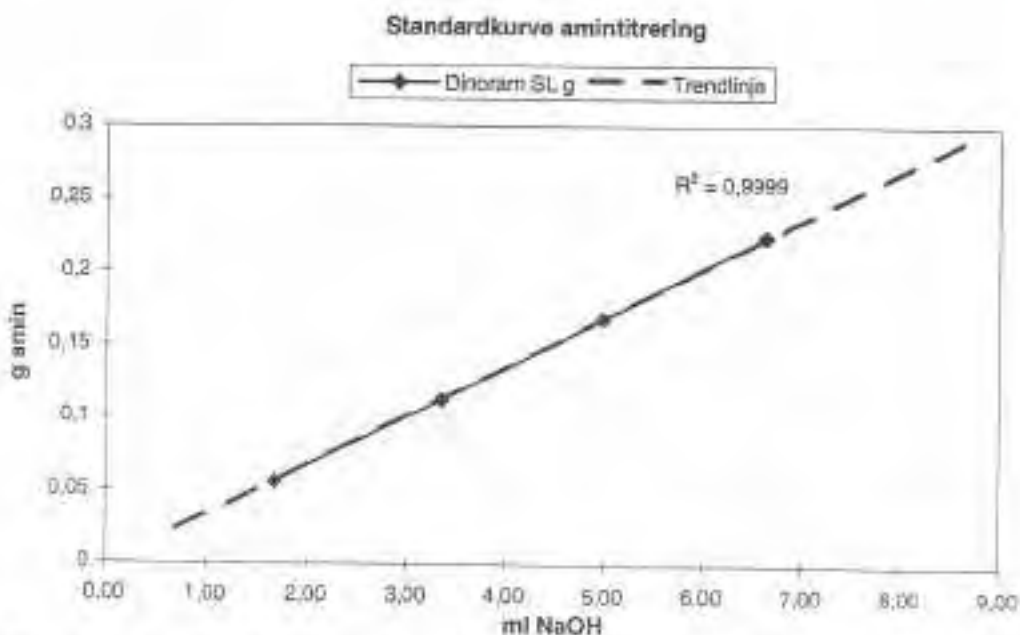
Fra Coulteranalysen (se kap. 7.1) fås spesifikt overflateareal for bitumendråpene i emulsjonen. Dette uttrykkes som SSA (Specific Surface Area). Av fri amin konsentrasjonen A og spesifikt overflateareal for bitumendråpene, SSA, får vi bitumendråpenes aminkonsentrasjon A_0 , under forutsetning av likevekt mellom vannfase og bitumen, $A = A_0$.

7.3.4 Erfaringer med metoden i AUT

I AUT ble det sendt emulsjonsprøver til Essos FoU-laboratorium i Rouen for analyse. En high-speed sentrifuge (Beckmann Avanti J-25) og et laserdiffraksjonsinstrument (Coulter LS 130) er innkjøpt i AUT. Veglaboratoriet har utstyr for titrering av emulgatorløsning (Metrohm 716).

Når det benyttes stivt bitumen (f.eks. B 180) blir vannfasen liggende øverst i sentrifugerøret. I Norge hvor vi også benytter myke bindemidler (f.eks. MB 3000), vil disse bli liggende øverst i sentrifugerøret, pga. lav densitet. Det må derfor benyttes en spesiell teknikk for å ta ut "uforstyrret" vannfase.

Metoden vil bli utprøvet og benyttet til forsøk i 1997. Vi håper at det nye verktøyet vil komme til nytte i fremtidig utvikling av bitumenemulsjon i Norge.



Figur 7.5 Standardkurve emulsjonskonsentrasjon ved titrering med 0,1N NaOH.

7.4 Dråpetensiometer

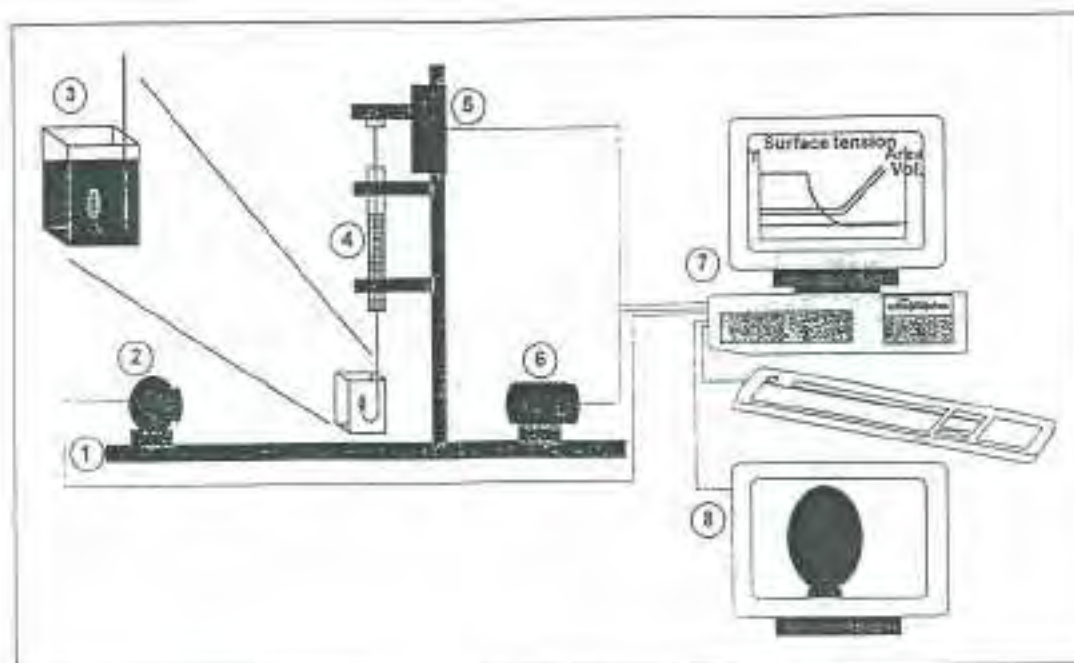
7.4.1 Generelt

Dråpetensiometer måler overflatespenningen på en bitumendråpe i en vannfase. Målingen foretas ved omkring 90°C , som tilsvarer produksjonstemperaturen for bitumenemulsjon.

Shell har foretatt undersøkelser med dråpetensiometer i den hensikt å finne frem til en metode for å teste bitumen til emulgering, uten først å måtte emulgere bitumenet. Vanlige analysemetoder for bitumen gir liten informasjon om hvordan bitumenet vil opptre i en emulsjon. Testing på grenseflaten mellom bitumen og vannfase med dråpetensiometer har gitt interessante resultater /14/.

I.T.Concept (Frankrike) er produsent av dråpetensiometeret og har medvirket i de undersøkelser som Shell har foretatt (*Cagne, Esposito*). I.T.Concept har undersøkt bitumen og vannfaser fra Icopal (AUT) og avholdt et seminar på Veglaboratoriet om teorien som ligger til grunn for målingene (*Delorme*). Den teoretiske terskelen for forståelse er høy, og kunnskaper i fysikalsk kjemi (termodynamikk) er en forutsetning for å kunne vurdere metoden.

I AUT har vi ikke hatt en konkret målsetning for vurdering av hva dråpetensiometeret kan gi oss av informasjon. Vi har vært søkende i erkjennelsen av at vi trenger nye verktøy for en videre utvikling av emulsjonsteknologien. En grundigere gjennomgang er beskrevet i AUT fagrapport "Emulsjonsteknologi" /15/



Figur 7.6 : Dråpetensiometer

- 1) stativ, 2) lyskilde 3) væskekommer for dråpen 4) doseringssprøyte
- 5) motor for doseringssprøyte 6) CCD kamera 7) PC 8) monitor

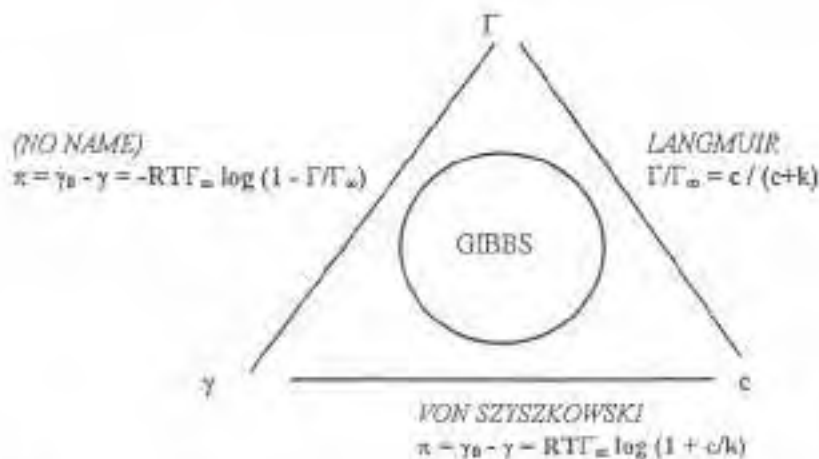
7.4.2 Måleprinsipp

I undersøkelsen er det benyttet et dråpetensiometer, type DTA 300, hos I.T. Concept til å bestemme overflatespenningen på en bitumendråpe i vannfase. Overflatespenningen er beregnet ut fra billedanalyse av dråpens form og utledet ved hjelp av Laplace likning. Omrisset av dråpen blir analysert ved hjelp av et CCD kamera og et PC program.

En bitumendråpe lages ved hjelp av en PC styrt sprøyte. Dråpen dannes i et væskeskammer. Tre parametre er essensielle: konsentrasjon av emulgator på dråpeoverflaten Γ , overflatespenningen γ , og konsentrasjonen av emulgator i vannfasen c . Ved hjelp av dråpetensiometeret kan vi måle γ . Startkonsentrasjonen i vannfasen er kjent eller kan eventuelt måles ved hjelp av titrering. Ut i fra γ og c kan Γ beregnes, se figur 7.7. Flere ganger pr. sekund beregnes dråpens areal, volum og overflatespenningen γ .

Det er mulig å la dråpen pulsere, dvs. kontrollert endring i dråpens volum. På denne måten kan dråpetensiometeret benyttes til å bestemme reologiske egenskaper hos bitumendråpen.

En bitumenemulsjons egenskaper er delvis bestemt av overflateegenskapene mellom bitumen og vannfasen. Disse egenskapene er sterkt påvirket av type og mengde emulgator som er benyttet, men også av type bitumen (crude og produksjonsmetode). Det er spesielt molekyler med syre-base grupper som påvirker overflateegenskapene, både mengden av disse gruppene og deres evne til å migrere til overflaten av bitumendråpen.



Remind:

$$\text{GIBBS} \rightarrow \Gamma = - (1/RT) d\gamma/d\log c$$

Figur 7.7 Von Szyszkowski / Langmuir (Adsorpsjons isothermer for ideelle system)

7.4.3 Analyseresultater

I rapporten utarbeidet av Shell og I.T.Concept /14/, fremgår det at for alle bitumener som er testet, avtar overflatespenningen over tid når bitumendråpen er i kontakt med surt vann ved 90°C. Etter en del timer nås likevekt. Denne endringen indikerer at polariteten på bitumenoverflaten øker på grunn av migrasjon av polare molekyler (syre-base grupper). Migrasjonen skjer langsomt. Dette forklarer en del av den endringen som skjer i bitumenemulsjonen de første timene etter produksjon, økning i viskositet, brytningsindeks, etc. (saltinnhold i bitumen kan være en annen årsak).

Tabell 7.2 viser overflatespenning på bitumendråper i vannfase. Verdiene er hentet fra undersøkelse utført av I.T.Concept på innsendte prøver fra Icopal. Ut fra resultatene er det ikke mulig å se noen forskjell mellom de ulike vannfasene, men bitumen 2 skiller seg fra bitumen 1 og 3.

Tabell 7.2 Måling av overflatespenning på bitumen-vannfase systemer

	Vannfase A	Vannfase B	Vannfase C
Bitumen 1	9,8	10,7	9,8
Bitumen 2	17,9	16,0	16,3
Bitumen 3	10,7	9,6	11,2

I AUT er 9 kombinasjoner testet, 3 bitumen og 3 vannfaser, og testplan var som følger:

- A) Måling av overflatespenning mot tid
- B) Bestemmelse av overflate trykk (π) mot overflate konsentrasjon av emulgator (Γ) (Adsorpsjons isotherm)
- C) Med utgangspunkt i B, bestemmelse av C.1) Gibb's overflateelastisitet og C.2) diffusjonskoeffisienten til emulgatoren.

Kurvene i disse undersøkelsene passer von Szyszkowski lov for emulgatorkonsentrasjoner opp til ca. 0,3 g/l, som er nær metning. Over denne konsentrasjonen vil avvik fra loven sannsynligvis skyldes påvirkning fra de elektriske ladningene på emulgator-molekylene.

Gibbs overflateelastisitet E og diffusjonskoeffisienten D, er parametre som påvirker dannelsen av dråper og størrelsen på disse, ved emulgering. Jo høyere E og D, desto mindre dråper. D er ikke regnet ut i dette forsøket da molekylvekten for emulgatoren ikke var oppgitt.

7.4.4 Anvendelse av resultater

Det synes vanskelig å tolke hva tallverdiene for overflatespenning for en vannfase / bitumendråpe uttrykker. Det er mulig slike målinger kan benyttes til kvalitetskontroll av bitumen i forbindelse med levering til emulsjonsproduksjon.

Det er mulig å måle hvordan en emulgator gir forskjellig endring i overflatespenningen hos forskjellige bitumen. Hvis emulgator X gir lavere overflatespenning enn Y ved bruk av et bitumen, kan forholdet være motsatt ved bruk av et annet. Metoden kan således benyttes til å finne optimale bitumen-emulgator kombinasjoner, og til å vurdere bitumenets egnethet for emulgering.

Shell ønsker å benytte metoden til å forutsi emulsjonens egenskaper ved hjelp av dråpetensiometeret uten å produsere emulsjonen. Dråpetensiometeret gir en indikasjon på bitumen-emulgatorkombinasjonens potensiale for å produsere en emulsjon med små dråper. Dråpestørrelsen påvirkes av produksjonsutstyret som benyttes.

Det er mulig å måle konsentrasjonen på bitumendråpen, som har kjent areal, ved hjelp av dråpetensiometer. Kombinert med resultatet fra laserdifferaksjonsmålinger kan det være mulig å fastslå emulgatorfordelingen i emulsjonen, som et alternativ til sentrifugering og titrering.

Det kan være mulig å "se" når bitumendråpen, med kjent areal, ikke tar opp mer emulgator. Kombinert med resultatet fra laserdifferaksjonsmålinger kan det være mulig å beregne riktig konsentrasjon av emulgator.

7.5 Zetapotensiale

7.5.1 Mål og hensikt

Ved produksjon av bitumenemulsjon blir det brukt forskjellige typer og mengder aminer som emulgatorer. Emulgatorens oppgave er bl.a. å gi bitumendråpene en ladning på overflaten slik at de holder seg stabile og at emulsjonen ikke bryter før vi ønsker det. Ladningene på overflaten fører til at hver dråpe omgis av et ladningsfelt. Forskjellige emulgatorer gir forskjellige ladningstettheter på dråpeoverflaten og er med på å gi emulsjonene forskjellige karakterer, særlig med tanke på brytningsforløp og vedheftsegenskaper. Ved å måle zetapotensiale kan man finne et mål for dråpenes ladninger, og på grunnlag av dette si noe om emulsjonens bruksegenskaper. Dette kan være nyttig ved tilpassing av emulsjoner og valg av emulgatorer.

7.5.2 Beskrivelse av metoden

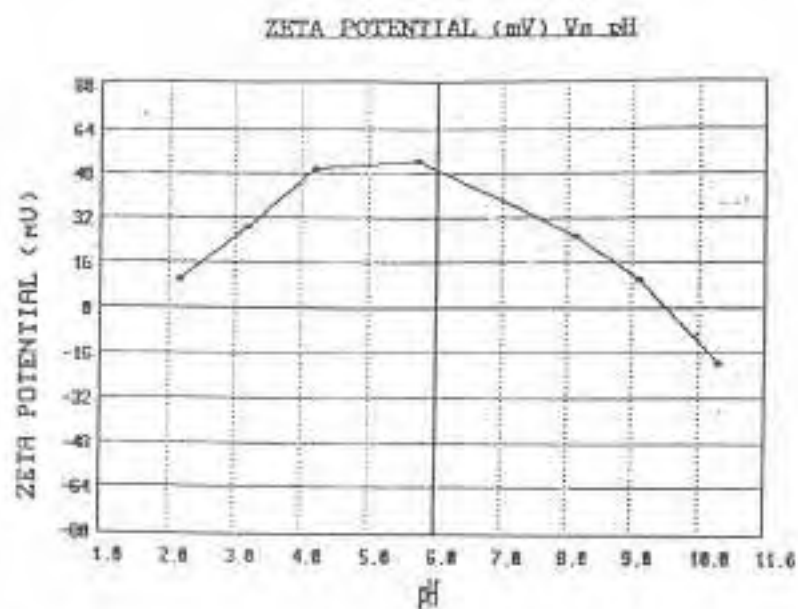
Emulsjonsprøven prepareres ved å fortynne den i vann. Noen dråper emulsjon i 0,5 l vann er nok. Prøve helles i en liten glasscelle hvor det senkes ned to elektroder. Når strømmen settes på beveger partiklene seg mellom elektrodene. Hver partikkel (dråpe) har et kraftfelt rundt seg, og styrken på dette kraftfeltet bestemmer hastigheten på partikkelen. Zetapotensialet bestemmes ut fra hastigheten på partikkelen.

Pga. den høye fortynningen beveger partiklene seg fritt i forhold til hverandre. Det kan foretas målinger mens man stadig endrer pH verdien i prøven. Dette er for å undersøke hvordan bitumendråpenes ladningsstyrke vil endre seg når pH i emulsjonen varieres.

Resultatet oppgis i mV. Figur 7.8 viser hvordan Zetapotensiale forandrer seg med økende pH i en bestemt emulsjon.

7.5.3 Teoriutdyping

Alle partikler i et medium omgis av et ladningsfelt. Bestemmelse av Zeta potensiale innebærer bestemmelse av det elektriske potensiale i grenseflaten mellom partikkelens ladningsfelt og væsken som partikkelen omgis av, se fig. 7.9.



Figur 7.8 Zetapotensialet ved forskjellig pH-verdier



Figur 7.9 Zetapotensiale for en partikkel

Målingen skjer vanligvis ved såkalt ELS (Electrophoretic Light Scattering). Dette er en bevegesmåling av partikler som beveger seg forbi en lyskilde i et elektrisk felt. ELS teknikken måler hastigheten ved å analysere Doppler effekten som oppstår når laserlys blir reflektert fra en partikkel i bevegelse. Partikkelens bevegelsesmønster og hastighet avhenger av ladningsstyrken den omgir seg med. Ut fra disse opplysningene beregner instrumentet partikkelens Zetapotensiale.

Generelt kan sies at i et system der partiklene har et høyt Zetapotensiale vil det være høy stabilitet. Partiklene vil frastøte hverandre og holde seg i bevegelse i motsetning til i et system hvor partiklene har lavt potensiale. Her vil det være fare for sammenklumping, og for en emulsjon vil det si begynnende brytning. Mer utførlig teoriutdyping kan fås hos leverandør av måleinstrumentene.

7.5.4 Erfaring med metoden i AUT

Metoden har ikke vært brukt direkte i AUT. Det har vært innhentet opplysninger om metoden i forbindelse med studietur til AkzoNobels laboratorier i England. Vi har ikke utstyr til å utføre analysen selv, men prøver har blitt sendt til Akzo Nobel for testing. Vi har en del resultater, men mangler fremdeles kunnskaper og erfaring for å kunne tolke resultatene.

I forbindelse med studietur til Esso i Frankrike (MSA) spurte vi om deres erfaringer med metoden. De har hatt den i bruk, men etter enn tid bestemte de seg for å avslutte testingen og kvitte seg med utstyret. Begrunnelsen var bl.a. at emulsjonsdråpene er så forskjellige både i størrelse og ladningstetthet i de ulike emulsjonene at det vil være vanskelig å sammenligne resultatene. Det var vanskelig å få reproducerbare resultater. Før testingen blir emulsjonen sterkt fortynnet. De mener at dråpene ble tatt ut av sitt naturlige miljø, og testresultatene blir derfor ikke riktige i forhold til situasjonen i den opprinnelige emulsjonen.

8 Konklusjoner

I Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (AUT) har et av delmålene vært å sikre god overenstemmelse mellom laboratorieresultater og forhold i felt. Hele mixdesign prosessen for kaldasfalt, fra vurdering av tilslag til testing av materialegenskaper, er gjennomgått. Det er hovedsaklig benyttet emulsjonsmasser i de undersøkelser som er foretatt i laboratoriet og i felten. Noen av de metodene som har vært benyttet til proporsjonering av kaldasfalt er testet og verifisert, andre er forbedret. En del nye metoder er tatt i bruk, for eksempel bearbeidbarhetstest og gyratorisk kompaktering.

I AUT er også analytiske metoder for bitumenemulsjon undersøkt i den hensikt å etablere bedre verktøy for å øke forståelsen av hvordan emulsjoner virker.

Arbeidet som er utført er omfattende og grundig på noen områder og mer overfladiske på andre. I det følgende vil de enkelte kapitler i denne rapporten bli kommentert.

Tilslagsmaterialer

Viktigheten av korrekt prøveuttak presiseres. Dersom prøven av tilslagsmaterialet som legges til grunn for mixdesign er lite representativ for materialet som helhet vil det arbeidet som utføres i laboratoriet være av liten verdi. I AUT er det lagt vekt på å bevare naturlig fuktighet og eventuelt belegg på grovfraksjon. Det er foretatt undersøkelser av tilslagsmaterialets reaktivitet. Resultatene viser at nyknust materialet er mer reaktivt enn materiale som er lagret i noen dager. Av den grunn anbefales det at tilslagsmaterialet knuses noen uker før produksjon av kaldasfalt starter.

Valg av massetype og bindemiddelttype

Valg av massetype og bindemiddelttype er basert på generelle erfaringer. Det fremkommer ingen nye konklusjoner. I AUT er det produsert og lagt ut slitelag av emulsjonsmasse og skumbitumenmasse med godt resultat. En har vært spesielt opptatt av homogenitet, bearbeidbarhet og jevnhet på ferdig dekke. For nærmere informasjon henvises til AUT temarapport "Produksjon".

Valg og tilpassing av emulsjon

I forbindelse med tilpassing av emulsjon til tilslaget har en vært opptatt av å ta vare på tilslagets naturlige tilstand, samt og utarbeide gode vurderingskriterier for omhylling, vedheft og bearbeidbarhet (brytningforløpet og kohesjonsoppbygging).

Proporsjonering

I AUT er det gjort omfattende sammenlikningsforsøk mellom laboratorium og felt når det gjelder blanding av masse og tillaging av prøver, både med statisk presse og gyratorisk kompaktor. Kondisjoneringsforsøk er foretatt med den konklusjon at en bør holde fast ved standardprosedyren som er benyttet, lagring i varmeskap ved 40 °C i 7 døgn, med påfølgende 8 fryse/tine sykler. Praktiske erfaringer i prosjektet tilsier at riktig valg av vanninnhold i tilslaget er av avgjørende betydning og følgelig en viktig del av proporsjoneringen. Forsøk viser at magre masser har en reduksjon av lastfordelingskoeffisient etter fryse-tine sykler, mens det ikke er signifikante forskjeller ved høyere bitumeninnhold.

To typer utstyr for vurdering av massens bearbeidbarhet er utprøvd, Nynäs Workability Test og gyratorisk kompaktor (ICT). Nynäs Workability Test er best egnet for produktutvikling. Når ICT benyttes til proporsjonering og prøvetillaging, gir tolkning av data verdifull tilleggsinformasjon om massens bearbeidbarhet.

En ny avrenningstest for emulsjonsmasse er utviklet for bedre å simulere hva som skjer i felt.

I AUT er det utviklet en metode (piggskive) for bedømmelse av initialstyrken til kaldasfaltdekke i felt. Akzo Nobel har med grunnlag i denne metoden laget en laboratoriemetode som bygger på samme prinsipper.

Egenskaper for kaldmasse

Det er foretatt omfattende undersøkelser av kaldasfaltens egenskaper. Disse undersøkelsene gjelder spesielt emulsjonsmasse. Mange av undersøkelsene er foretatt ved Sintef.

Utmatningsforsøk viser at lavt bitumeninnhold (3,5%) gir vesentlig lavere utmatningsstyrke enn høyere bitumeninnhold (4,5%). I AUT har en konkludert med at et forholdsvis høyt bitumeninnhold bør veiges for å øke bestandigheten, selv om krav til lastfordelingskoeffisienten blir oppfylt for et lavere bitumeninnhold.

Forsøk med dynamisk treaksialprøving og spaltetrekk har gitt økt kunnskap om materialoppførsel for kaldasfalt (emulsjonsmasse) både i elastisk og plastisk område. Sammenlikning mellom treaksialforsøk og spaltetrekk, som normalt benyttes ved proporsjonering, verifiserer at de formler som benyttes i dimensjoneringsnivå 2 i håndbok 018 stemmer rimelig godt for emulsjonsmasser. Dette formelverket bygger på tidligere undersøkelser av varm asfalt, men benyttes i praksis oftere på kaldasfalt.

Hulrommet i en kaldasfalt er forskjellig fra hulrommet i varmasfalt. Dette skyldes tilstedeværelsen av vann i kaldasfalten. Undersøkelser av hulrommets utforming er foretatt ved hjelp av mikroskopanalyse. Det er flere mindre luftporer i kaldasfalt, mens det er få og store luftporer i varmasfalt med samme hulromsprosent.

Det er utarbeidet forslag til metode for bruk av gyratorisk kompaktor til proporsjonering av kaldasfalt. Dette utstyret gir både densitet og skjærmodul som funksjon av antall gyreringer (rotasjoner). Tolkingsforslag er gitt for egenskapene bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet.

Utvikling av emulsjonsteknologi

I AUT er det arbeidet med to tilnæringsmåter for å få informasjon om bitumenemulsjon. Den ene er bruk av enkle empiriske tester for praktisk bruk ved mixdesign og kvalitetsoppfølging. Den andre går ut på å etablere analytiske metoder for bruk i utviklingsarbeid. Tre analysemetoder er vurdert og utprøvd i prosjektet. Disse er laserdiffraksjonsmåling av dråpefordeling, sentrifugering og titrering for bestemmelse av fri amin i vannfasen og dråpetensiometeranalyse for vurdering av bitumen-vannfase systemer. Dette er verktøy som blir viktige i arbeidet med å forbedre emulsjonsbaserte vegbyggingsmaterialer.

9 Litteratur

- /1/ Myre J.: Veiledning for kalde bitumenstabiliserte bærelag. Utkast 18/12-1996, Vegdirektoratet
- /2/ AUT Temarapport Produksjon.
- /3/ Ruud O E. : Vedheftsundersøkelse koketest, AIL rapport nr.2, 1991
- /4/ Redelius P. : Breaking control of bitumen emulsion, 5th Eurobitume Congress, Stockholm 1993.
- /5/ Gustavsson B. : Teknisk rapport, NTW - Round Robin. Bittek Nynäs ab. 1995.
- /6/ Jørgensen, T., Gjessing, E., Källquist, T., Wenner, J.; Biologisk testing av bitumenemulsjon og brytningsvann, Veglaboratoriet intern rapport 1492, 1991.
- /7/ Bakløkk L., Slyngstad T., Dørum S.: Bestemmelse av materialparametre for vegbyggingsmaterialer, Veglaboratoriet internrapport 1174, 1983.
- /8/ Sabita manual 14, okt 93, GEMS - The design and use of granular emulsion mixes.
- /9/ Sørli A., Aalefjær H., Telle R., Jørgensen T.: Emulsjonsgrus i Buskerud. Statusrapport 1993, Veglaboratoriet Laboratorieserien rapport nr. 61.
- /10/ Rindal K, Telle R, K E Jensen m.fl.: Kaldprodusert slitedekke, feltforsøk Oppland 1992. Statens Vegvesen Oppland, Esso Norge og Fjeldhammer Brug
- /11/ Kurskompendium og brukermanualer fra Coulter Electronics Ltd, Northwell Drive, Luton, Beds, LU3 3RH England. Norsk forhandler : KeboLab as, pb 45 Kalbakken, 0901 Oslo.
- /12/ Marchal, J.L., Lulien, P., Boussad, N : Bitumen Emulsion Testing: Towards a Better Understanding of Emulsion Behaviour, 5th Eurobitume Congress, Stockholm, 1993.
- /13/ Boussad, N., Martin, T.; Emulsifier in water phase and particle size distribution : two key-parameters for the management of bituminous emulsion performance, Euroasphalt & Eurobitume Congress, Strasbourg 1996.
- /14/ Lendresse, Morizur, Cagna, Esposito; The performance of emulsion-grade bitumens. The use of a new method for characterizing their interfacial properties, Euroasphalt & Eurobitume Congress, Strasbourg 1996.
- /15/ Jørgensen, T., Telle, R., Vaa, A-L, AUT Fagrapport "Bitumenemulsjon", 1997.

VEDLEGG 1

Skjema for uttak av steinmaterialer

UTTAK AV STEINMATERIALER AUT.

SORTERING			
FOREKOMST			
kryss av det som passer			
MATERIALTYPE			
knust fjell	---	---	---
knust grus	---	---	---
naturgrus	---	---	---
ensartet	---	---	---
sammensatt	---	---	---
LAGERHAUG			
meget våt	---	---	---
middels våt	---	---	---
tøri	---	---	---
isete	---	---	---
nyknust	---	---	---
lagret (hvor lenge)	---	---	---
BELEGG			
lite	---	---	---
mye	---	---	---
hardt	---	---	---
løst	---	---	---
GENERELL BESKRIVELSE			

PRØVEUTTAK:

Ved uttak av prøve fra lagerhaug skal det benyttes traktorgraver, hjullaster e.l. En skuffe tas ut av lagerhaugen og prøve tas ut fra denne. Prøvesekker skal merkes med forekomst, sortering, dato og navn/initialer til den som har tatt ut prøven.

Dette uttaksskjemaet skal følge med prøven inn til laboratoriet. Det kan legges i en plastpose i prøvesekken.

OPPLYSNINGER OM FOREKOMSTEN FYLLES UT PÅ BAKSIDEN.

Dato	Sign.
------	-------

UTTAK AV STEINMATERIALER AUT.
OPPLYSNINGER OM FOREKOMST

FOREKOMST NR:

FOREKOMST NAVN:

REG.DATO :

EIER/PRODUSENT:

MERKNADER:

STEDSNAVN:

KOMMUNE:

FYLKE:

MATERIALTYPE:

ANDRE OPPLYSNINGER:

VEDLEGG 2

**Skjema for vurdering av tilslag til
kalde masser**

VURDERING AV STEINPRØVE TIL KALDE MASSER. AUT

LAB NR:	FOREKOMST:
SORTERING:	BRUKSOMRÅDE:
VISUELL BEDØMMELSE: (fukt, belegg, finstoff, humus, etc.)	
ANDEL KNUSTE / UKNUSTE FLATER:	
ANALYSER SOM SKAL UTFØRES, kryss av: (avhengig av bruksområde)	
SIKTEKURVE, TØRR	—
VÅT	—
KONTROLL FINSTOFFBELEGG	—
ANDEL SVAKE/STERKE KORN (visuell klassifisering)	—
PETROGRAFISK BESKRIVELSE (visuelt)	—
HUMUS TEST	—
REAKTIVITET, (metylenblåtest)	—
OPTIMALT VANNINNHOLD, (Mod proctor)	—
VEDHEFT, VANNLAGRING	—
KOKETEST	—
VIALIT	—
BLANDEFORSØK MED EMULSJON	—
SKUM	—
LASTFORDELINGSKOEFFISIENT	—

Skjema er fylt ut av:

Dato	Sign
------	------

VEDLEGG 3

Metode for vurdering av belegg

AUT- METODE FOR VURDERING AV FINSTOFFBELEGG PÅ GROVFRAKSJON.

BEDØMMELSE AV MATERIALET FØR SIKTING

Ca 500 g materiale tørkes ved 110 °C og ristes forsiktig på et 4 mm sikt for å fjerne understørrelser. Gjennomgående materiale kastes.

Materiale grovere enn 4 mm spres utover ett hvitt underlag(papir e.l.)

Vurderinger:

1. Dekker belegget hele steinoverflaten,
 Visuell vurdering, > 50 % / < 50 %
2. Sitter belegget løst eller fast,
 Bruk en flat pensel, ca 1 cm bred
 Belegget sitter selv ved hard børsting, Fast
 Belegget fjernes ved middels hard børsting, Middels
 Belegget fjernes ved lett børsting, Løst
3. Beleggets karakter,
 Visuell vurdering, grovkornet eller finkornet

BESTEMMELSE AV BELEGGMENGDE VED SIKTING.

Materialet tørkes ved 110 °C og ristes forsiktig på et 4 mm sikt.

Ca 1000 g materiale > 4 mm veies nøyaktig inn (vekt A)

Alle innveinger skal være med en desimals nøyaktighet.

Materialet våtsiktes på siktene 4 mm, 0.500 mm, 0.250 mm og 0.075 mm.

Etter sikting tørkes materialet og veies

Materiale på sikt 4 mm og 0.500 slås sammen, vekt B.

Materiale på sikt 0.250 mm, vekt C.

Materiale på sikt 0.075 mm, vekt D.

Materiale finere enn 0.075 er, A- (B+C+D), vekt E.

Total beleggmengde er C+D+E.

Prosentandel belegg regnes ut fra total innveid prøve, vekt A

Ut fra disse tallene kan totalmengden og finhetsgraden av belegget vurderes.

SKJEMA FOR VURDERING AV FINSTOFFBELEGG

Lab.prøvenr. _____ Forkomst. _____
 Sortering _____

Bedømmelse av materialet før sikting, (sett x):

1	Hvor stor del av steinoverflaten dekker belegget	> 50 %
		< 50 %
2	Hvor fast sitter belegget	Løst
		Middels
		Fast
3	Beleggets karakter	Grovkornet
		Finkornet

Andre kommentarer:

Bestemmelse av beleggmengde ved sikting og veiing:

	Innveid	% av totalmengde	
Innveid totalmengde	Vekt A	g	
Materiale på sikt 4mm +0.500mm	Vekt B	g	%
Materiale på sikt 0.250 mm	Vekt C	g	%
Materiale på sikt 0.075 mm	Vekt D	g	%
Materiale finere enn 0.075 mm, A - (B+C+D)	Vekt E	g	%
Total beleggmengde, C+D+E		g	%

Sted _____ Dato _____ Sign _____

VEDLEGG 4

**Metodebeskrivelse reaktivitetstest på
steinmaterialer (Metylenblå)**

METODEBESKRIVELSE REAKTIVITETSTEST PÅ STEINMATERIALER (Metylenblå)

Det er tatt utgangspunkt i metode som benyttes av Veidekke Asfalt

Utstyr :

- begerglass, 1000 ml
- glasstav
- filterpapir 00A 15 cm, 95 g/m², tykkelse 0,20 mm
- mikro-pipetter, 5 og 2 ml
- sugeball
- metylenblå-løsning : 10 g pr. 1000 g destillert vann
- vekt med 1 desimal

Det testes på steinmateriale i fraksjon 0-2,0 mm.

Uttak av prøver :

Av prøvepose på ca. 10 kg tas ut en delprøve ved at materialet splittes til delprøve på ca. 2 kg, som tørkes i mikrobølgeovn. Materialet siktes på standard siktesats ned til 75 µm. Det siktes i 10 min i siktemaskin. Ved veingen splittes prøven på 2 mm. Videre deling av materialet i fraksjon 0-2,0 mm gjøres på kvartebrett. Det tas ut delprøve på ca. 200 g.

Testing med metylenblå-løsningen :

- til delprøven på ca. 200 g tilsettes 200 ml destillert vann i et begerglass
- det røres om i 2 min. og deretter står blandingen i 5 min.
- metylenblå-løsningen tilsettes, 1-2 ml eller 5 ml (begynner som regel med 5ml)
- rør godt om og ta ut en prøve av begerlasset med pipette. Drypp en dråpe på filterpapiret. Dråpen skal ha en diameter på 8-12 mm.
- dersom det ikke sees en klar blå ring rundt dråpen (blått uttrekk) tilsettes nye 1-2, eventuelt 5 ml. metylenblå-løsning.
- når en ser en klar blå ring rundt det fuktete punktet undersøkes blandingens stabilitet.
- blandingen røres i 2 min. uten ny tilsetning av metylenblå-løsning. Start røringen umiddelbart. Deretter skal blandingen hvile i 3 min.
- rør godt om og ta ut en ny prøve fra begerglasset.
- hvis ringen rundt dråpen er uklar eller borte, tilsettes metylenblå-løsning på nytt (1 ml). Tilsetningen gjøres umiddelbart og det røres godt før ny prøve tas ut.
- stabiliteten vurderes nå ved hver ny tilsetning av metylenblå. Ved tvil gjentas prosedyren og omslaget vurderes eventuelt etterpå.

MB-tallet defineres som forholdet mellom tilsatt mengde metylenblå (ml) og materiale mindre enn 75 µm (g) i 200 grams prøve.

VEDLEGG 5

Feltmetode AUT, omhylling og vedheft



Divisjon Vei

KVALITETSSTYRING

DOC. TYPE LABORATORIEMETODE	NR. VM-39-07-03
TITTEL VURDERING AV BRYTNINGSTID, OMHYLLING OG VEDHEFT,	DOC. ARBEJ. LAB. SJEF
	Side 1 av 3

- 1) Formål
Vurdere brytningstid, omhylling og vedheft mellom emulsjon og steinmateriale ved produksjon av emulsjonsmasse.
- 2) Henvisning
Ingen.
- 3) Anvendelses-
område.
Anvendes ved produksjon av alle typer emulsjonsmasse.
- 4) Utstyr
Spade
Div. blikkspann (2-3 l)
Røreskje
Underlagsplate (papp-plate, takpapp el.)
Stoppeklukke
Vann
- 5) Fremgangsmåte
Ta ut 1 - 1.5 kg masse rett under blanderens utløp. Noter tidspunktet for prøveuttak. Legg prøven på en plate og del den i tre like deler.
Disse merkes del 1, del 2 og del 3.

Del 1 legges umiddelbart i et spann med vann. La prøven ligge i 2 min., rør av og til. Vannet helles av og prøven legges tilbake på platen.

Del 2 spres utover platen og får ligge til den har brutt. Ta tiden fra prøven er tatt ut og til den har brutt. Dette noteres som brytningstid. Deretter legges den i et spann med vann. La prøven ligge i vannet ca. 1 time og rør av og til. Vannet helles av og prøven legges tilbake på platen.

Del 3 er en referanseprøve. Denne blir liggende urørt på platen. Prøvene får ligge til de er tørre før dekningsgrad bestemmes. Prøvene må ikke ligge i direkte sollys.
- 6) Utregning
Vurder prøvene og oppgi hvor stor %-del av steinoverflaten som er dekt med bitumen (dekningsgrad).

UTG. 1	UTG DATO 19.12.95	STAB. AV ALV ALV	ODKJ. DOC. ARBEJ. RTE	ODKJ. KS. ARBEJ. JAH	ODKJ. DIV. DIR. APJ
-----------	----------------------	---------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------



Divisjon Vei

KVALITETSSTYRING

DOK. TYPE LABORATORIEMETODE	NR. VM-39-07-03
TITTEL VURDERING AV BRYTNINGSTID, OMHYLLING OG VEDHEFT.	DOK. ANSV. LAB. SJEF
	Side 2 av 3

7) Rapportering

Resultatet føres på skjema VS-39-07-02
"Vurdering av brytningstid/ omhylling/
vedheft. Feltmetode."

8) Usikkerhet

UTG. 1	UTG. DATO 19.12.95	UTARB. AV ALV ALV	DOBKJ. DOK. ANSV. RTE	DOBKJ. ED. ANSV. JAH	DOBKJ. REV. DIR. APJ
-----------	-----------------------	----------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------



Divisjon Vei

KVALITETSSTYRING

DOK. TYPE LABORATORIEMETODE	NR. VM-39-07-03
TITTEL VURDERING AV BRYTNINGSTID, OMHYLLING OG VEDHEFT.	DOK. ARBEJ. LAB. SJEF
	Side 3 av 3

SKJEMA FOR VURDERING AV BRYTNINGSTID, OMHYLLING OG VEDHEFT.

LAB. PRØVENE: _____	DATE: _____
MASSETYPE: _____	
BRYTNINGSTID:	
Tid det tar før prøven har brut	_____
VEDHEFT / OMHYLLING	
	% dekningsgrad
DEL 1:	_____
DEL 2:	_____
DEL 3:	_____
KOMENTARER:	
DATE: _____	SIGN: _____

VS-19-07-03

UTG. 1	UTG. DATO 19.12.95	UTARB. AV ALV ALV	ODRUKK. DOK. ARBEJ. RTR <i>[Signature]</i>	ODRUKK. ES-ARBEJ. JAH <i>[Signature]</i>	ODRUKK. DIV. DIR. APJ
-----------	-----------------------	----------------------	---	---	--------------------------

VEDLEGG 6

Vedheftsmetode AUT

Forslag til metodebeskrivelse:**Vedheft bitumenemulsjon/stein ved vannlagring eller koking****Beskrivelse**

Ved metoden bestemmes vedheft på en blanding av bitumenemulsjon og steinmateriale som etter blanding og 16-24 t lagring gjennomgår en vannlagringstest (koketest) på 10 min. Metoden kan benyttes til en grov vurdering av vedheft til aktuelle materialer til emulsjonsgrus eller til overflatebehandling. Metoden kan benyttes enten på grovfraksjonen (f.eks 8-11 mm) eller på finfraksjonen (f.eks. 0-4 mm) i det aktuelle steinmateriale.

Utstyr

- gassbrenner med trefot /stativ og trådnett med keramisk senter
- varmeplate med kjele for forvarming av vann
- begerglass, 1000 mL lav form
- blikkboks (1L), spatel mv. for blanding av prøve
- vekt, nøyaktighet 0,1 g
- stoppeklokke eller tidsur
- termometer 0-120° med nøyaktighet 0,5°C
- tørkepapir, twist e.l.
- destillert vann
- referanse steinmateriale
- referanse bindemiddel (om nødvendig)
- stereolupe 1-5x eller bedre (for finkornig masse)
- klare plastskåler 0,5 L for avlesning av vedheft

Fremgangsmåte**Steinmateriale:**

Sikt ut ønsket fraksjon av steinmateriale. Vanligvis testes 11-16 mm, 8-11 mm, 4-8 mm eller 1-4 mm.

Steinmaterialet vaskes (vanligvis), og fuktes/holdes fuktig ved lagring i et tett plastbeger med lokk etter tilsetning av litt destillert vann på bunnen av begeret.

Blanding:

200 g fuktig steinmateriale tilsettes 12 % aktuell bitumenemulsjon (50°C) i en blikkboks og det blandes med en spatel i 90 s. Overskudd av emulsjon helles av, og blandingen lagres på lokk i ett lag i 16-24 t ved romtemperatur før testing.

Vannlagrings-/koketest

Dekningsgrad (%) av bindemiddel på steinmaterialet avleses før vannlagringen startes.

Blandingene neddeles til 3 porsjoner á ca. 100 g. Testen utføres på 2 prøveparalleller.

Varmt destillert vann forberedes i en kjele/stort begerglass på en kokeplate.

For bitumenemulsjoner basert på B370 eller stivere (lavere penetrasjonsverdi) utføres testen ved 100°C (koking). For bitumenemulsjoner basert på mykbitumen utføres testen ved 80°C.

Begeret med forvarmet vann monteres på en gassbrenner med stativ/trefot og trådnett. Med gassbrenneren justeres temperaturen i vannet, som kontrolleres med et termometer (ved koking er dette ikke nødvendig).

Tilsett blandingen til det varme vannet og sørg for å oppnå ønsket testtemperatur i løpet av 1-5 min. La vannet koke med middels styrke (jevn bobling) eller hold $80 \pm 2^\circ\text{C}$. Rør om med en glasstav etter 3, 6 og 9 min i ca. 10 s hver gang. Under og etter vannlagring fjernes bindemiddel som flyter opp med papir eller twist.

Etter vannlagringen kjøles vannet ned til romtemperatur og helles av. Blandingens lagres på et papirhåndkle. Etter 16-24 t legges prøven i et beger med destillert vann og dekningsgraden avleses i % under godt lys av to øvede personer. Finkornige masser bedømmes i vann med en stereolupe.

Resultater:

Rapporter prosent dekningsgrad som middelverdien av to personers avlesning på to delprøver til nærmeste 5 %.

Usikkerhet:

Repeterbærhet og reproducerbarhet til metoden er ikke avklart.

I utprøvingen var det god repeterbærhet mellom prøveparallelene.

24.1.97

TJ

VEDLEGG 7

Eksempel på arbeidsresept

Arbeidsresept for bituminøse vegdekker og bærelag

Kontrakt	Fylke	Veggr.	Dato	Arb.resept nr.
AUT	K1 TELEMARK	RV 358	12/08/96	96327974
Entreprenør		Entr.nr.	Dekketype	Blandeverk ved
K2 icopal as		2	EB16	GAUTEFALL

		Tilskutt	Toleranse
		K3	K3T
Bindemiddel	%	5.0	0.3
Hulrom	%		
Forbruk	kg/m ³		
Massetemp. v/prod	°C		
Dekketts densitet	pd/g/cm ³		
Maks. vanninnh.	%		

Mårehalverdier ved proporsjonering	
Stabilitet	N
Flyt	mm
Stab.Flyt	N/mm
Densitet pd	g/cm ³
Hulrom	%
Besørt på:	

A: Restprosent, symbol ————

B: Toleranse, symbol - - - - -

K4	95	93	89	84	80	76	67	50	26	5	0		A
K4T	1.7	3.0	6.0	6.0	6.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5			B

Tilslag	Førekornst	Densitet ps	Abr./Mv	Mekanisk styrke			Sortering	Andel
KN.FJELL	TØMMERÅSEN	7.74		f =	s =	kl.	6-16	60 %
KN.FJELL	TØMMERÅSEN	2.75		f =	s =	kl.	0-6	40 %
				f =	s =	kl.		%
				f =	s =	kl.		%
				f =	s =	kl.		%
				f =	s =	kl.		%
				f =	s =	kl.		%
				f =	s =	kl.		%

Bindemiddeltipe	BE655/B370	Annen tilsetning	mengde	%
Arbeidsresepten godkjennes		Entreprenør		
Vegkontoret i				
Date	Underskrift	Underskrift		

VEDLEGG 8

Metodebeskrivelse AUT, avrenningstest



Divisjon Vei

KVALITETSSTYRING

DOK. TYPE LABORATORIEMETODE	NR. VM-39-07-08
TITTEL BINDEMIDDELAVRENNING FRÅ EMULSJONSMASSE	DOK. ANSV. LABORATORIESJEF
	Side 1 av 4

- 1) Formål
Bestemme hvor mye emulsjon som vil renne av fra en nyblandet emulsjonsmasse. Metoden gir også en indikasjon på hvor følsom massen er for regn kort tid etter produksjon.
- 2) Henvisning
- 3) Anvendelsesområde
Gjelder alle typer nyproduserte emulsjonsmasser.
- 4) Utstyr
Vekt (nøyaktighet 0.1g)
Varmeskap
Stålboller/bakker
Folieformer, blikkbokser e.l.
Siktemaskin, Oktagon 200
Uthulet siktesats
Sikt, 1 mm og 0.125 mm
Lab.blandemaskin som tar min. 6 kg masse
Skjema VS-39-07-04
- 5) Fremgangsmåte
AVRENNING
- Det benyttes ca 6000 g ferdig blandet masse. Massen blandes på lab.blandemaskin. Noter nøyaktig tilsatt vannmengde og emulsjonsmengde. Ekstra vanntilsetning bør foretas minst to timer før massen skal blandes. (Dekk til med plast). Massen helles i en uthulet siktesats med et 1 mm sikt i bunnen. Under dette siktet plasseres et 0.125 mm sikt for å hindre for mye finstoff i å følge med i avrenningen. Siktesatsen plasseres på siktemaskinen som har en bunn med avløp for avrenningsvæsken. Under utløpet er det på forhånd satt en veid folieform eller blikkboks. Se figur 1. Siktemaskinen settes igang på amplitude 6 og intervallinstilling 11 sek på/2,5 sek av. Beholder med avrenningsvæske byttes ut etter 15 og 30 min. Etter 45 min. avsluttes forsøket. Boksene veies og deretter dampes vannet bort i varmeskap. Etter avkjøling veies boksene med tørrstoffinnhold. Alle data noteres på skjema VS-39-07-04.

UTG. 1	UTG.DATO 13.02.97	UTANS. AV ALV ALV	ODKJ. DOK. ANSV. RTE <i>RTE</i>	ODKJ. KS. ANSV. JAH <i>Burr</i>	ODKJ. EIV. DIR AFJ
-----------	----------------------	----------------------	------------------------------------	------------------------------------	-----------------------



Divisjon Vei

KVALITETSSTYRING

DOK. TYPE LABORATORIEMETODE	NR. VM-39-07-08
TITTEL BINDEMIDDELAVRENNING FRA EMULSJONSMASSE	DOK. ANSV. LABORATORIESJEF
	Side 2 av 4


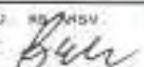
6) Utregning

$$\text{AVRENNING: } \frac{\text{avrent væskemengde}}{\text{tilsatt væskemengde}} \times 100 \% =$$

7) Rapportering

Resultater rapporteres på skjema VS-39-07-04.

8) Usikkerhet

UTC. 1	UTC. DATO 13.02.97	UTARB. AV ALV ALV	ODKJ. AV RTE 	ODKJ. AV JAH 	ODKJ. AV AFJ
-----------	-----------------------	----------------------	---	---	-----------------

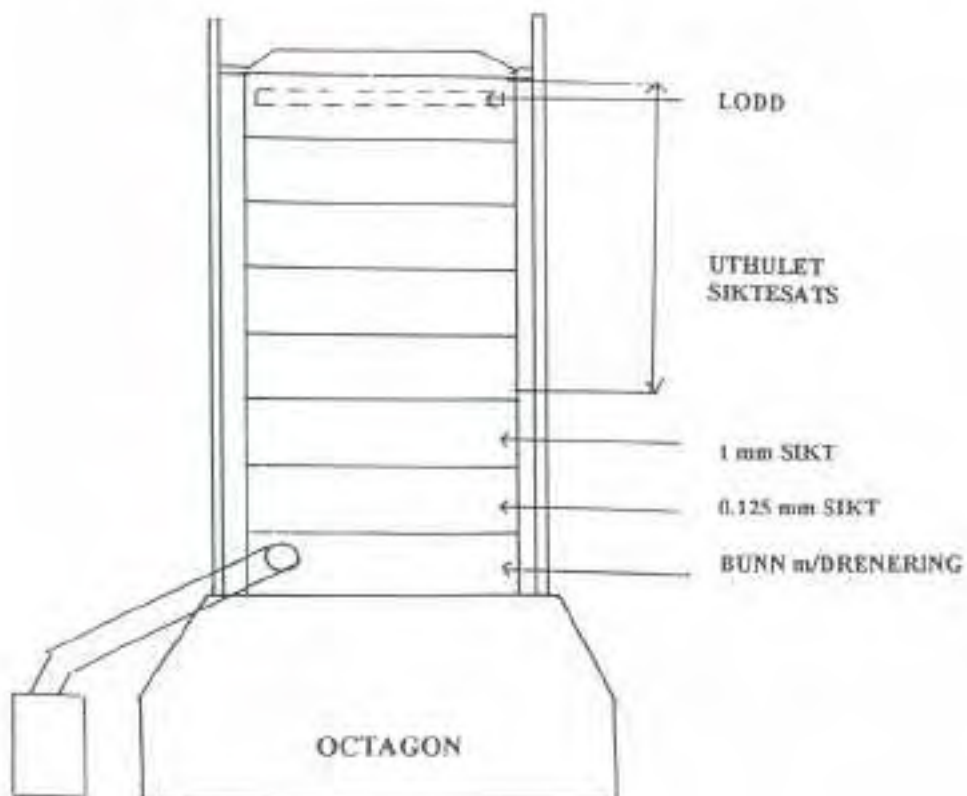


Divisjon Vei

DOK. TYPE LABORATORIEMETODE	NR. VM-39-07-08
TITTEL BINDEMIDDELAVRENNING PRA EMULSJONSMASSE	DOK. ANSV. LABORATORIESJEF
Side 3 av 4	

KVALITETSSTYRING

FIGUR 1:



UTG. 1	UTG. DATO 13.02.97	UTARS. AV ALV ALV	DOKKJ. DOK. ANSV. RTE <i>[Signature]</i>	ODKJ. KONTROLL. JAH <i>[Signature]</i>	BODKJ. DIV. DIR. AFJ
-----------	-----------------------	----------------------	---	---	-------------------------



Divisjon Vei

DOK. TYPE LABORATORIEMSTODE	NR. VN-39-07-08
TITTEL BINDEMIDDELAVRENNING FRA EMULSJONSMASSE	DOK. ANSV. LABORATORIESJEF
Side 4 av 4	

KVALITETSSTYRING

VS-39-07-04:

AVRENNINGSTEST

DATO: _____ VEKT MASSE: _____
 PRØVENR.: _____ AMPLITUDE: _____
 MASSETYPE: _____ INTERVALL: _____
 EMULSJON: _____ VEKT LODD: _____
 RESFRITUMEN: _____ %
 TOTAL FUKT I MASSEN: _____ %
 STEINMATERIALER: _____

Tilsatt væske		
Vann	Emulsjon	Total væskemengde (A)

	15 min	30 min	45 min	total
Beger m/avrenningsvæske (C)				
Beger (B)				
Avrent væske (C-B)				
Beger, tøket (D)				
Fillerbitumen rest (D-B)				
% Avrenning (C-B)/A x 100				
Farge på avrenningsvæske:				
Klar				
Lys brun				
Brun				
Mørk brun				

VS-39-07-04

UTG. 1	UTG. DATO 13.02.97	UTARB. AV ALV ALV	ODR. / DOK. ANSV. RTE	ODR. / KY. ANSV. JAH	ODR. / DIV. DIR. APJ
-----------	-----------------------	----------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------

VEDLEGG 9

**Prøveprogram for dynamisk treaksialforsøk
og spaltestrekforsøk**

SAMMENDRAG, mars 1997

Laboratorietest	Serie nr	Prøve nr	Prøvetype: B, L	B-innh %	Kondisjonering ¹⁾ 0 / 1 / 2	Antal enkeltprøver	Merknad
Gyrator-komprimering (ICT)	D2.1.5		L L	4,5 - 5,5 4,5 - 5,5	- -	12 12	Ø100 H100 mm, 2 ulike kompakteringsgrader Ø150 H150 mm, 2 ulike kompakteringsgrader
Prøvetilfaging med kneading komp.	D2.2.6.1		L	4,5	-	13*	Ø100 H200 mm, * 3 rik inngår i D2.2.7
	D2.2.7		L	3,5 4,5 5,5		6 6 (-3*) 6	Ø100 H200 mm, 1 prøve gir 3 paralleller / enkeltprøver til indirekte strekk (gjelder 6 stk til serie D2.2.7)
	D2.2.8		L L L	3,5 4,5 5,5		8 8 8	Bjelkeprøver, 2 reserve pr bindebiddelinh.
Prøvetilfaging med kango- komp.	D2.2.6.2		L	4,5	-	7	3 ulike kompakteringsnivå, 1 tilleggsprøve på hulrom tilsvarende felt
Indirekte strekk	D2.2.7		B	4,5	0	18	** fra serie D2.2.6.2 kompaktert med kango
			L	3,5	1-2	6	
			L	4,5	1-2	6 + 3**	
			L	5,5	1-2	6	
Dynamisk treksialprøving - hovedundersøkelser	D2.2.7 (1)		B	4,5	0	4	** fra serie D2.2.6.2 kompaktert med kango
			L	3,5	1-2	4	
			L	4,5	1-2	4 + 2**	
			L	5,5	1-2	4	
Dynamisk treksialprøving - tilleggsundersøkelser	D2.2.7 (2)		L	3,5	1	2	*** inkl. 3 statisk treks
			L	4,5	1	2	
			L	5,5	1	2	
			B	4,5	0	9 ***	
Dynamisk bjelkeprøving, utmattingstest	D2.2.8		L	3,5	1	6	
				4,5	1	6	
				5,5	1	6	
Densitet/hulrom	alle	-	L, B	-	-	22B+73L	Alle prøver (B + L)
Ekstraksjon, kornkurve	alle	-	B	-	-	22	Alle borprøver (ferdig kappa)

¹⁾ Kondisjonering 0: 25°C i tidl. 1: standard kondisjonering 7 døgn/40°C, 2: enkel kondisjonering uten fryse/tine.

VEDLEGG 10

Forsøksprosedyre for treaksialprøving

Forsøksprosedyrer for hovedundersøkelse

Forsøksprosedyre 1 for borprøver

Trinn nr	σ_3 [kPa]	σ^{dyn} [kPa] *	f [Hz]	N
0-1	80	50	3-10-30	90-300-900
0-2	80	95	3-10-30	90-300-900
1	80	50	10	3000
2	80	95	10	3000
3	80	180	10	3000
4	80	260	10	3000
5	80	350	10	

Forsøksprosedyre 2 for borprøver

Trinn nr	σ_3 [kPa]	σ^{dyn} [kPa] *	f [Hz]	N
0-1	0	50	3-10-30	90-300-900
0-2	0	90	3-10-30	90-300-900
1	0	50	10	3000
2	0	90	10	3000
3	0	170	10	

Forsøksprosedyre for labtillagede prøver

Trinn nr	σ_1 [kPa]	σ^{dyn} [kPa] *	f [Hz]	N
0-1	0	50	3-5-10-15-20	90-150-300-450-600
0-2	80	90	3-5-10-15-20	90-150-300-450-600
1	80	50	10	3000
2	80	50	10	3000
3	80	70	10	9000
4	80	90	10	9000
5	80	115	10	9000
6	80	135	10	9000
7	80	160	10	9000
8	80	180	10	9000
9	80	200	10	9000
10	80	225	10	9000
11	80	245	10	9000
12	80	270	10	9000
13	80	290	10	9000
14	80	310	10	9000
15	80	360	10	

- *: Dynamisk deviatorspenning ble ikke holdt konstant under frekvenstesten.
Oppgitt spenning gjelder for første frekvens i trinnet

Forsøksprosedyrer for tilleggundersøkelse

Forsøksprosedyre A (bruddbelastning ved $\sigma_3 = 80$ kPa)

Trinn nr	σ_3 [kPa]	σ^{dev} [kPa]	f [Hz]	N	
1	80	50	10	3000	
2	80	100	10-5-15-10	700 · 4	
3	80	150	10	3000	
4	80	50	10	3000	
5	0	50	10-5-20-10	700 · 4	
6	40	50	10	3000	
7	40	100	10	3000	
8	80	100	10	3000	
9	80	150	10	3000	
10	80	200	10	500000	til $\varepsilon_p > 1.5'$
11	80	250	10	3000	til $\varepsilon_p > 1.5'$
12	80	(300)	10	3000	til $\varepsilon_p > 1.5'$

Forsøksprosedyre B (bruddbelastning ved $\sigma_3 = 40$ kPa)

Trinn nr	σ_3 [kPa]	σ^{dev} [kPa]	f [Hz]	N	
1	80	50	10	3000	
2	80	100	10-5-15-10	700 · 4	
3	80	150	10	3000	
4	80	50	10	3000	
5	0	50	10-5-20-10	700 · 4	
6	40	50	10	3000	
7	40	100	10	3000	
8	80	100	10	3000	
9	40	100	10	>500000	til $\varepsilon_p > 1.5'$
10	40	125	10	3000	til $\varepsilon_p > 1.5'$
11	40	150	10	3000	til $\varepsilon_p > 1.5'$
12	40	(200)	10	3000	til $\varepsilon_p > 1.5'$