

Jens K. Lofthaug, Jostein Myre,  
Finn H. Skaardal, Roar Telle

# Asfaltutviklings- prosjektet i Telemark

---

**Vegdirektoratet**

Vegteknisk avdeling

Oslo, desember 1998

Omslagsdesign:	Svein Aarset, Oslo
Forsidebilde:	Roar Telle
Layout og billedbehandling:	Maisen Sneltvedt, Statens vegvesen Telemark
Redaksjons-/ produksjonskoordinator:	Helge Holte, Vegdirektoratet
Trykk:	Erik Tanche Nilssen AS, Skien
Opplag:	2 500

**A**sfaltutviklingsprosjektet i Telemark (AUT) har vært et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen, Telemark og Icopal as, med økonomisk støtte fra Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (SND). Hovedformålet med prosjektet har vært å bedre bæreevnen og utvikle funksjonelle og rimelige slitedekker og vedlikeholdsmetoder, fortrinnsvis ved å bruke lokale ressurser og kalde teknikker. Prosjektet startet opp i 1994 og ble avsluttet i 1997.

AUT har hatt en rekke samarbeidspartnere innen delområder av prosjektet:

- Akzo Nobel, Asphalt Applications, Sverige
- Ceca, Frankrike
- Geomap
- Ide-Con
- NTNU/Sintef Vegteknikk.

Veglaboratoriet skiftet i 1998 navn til Vegteknisk avdeling. De fleste AUT-rapportene var ferdige før navneskiftet. I AUT-rapportene har en derfor konsekvent valgt å bruke betegnelsen Veglaboratoriet.

Sammendrag .....	6
Summary .....	8
<b>1 Prosjektbeskrivelse .....</b>	<b>10</b>
1.1 Bakgrunn for prosjektet .....	10
1.2 Målsetning .....	10
1.3 Organisering .....	11
1.4 Rapportering .....	13
<b>2 Planleggingsverktøy .....</b>	<b>14</b>
2.1 Generelt .....	14
2.2 EDB-system .....	14
2.3 Georadar .....	15
2.4 DIMTO .....	16
<b>3 Mix-design .....</b>	<b>18</b>
3.1 Generelt .....	18
3.2 Tilslagsmaterialer .....	19
3.2.1 Tiltak ved knusing .....	19
3.2.2 Uttak av steinmaterialer .....	19
3.2.3 Vurdering av egnethet .....	20
3.2.4 Reaktivitet .....	21
3.3 Valg av massetype og bindemiddeltype .....	22
3.3.1 Bærelag .....	22
3.3.2 Slitelag .....	23
3.4 Proporsjonering .....	23
3.4.1 Generelt .....	23
3.4.2 Vanninnhold .....	24
3.4.3 Laboratorieblending .....	25
3.4.4 Gyratorisk kompaktor .....	26
3.5 Egenskaper for kald masse .....	28
3.5.1 Lastefordeling og stabilitet .....	28
3.5.2 Vurdering av hulrommets betydning .....	28
<b>4 Emulsjonsteknologi .....</b>	<b>30</b>
4.1 Generelt .....	30
4.2 Dråpestørrelsesfordeling .....	30
4.3 Bestemmelse av fri amin i vannfase .....	31
4.4 Dråpetensiometer .....	31
4.5 Zetapotensiale .....	32
<b>5 Produksjon .....</b>	<b>33</b>
5.1 Generelt .....	33
5.2 Tilslagsmaterialer .....	33
5.3 Bindemidler .....	34
5.4 Massetyper .....	34
5.5 Blandeprosessen .....	35
5.6 Masseegenskaper .....	37

<b>6</b>	<b>Utlegging</b>	<b>39</b>
6.1	Generelt	39
6.2	Bearbeidbarhet	40
6.3	Leggeteknikk	41
<b>7</b>	<b>Valsing</b>	<b>43</b>
7.1	Generelt	43
7.2	Valsetyper og valseparametre	43
7.3	Bærelag	44
7.4	Slitelag	45
7.5	Kompakteringskontroll	47
7.5.1	Valg av metode	47
7.5.2	Bestemmelse av optimalt antall overfarer	47
7.5.3	Tidspunkt for valsing	48
7.6	Initialstyrke og herdeforløp	48
<b>8</b>	<b>Driftserfaringer</b>	<b>51</b>
8.1	Generelt	51
8.2	Produksjonserfaringer	51
8.2.1	Produksjon av tilslag	51
8.2.2	Produksjon av kaldasfalt	52
8.3	Utleggingserfaringer	53
8.3.1	Avrenning	53
8.3.2	Utlegging	53
8.3.3	Valsing	54
8.4	Kvalitetskontroll	55
8.5	Prosjektgjennomføring	55
<b>9</b>	<b>Økonomiske vurderinger</b>	<b>56</b>
9.1	Generelt	56
9.2	Produksjon og utlegging	56
9.3	Fordeler og ulemper	57
9.4	Markedspotensiale i Telemark	57
9.5	Sammenligning av kostnader	58
9.5.1	Lik transportavstand	58
9.5.2	Ulik transportavstand	60
	<b>Konklusjoner</b>	<b>62</b>
	<b>AUT-rapporter</b>	<b>65</b>
	<b>Litteraturliste</b>	<b>66</b>

**A**sfaltutviklingsprosjektet i Telemark (AUT) har vært et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen og Icopal as med støtte fra Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (SND). Prosjektet startet i 1994 og ble avsluttet i 1997. Hovedformålet med prosjektet var å bedre bæreevnen og utvikle funksjonelle og rimelige slitedekker og vedlikeholdsmetoder, fortrinnsvis ved bruk av lokale ressurser og kalde masser.

I arbeidet med å utvikle funksjonelle og rimelige slitedekker var målet å produsere og legge ut kalde dekker med tilnærmet samme levetid som varmprodusert Agb og med tilsvarende jevnhet og kjørekomfort. Tidligere erfaringer med kalde dekker har ofte vært at de har hatt kortere levetid enn varme. For å produsere kalde dekker med lengre levetid ble utviklingen i AUT basert på bruk av stivt bindemiddel og en forholdsvis tett kornkurve.

I prosjektet er det lagt bære- og slitelag av emulsjonsgrus, Eg11 og Eg16. Det er i hovedsak brukt bitumenemulsjon BE65S370 som bindemiddel, dvs. at B370 er basisbindemidlet. For å få et dekke med akseptabel kvalitet har man i AUT erfart at bindemiddeleinnholdet bør være minst 4,5 %. I praksis har bindemiddeleinnholdet ligget på ca. 4,5 % for bærelagsmasser og 5,0 % for slitelagsmasser. I AUT er det også produsert og lagt ut skumgrus som slitelag med godt resultat.

Ved proporsjonering av masser i AUT har man behandlet hele prosessen fra uttak av prøver og vurdering av tilslag til ferdig utarbeidet resept. Analysemetoder for måling av tilslagets reaktivitet og bedømmelse av belegg er utprøvet. Ved testing av massens egenskaper er det benyttet standard proporsjoneringsmetoder. Disse metodene er verifisert og funnet egnet for formålet. I tillegg er nye metoder utprøvd eller utviklet for å karakterisere massens egenskaper best mulig. Det har blant annet vært arbeidet med gyratorisk kompaktor for prøvetillaging og vurdering av massens egenskaper. Videre har en utprøvd metoder for bestemmelse av massens bearbeidbarhet, det er utviklet en metode for å bedømme massens initialstyrke og styrkeoppbygging, og det er utviklet en ny avrenningstest. Enkle analysemetoder for bedømmelse av omhylling og vedheft for feltbruk er tatt i bruk. En del mer avanserte metoder for analysing av bitumenemulsjon er omtalt. Emulsjonsmasser er testet i treaksialforsøk og utmattingsforsøk, og det er foretatt analyser av hulromsstrukturen både i prøveklusser og borkjerner. Formelen for beregning av lastfordelingskoeffisient (i hb. 018) på grunnlag av indirekte strekkforsøk er verifisert. Ett av målene med laboratorietesting har vært at forsøkene skal samsvare godt med forholdene i felten.

Tidligere erfaringer har vist at det er vanskelig å produsere og legge kald asfalt med stivt bindemiddel med tilfredsstillende resultat. Dette har sammenheng med at massen er tung å bearbeide. I tillegg dannes det ofte finstoffballer. For å løse problemet med finstoffballer prøvde man å modifisere en Luckstablander, men dette førte bare delvis fram. Derfor ble det initiert et arbeid for å finne andre blandere. I et samarbeid med selskapet Ide-Con ble det benyttet en blander (tvangsblander) som hadde en annen utforming av både blandekammer og mikseskovler. I tillegg ble blandekammeret oppvarmet med hetolje, noe som lettet rengjøringen og

forbedret homogeniteten i massen. Utprøvingen av den nye tvangsblenderen ga gode resultater, og en klarte å produsere en homogen masse uten finstoffballer. For å produsere en homogen masse med god bearbeidbarhet er det viktig å ha jevn korngradering (tilslagsmaterialene bør splittes i 2-3 sorteringer), lite belegg på steinmaterialene, optimalt vanninnhold i tilslaget samt at de knuste materialene ikke må være for reaktive.

Da kald masse med stive bindemidler er tyngre å bearbeide og dermed vanskeligere å legge ut og kompaktere sammenlignet med varme masser, er det viktig med tungt utleggerutstyr og en tung screed. Måling av jevnhet umiddelbart etter legging viser at det ikke er forskjell i målt jevnhet (IRI) på AUT-dekkene sammenlignet med det man normalt får ved måling av jevnhet på nylagte varme dekker, men for en billist kan dekkene oppleves som noe mer ujevne.

Et av delmålene i AUT har vært å finne fram til de valsetyper som egner seg best til kompaktering av kalde masser, samt hvilke parametre som er viktige for å oppnå et best mulig resultat. Åtte forskjellige valser ble testet. For slitelag vil det mest egnede utstyret være vibrasjonsvals med høy frekvens eller oscillerende vals. Tung statisk vals med stor trommeldiameter vil også gi gode resultater. For bærelag gir vibrasjonsvals med høy amplitude klart best resultat. Riktig væskeinnhold i massene og at valsingen utføres så raskt som mulig etter legging er også viktig for resultatet. På en av fem strekninger registrerte man noe klebing av masse på valsetrommel.

I en økonomisk sammenligning av varme og kalde masser vil det være mange variable faktorer som er avgjørende for om kalde masser er konkurransedyktige med varme masser. For å få et best mulig svar på dette bør kontraktene lyses ut med både varme og kalde masser som alternativ. Ut fra økonomiske erfaringer i AUT-prosjektet vil sannsynligvis markedet for kalde masser bestå av parseller som ligger forholdsvis langt fra stasjonære varmblendeverk.

Ut fra de erfaringer man har i dag er det ikke grunnlag for å hevde at levetiden på AUT-dekkene vil bli kortere enn på varme dekker. Alle dekkene er lagt ut på et forholdsvis lavtrafikkert vegnett der sporslitasje ikke vil være årsak til neste reasfaltering.

AUT har gitt oss nye verdifulle kunnskaper om kaldasfalt. Resultatene fra dette FOU-prosjektet har ført til at vi i dag kan både produsere og legge ut kald asfalt med tilnærmet like god kvalitet som varm asfalt. For å få til det er det viktig at vi kjenner til de kritiske parametrene, og har kontroll på dem.

The cold asphalt development project, AUT, has been a joint venture between Public Roads Administration in the county of Telemark and the asphalt contractor Icopal, with financial support from The Norwegian Industrial and Regional Development Fund. The project started in 1994 and was completed in 1997. The purpose of the project was to improve the bearing capacity and to develop functional and cost effective wearing courses and maintenance methods, primarily by the use of local aggregates and cold mixes.

The main objective was to develop functional and cost effective wearing courses, and to produce and lay cold mixes with the same durability as ordinary hot mixes and with approximately the same roughness and driving comfort. Previous experiences with cold mixes have given pavements with shorter service life than for hot asphalt. To produce cold mixes with increased service life, hard binders have been used together with a relatively dense grading curve.

In this project it was produced base courses and wearing courses of gravel-emulsion, with maximum grain size of both 11 mm and 16 mm. As binder a slow curing 65 % bitumen emulsion was used, based on a B 370 grade binder. To get a pavement of acceptable quality we experienced that the binder content should be at least 4.5 %. In actual practice the binder content for base courses was 4.5 %. The binder content for base courses have been 4.5 % and 5.0 % for wearing courses. We have also produced high quality wearing courses with foamed bitumen.

When designing the mixes in AUT the complete process from taking aggregate samples for evaluation to the complete mix design was looked into. Methods for measuring the reactivity of the aggregate as well as dust coating were tried out. When testing the properties of the mix standard methods of mix design were used. These methods have been verified and found suitable for the purpose. In addition, new methods have been tested and further developed to characterize mix qualities. A gyratoric compactor has been used to make test specimens and evaluate the mix qualities. Furthermore, methods to evaluate the workability of the mix have been tried out, and a method for finding the initial strength and the increase in strength has been found. A test method to evaluate the migration of excess binder has also been developed. Simple tests to evaluate coating and adhesion were used. Some more advanced methods for analysing bitumen emulsion are discussed in the report. Results from both triaxial tests and fatigue tests are reported. The content and the distribution of air voids have been analysed for the cold mixes, both from laboratory and in situ. The equation for determination of the structural coefficient by indirect tensile test has been verified. One of the aims of the laboratory tests has been to obtain good correlation with in situ values.

Previous experience has shown that it is very difficult to produce and lay cold asphalt with hard binders with adequate results. This is mainly due to the harsh workability of the mix. In addition, one often gets segregation. In order to prevent this, it was necessary to develop better mixers. In collaboration with the company Ide-Con, a new type of mixer was tested.



This was a continuous mixer with different design of both the mix-shell and the paddles. The shell walls were heated, which made the cleaning by the end of the day much easier. This mixer produced a much more homogenous mix, and the problems with the segregation were sufficiently solved. In order to produce homogenous cold mixes with good workability it is important to have a well graded aggregate with optimum moisture content and aggregates with both low reactivity and minor dust coating on the surface.

Cold mixes with hard binders have a considerable lower workability than hot mixes. Therefore, this type of asphalt is more difficult to lay and to compact. It is necessary to use pavers with heavy screed. Measurements of the surface roughness immediately after paving show, that there are no major differences in roughness (IRI) compared with normal values for a newly paved wearing course of hot mix, although one gets the feeling that, the surface of a wearing course of cold asphalt is more uneven than one laid with hot mix when travelling on it by car.

Another important objective of the project was to identify the most applicable rollers for compacting cold asphalt and to determine the most critical parameters influencing the results. Eight different rollers have been tested. For a wearing course of normal thickness, it was found that vibratory rollers, with high frequency and oscillating rollers gave best compaction. Heavy static rollers with high drum diameter also showed good results. For a base course of normal thickness, vibratory rollers with high amplitude gave best results. In order to obtain best possible compaction of a cold mix with hard binders, it is also important that the total amount of liquid in the mix is near optimum. The rollers must start compacting immediately after laying. On one occasion there was a problem with materials sticking to the roller drum.

When carrying out an economical comparison between hot and cold mixes, one must be aware of all the variable factors that will influence such an exercise. In order to decide on what type of method is most competitive, it will be necessary to invite tenders for both alternatives. The experience from this project shows that cold mix alternatives are most appropriate in rural areas far from permanent hot mix plants.

The experiences gained so far in this project give us no evidence to say that the durability of a cold mix with hard binders is less than for a hot mix. All test sections in this project are on low traffic roads and thus ruts caused by studded tyres will not be the factor that initiate maintenance.

This cold asphalt development project has given us valuable knowledge and experience of cold mixes with hard binders. The results from the project enables us to produce and lay cold mixes with approximately the same quality as for hot mixes. In order to achieve this, it is important to be aware of the critical parameters and to have full control of them.

# Prosjektbeskrivelse

## 1.1 Bakgrunn for prosjektet

Et overordnet samferdselspolitisk mål for Statens vegvesen er å sørge for et vegnett som gir lave transportkostnader, forutsigbar reisetid og god tilgjengelighet til aktuelle reisemål.

Statens vegvesen Telemark har en meget dårlig standard på store deler av vegnettet. Årlige målinger av spor og jevnhet viser at situasjonen forverres. For å nå nevnte mål må både driftsmetoder og budsjettrammer endres. Driftsmetodene må bli mer effektive. Sentrale elementer i en slik utvikling vil være:

- optimal utnyttelse av ressurser i eksisterende veg
- god utnyttelse av lokale ressurser
- kompetanseheving og utprøving av nye konstruksjonstyper og produksjonsmetoder.

I Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (AUT) tok en utgangspunkt i sekundærvegnettet i fylket. Telemark har i dag ikke stasjonære varmblandeverk for produksjon av asfalt i nordre og vestre del av fylket. For å få ned transportkostnadene er det helt nødvendig å kunne produsere tilfredsstillende asfaltkvalitet i mindre kvanta nær anleggsstedet. Som et stort fylke med mange lokale grustak var det derfor naturlig å vurdere bruken av kalde masser. Kvaliteten for kalde masser har til nå vært dårligere enn for varme masser. Det er derfor nødvendig å:

- utvikle laboratoriemetoder for bedre å kunne bestemme materialeegenskaper
- utvikle og tilpasse utstyr og produkter
- utvikle produksjonsmetoder som sikrer god kvalitet, samt systematisere og bruke nye og eksisterende vegdata ved planlegging av tiltak.

Nevnte momenter innebar så stor ressursatsing, både økonomisk, menneskelig og faglig, at det var nødvendig med et samarbeid mellom det private og det offentlige. Etter en tilbudsutlysning med påfølgende forhandlinger ble Icopal as valgt som samarbeidspartner i AUT. Prosjektet startet opp i 1994.

## 1.2 Målsetning

Hovedformålet med prosjektet har vært å bedre bæreevnen og utvikle funksjonelle og rimelige, slitende og vedlikeholdsmetoder, fortrinnsvis ved å bruke lokale ressurser og kalde masser. Prosjektet har tatt for seg både skumgrus og emulsjonsgrus, med hovedvekt lagt på slitelag av emulsjonsgrus.

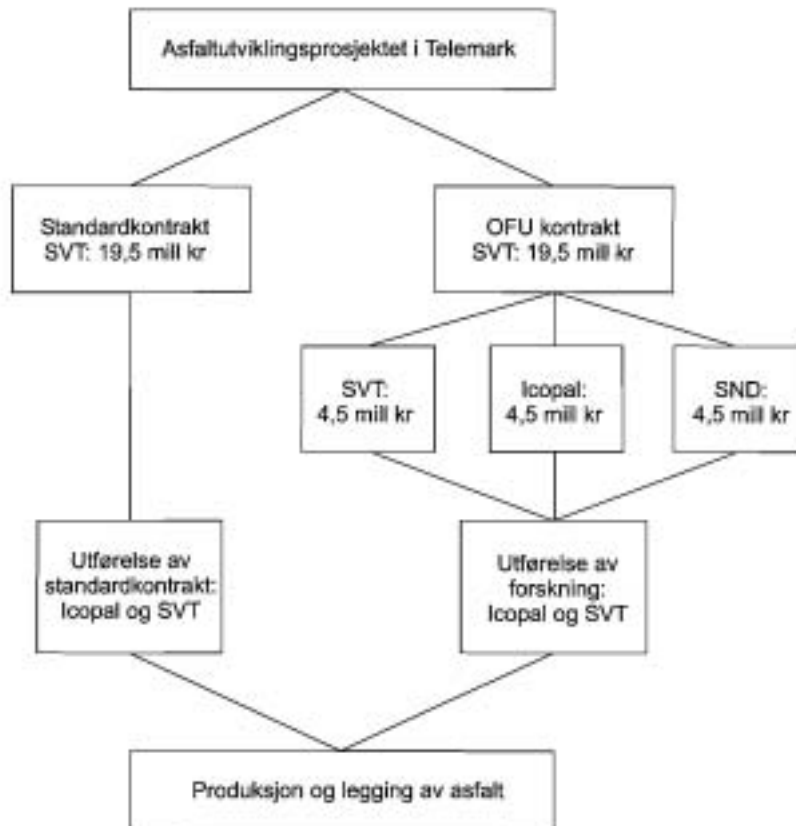
Mål for samferdselspolitikken.

Tilstanden på vegnettet i Telemark er dårlig.

I AUT har en fokusert på bruk av lokale ressurser og kalde masser.

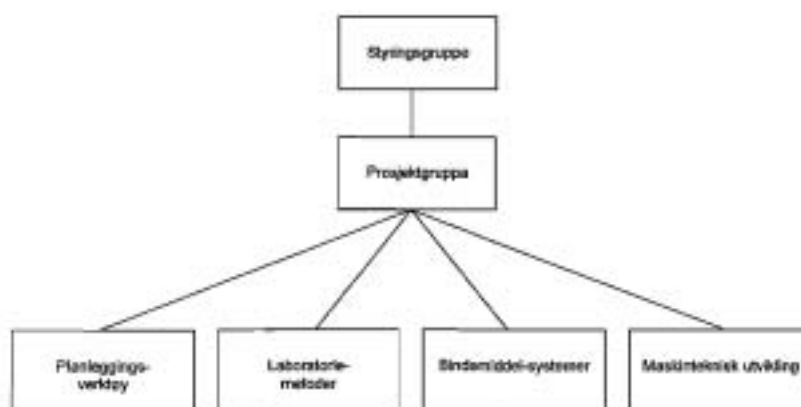
## 1.3 Organisering

AUT har bestått av en forsknings- og en utviklingsdel (Offentlig Forsknings- og Utviklingskontrakt, OFU-kontrakt) med et budsjett på 13,5 millioner kroner og en produksjonsdel (standardkontrakt) med et budsjett på 19,5 millioner kroner, se figur 1.1.



Figur 1.1 Oversikt over AUT-prosjektet; oppdeling, økonomi og utførelse.

Utviklingsdelen (OFU-kontrakten) ble organisert med en styringsgruppe og en prosjektgruppe, se figur 1.2.



Figur 1.2 Organisasjonskart.

Styringsgruppen.

Styringsgruppen har bestått av:

- Arne Aaberg, Icopal as
- Torbjørn Haglund, Statens vegvesen, Telemark
- Åsmund Midtbø, Statens vegvesen, Telemark (sekretær)
- Jostein Myre, Vegdirektoratet (fra 1995)
- Jan Ove Sannes, Statens vegvesen, Telemark (formann)
- Nicolay Wiborg, Icopal as.

Prosjektgruppen.

Prosjektgruppen startet opp med 7 medlemmer. I tillegg har gruppen hatt fast sekretær.

Følgende personer var med fra starten:

- Birger Aase, Statens vegvesen Telemark
- Torbjørn Haglund, Statens vegvesen, Telemark (prosjektleder)
- Beate Hansen, Icopal as (sekretær)
- Torleif Haugødegård, Vegdirektoratet (delprosjektleder)
- Torbjørn Jørgensen, Vegdirektoratet (delprosjektleder)
- Terje Rykhus, Icopal (delprosjektleder)
- Finn Halvor Skaardal, Icopal as
- Roar Telle, Icopal (delprosjektleder).

Fire delprosjekter.

Grunnet omorganisering i Statens vegvesen og interne organisatoriske endringer hos Icopal, ble det fra 1995 gjort følgende endringer i prosjektgruppen:

- Jostein Myre fra Vegdirektoratet overtok som faglig prosjektleder og Torbjørn Haglund fortsatte som økonomi- og regnskapsansvarlig
- Roar Nordang fra Statens vegvesen Telemark overtok som delprosjektleder for Torleif Haugødegård
- Finn Halvor Skaardal overtok som delprosjektleder for Terje Rykhus.

AUT prosjektet ble delt opp i følgende 4 delprosjekt med tilhørende utviklingsmål, se figur 1.2:

1. Planleggingsverktøy for forsterkning:

- å videreutvikle planleggingsverktøy og bruk av tilstandsdata for prioritering av strekninger med forsterkningsbehov og valg av tiltak.

2. Laborariemetoder:

- å videreutvikle laborariemetodene slik at en unngår uforutsette forhold i felten under produksjon, legging eller i løpet av vegens funksjonstid. Dette er knyttet både til bearbeidbarhet, omhylling, vedheft, lastfordeling og bestandighet.

### 3. Bindemiddelsystemer:

- å videreutvikle metoder for tilpasning av emulsjonen til stein-materialet
- å videreutvikle metoder for vurdering av belegg, omhylling, bearbeidbarhet og avrenning
- å undersøke blandeprosessen betydning for massens egenskaper.

### 4. Maskinteknisk utvikling:

- å produsere og legge en homogen kaldasfalt med god bearbeidbarhet og av tilnærmet samme kvalitet som varmasfalt. Dette omhandler utstyr både for produksjon, legging og kompaktering av kaldmasse.

## 1.4 Rapportering

Resultatene fra AUT er rapportert i 6 temarapporter. Laboratorieserien ved Vegteknisk avdeling i tillegg til denne hovedrapporten:

1. Planleggingsverktøy (rapport nr. 86)
2. Mixdesign (rapport nr. 87)
3. Produksjon (rapport nr. 88)
4. Utlegging (rapport nr. 89)
5. Valsing (rapport nr. 90)
6. Driftserfaringer (rapport nr. 91).

Seks temarapporter.

Temaene i publikasjon nr. 92 er mer utfyllende beskrevet i nevnte temarapporter. Det er også skrevet en rekke fagrapporter med detaljerte resultater fra forsøk både i felten og laboratoriet, se AUT-rapporter side 65.

## Planleggingsverktøy

### 2.1 Generelt

Vegnettet i Telemark er svært varierende og har hatt en ugunstig tilstandsutvikling. Behov for å ha et operativt planleggingsverktøy som bruker vegdata (spesielt spor- og jevnhetsmålinger) for dimensjonering av dekkevedlikehold og som ivaretar behovet for differensierte tiltak, er derfor stort.

I dette delprosjektet i AUT har målsettingen vært å utvikle supplerende planleggingsverktøy som:

- identifiserer og lokaliserer problemstrekninger
- dimensjonerer vedlikeholdstiltak.

### 2.2 EDB-system

I dag brukes PMS ved de fleste vegkontor for å planlegge dekkevedlikeholdet på riks- og fylkesvegnettet.

For å bedre beslutningsgrunnlaget har man i AUT-prosjektet videreutviklet et hjelpeprogram til dagens PM-system, TILDEKK.

TILDEKK er et separat program som kobler sammen forskjellige rapporter fra VegDataBanken med mulighet til å skrive ut resultatene. Resultatene blir rapportert pr. PMS-parsell. Programmet bruker rapportene:

- 2617 Dekke pr. PMS-parsell
- 2603 ÅDT pr. PMS-parsell
- 2610 Spor-statistikk pr. PMS-parsell
- 2612 Jevnhets-statistikk pr. PMS-parsell.

Programmet kan gi informasjon om tilstand, tilstandsutvikling samt en oversikt over hva som er gjort på de ulike parsellene over tid.

I AUT er programmet videreutviklet med nytt rapportsett (5 rapporter) som gir muligheter til å sortere etter:

- status for spor og jevnhet, men mulighet for å vektlegge spor og jevnhet ulikt
- status for spor
- status for jevnhet
- midlere sporutvikling
- midlere jevnhetsutvikling.

En målsetting har vært å utvikle supplerende planleggingsverktøy.

TILDEKK er videreutviklet med nytt rapportsett (fem rapporter).

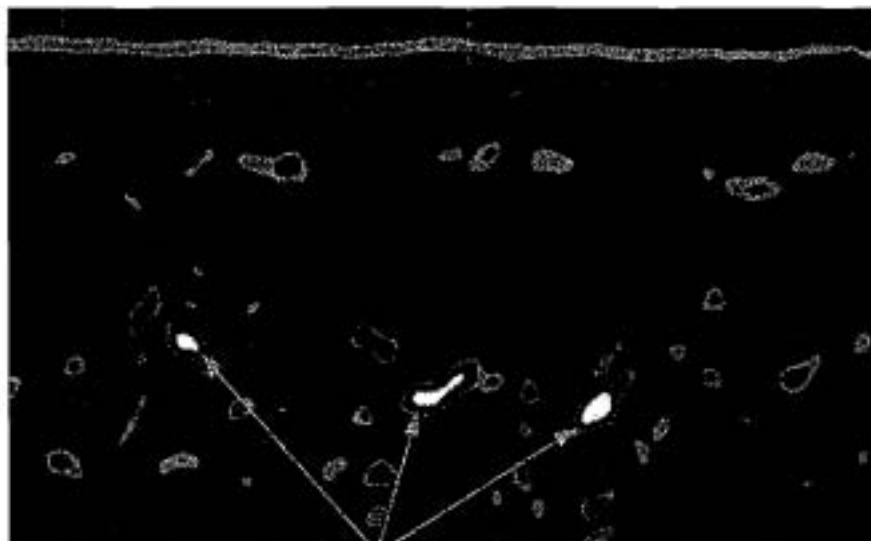
## 2.3 Georadar

I Telemark finnes det en rekke veger med grusbærelag som har høyt finstoffinnhold. Dette fører ofte til unormalt korte dekkelevetider. Dypstabilisering kan være et godt alternativ i slike tilfeller. Dersom innholdet av stor stein er for høyt blir imidlertid metoden ulønnsom pga. stor slitasje på freseutstyret. Derfor ønsket man i AUT-prosjektet å se om det var mulig å finne en geofysisk metode som kan lokalisere og angi mengden store stein.

Metoden måtte tilfredsstille følgende krav:

- rask og enkel datainnsamling
- lokalisere stein som er større enn 100 mm i den øvre del av overbygningen
- rask rapportering.

Georadar ble vurdert til å være den mest lovende metoden. Georadaren fungerer i prinsippet på samme måte som et ekkolodd. Radaren sender ut en kontinuerlig strøm av korte pulser med høy frekvens (10-2500 MHz) gjennom en antenne, og elektromagnetiske bølger trenger ned i grunnen og forplantes mot dypet. Utbredelsen og rekkevidden av radarbølgene er avhengig av de elektriske egenskaper i grunnen, og endringer i disse gir opphav til refleksjoner. De reflekterte signaler mottas av antennen, forsterkes og vises på en papirutskrift eller på en skjerm, se figur 2.1.



Figur 2.1 Radargram for identifikasjon av stein i bærelag, pilene viser stein som er funnet.

I AUT-prosjektet ble Georadaren forsøkt på en fylkesveg i Telemark, fylkesveg 54. I dette forsøket ble det lokalisert stein og steinansamlinger som var av en slik størrelse at de ville skapt problemer for en eventuell dypstabilisering. Oppgraving som ble utført umiddelbart etter målingene, bekreftet at dette var riktig i de fleste tilfeller.

Stor stein i bærelaget er et problem ved dypstabilisering.

Georadar ble utprøvd for å lokalisere stor stein.

Georadar avslører de fleste store steiner, men arbeidet tar lang tid og tolkningen av data er komplisert.

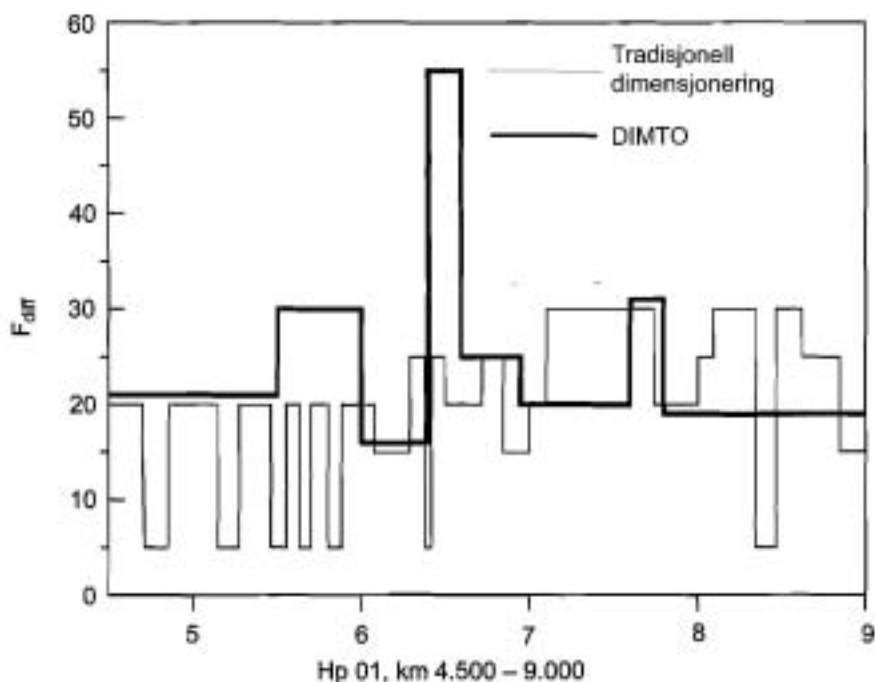
Dataprogrammet DIMTO beregner bæreevne og forsterkningsbehov.

DIMTO gir en fin oversikt over samtlige utførte målinger.

Målehastigheten og dekningsgraden er imidlertid svært begrenset slik at det vil ta uforholdsmessig lang tid å undersøke en vegrute på f.eks. 10 km. Tolkningen av resultatene (radargram) virker svært komplisert, og det vil trolig kreve lang tids erfaring før en behersker tolkingen og kan ha fullt utbytte av denne metoden.

## 2.4 DIMTO

Dimensjonering av forsterkningstiltak på aktuelle veger i AUT-prosjektet (oppgraving-indeksmetoden) har vært utført etter tradisjonell, manuell metode. Med kjennskap til at det fantes EDB-verktøy som var utviklet til formålet (DIMTO), ønsket man i prosjektet å foreta en vurdering av hvordan dette ville fungere. DIMTO er et dataprogram for beregning av en vegs bæreevne og forsterkningsbehov basert på dimensjoneringsnivå 2 i håndbok 018 Vegbygging. Metodikken bygger på tradisjonelle beregningemetoder. Uprøvingen av DIMTO har foregått gjennom 2 ulike beregningseksempler, og resultatene er sammenlignet med tilsvarende manuell beregning. Figur 2.2 viser et eksempel som omfatter en delparsell av riksveg 358.



Figur 2.2 Beregningseksempel fra DIMTO sammenlignet med resultatet fra tradisjonell dimensjonering for riksveg 358.

Vårt inntrykk er at DIMTO er et godt planleggingsverktøy og en fin måte å få oversikt over samtlige utførte målinger på vegen. Det er ofte mye data fra Vegdatabanken som må vurderes, og mange beregninger skal gjøres. Dette medfører store mengder tall og resultater, noe DIMTO med sine grafiske framstillinger gjør det mulig å få en rask oversikt over.



DIMTOs oppdeling av parsellen i delstrekninger etter bæreevne, og forslag til alternative forsterkningsløsninger, gjør at programmet er godt egnet til planlegging av såkalte «differensierte tiltak». DIMTO håndterer ikke evt. behov for grøfting og drenering og beregner heller ikke kostnadene ved de forskjellige forsterkningsalternativene.

Resultatene fra DIMTO må imidlertid brukes med noe forsiktighet. Det er en ren matematisk beregning, og brukers erfaring og lokalkunnskap er av stor betydning for resultatet. I praksis vil det kunne være store variasjoner i oppbyggingen av en eksisterende veg, både når det gjelder massetyper og lagtykkelser, slik at resultatene bør anses som veiledende. Det bør utvises forsiktighet og omtanke ved endring av materialparametre og korreksjonsfaktorer.

For å få mer erfaring med bruk av programmet bør flere konkrete tilfeller beregnes, og ikke minst bør det lages eksempler og regler som gjør at programmet i praktisk bruk gir entydige resultater.

Resultatene fra DIMTO må brukes med noe forsiktighet da det er en ren matematisk beregning.

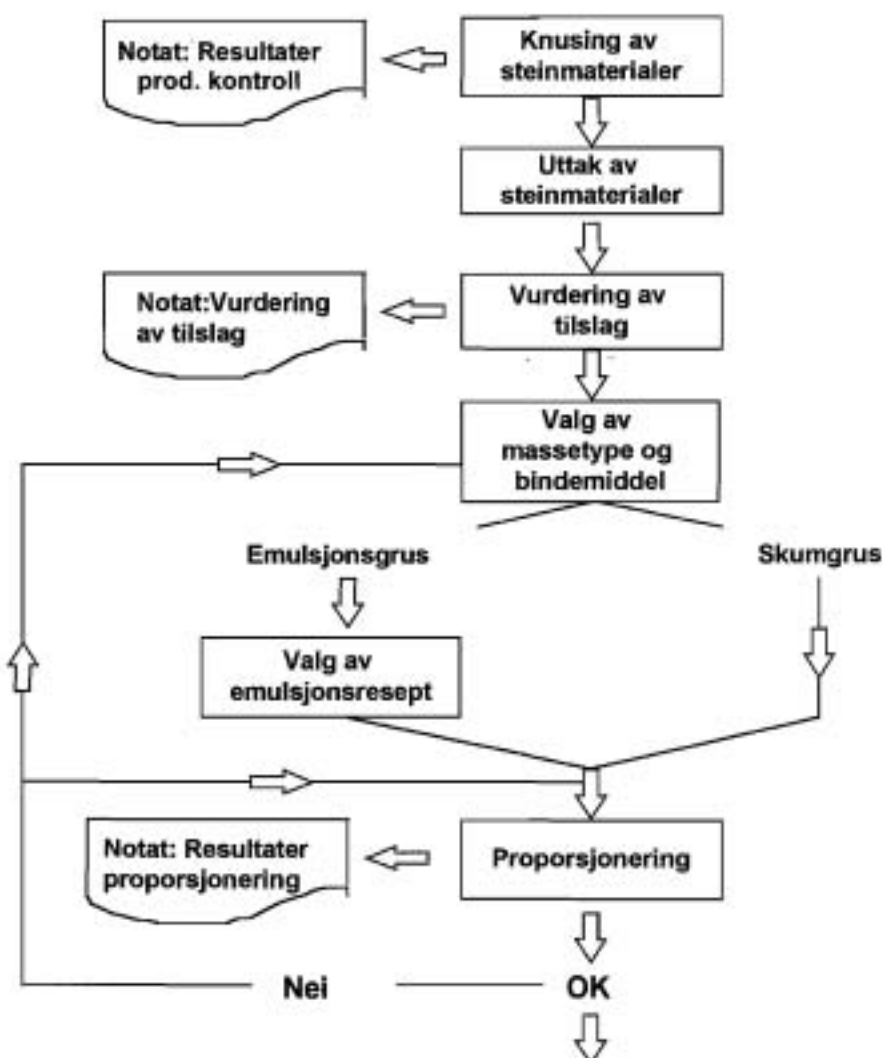
For å trekke gode konklusjoner for brukbarheten av DIMTO trengs mer erfaring.

# Mix-design

## 3.1 Generelt

Mixdesign omfatter prosessen fra bedømmelse av tilslag og bindemiddel til testing av materialeegenskaper på laboratoriet og utarbeidelse av arbeidsresept. En godt gjennomført mixdesign danner grunnlaget for et vellykket resultat på veien. Mixdesign er nødvendig for kvalitetsstyring av produksjon og utlegging av vegmaterialer. Derfor er det nødvendig å sette av tilstrekkelig tid til dette arbeidet. En optimal mixdesign vil kunne medføre at blanding og testing utføres flere ganger. Økt innsats i mixdesignprosessen vil gi økt sikkerhet i utførelsen. Mixdesignprosessen er vist skjematisk i figur 3.1.

I AUT er det arbeidet med verksprodusert kaldasfalt, hovedsaklig med bitumenemulsjon, men også med skumbitumen. Målsetningen var å forbedre laboratoriemetoder for vurdering av kaldasfalt, og å sikre god overensstemmelse mellom laboratorium og felt.



Figur 3.1 Mixdesignprosessen for kaldasfalt.

For å få et godt resultat er det viktig å sette av tilstrekkelig tid til Mixdesignprosessen.

## 3.2 Tilslagsmaterialer

### 3.2.1 Tiltak ved knusing

Kaldasfalt benyttes som oftest på lavtrafikkerte veger i områder med stor avstand til stasjonære varmblandeverk og stasjonære pukkverk. I disse områdene er det av stor økonomisk betydning å kunne utnytte 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 (gjelder bitumenemulsjon)
- 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 finsorteringen
- 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 kan være svært reaktivt, og endringen i reaktivitet er størst den første tiden etter knusing, se også kapittel 3.2.4. Dette vil påvirke emulsjonens brytningstid. Det er også en fordel at materialet blir fuktet en tid før det benyttes. Tilsetting av vann til tørre materialer på transportbåndet til blandekammer er uheldig da fuktigheten ikke rekker å fordele seg på en tilfredsstillende måte.

### 3.2.2 Uttak av steinmaterialer

Riktig uttak av prøver av tilslagsmaterialet er en forutsetning for en vellykket mixdesign. Prøven må være representativ for det tilslaget som senere benyttes i produksjonen. Prøven av tilslagsmaterialet danner grunnlaget for valg av bindemiddel. Det er derfor avgjørende å bevare råvaretilstanden slik den er i felt, både kornfordeling, belegg og fuktighet. Massen ytterst i en lagerhaug har vært utsatt for vær og vind som har påvirket reaktiviteten og vasket bort finstoff. Derfor må prøven tas av materialene inne i lagerhaugen. Bruk av maskinelt utstyr ved prøveuttak er absolutt nødvendig

En aktiv styring av knuseprosessen gir bedre tilslag.

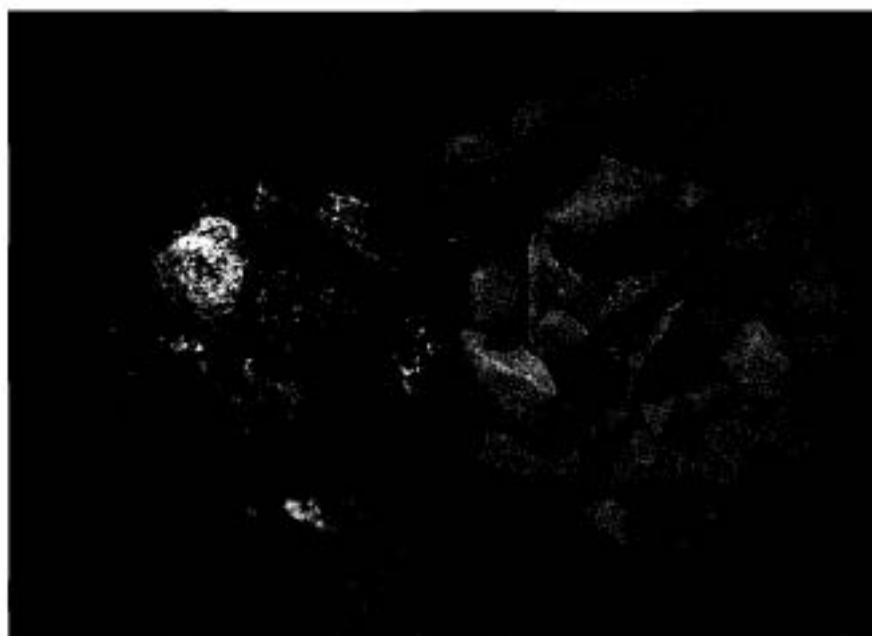
Tiltak for å regulere vanninnhold må vurderes.

Nyknust tilslag er mer reaktivt enn tilslag som er lagret en tid.

Riktig utfatt prøve av tilslaget er avgjørende for vellykket mixdesign.

Belegg på stein kan være et problem.

for å ta ut en representativ prøve (hjullaster, traktorgraver eller liknende). Brudd på denne forutsetningen kan medføre at hele mixdesignprosessen blir mislykket.



Figur 3.2 Belegg på grovsorteringen er ofte et problem ved produksjon av kaldasfalt.

### 3.2.3 Vurdering av egnethet

På laboratoriet analyseres tilslagsmaterialet for å vurdere egnetheten for bruk i kalde bituminøse bærelag eller slitelag. Denne vurderingen består av:

- visuell vurdering: andel knuste flater og belegg
- kornfordeling: tørrsikting og våtsikting
- vurdering av belegg: mengde og hvor godt det sitter på steinene
- humusinnhold
- mekanisk styrke
- reaktivitet.

I tillegg kan det være behov for å undersøke petrografi og mineralogi. Det var opprinnelig en målsetning i AUT å knytte petrografisk beskrivelse av tilslaget til brytningsegenskaper ved blanding med bitumenemulsjon. Oppbygging av en slik erfaringsmatrise er svært tidkrevende og målsetningen ble av den grunn endret. I AUT er det ikke utarbeidet noen metode for å anvende petrografi i mixdesignprosessen.

### 3.2.4 Reaktivitet

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

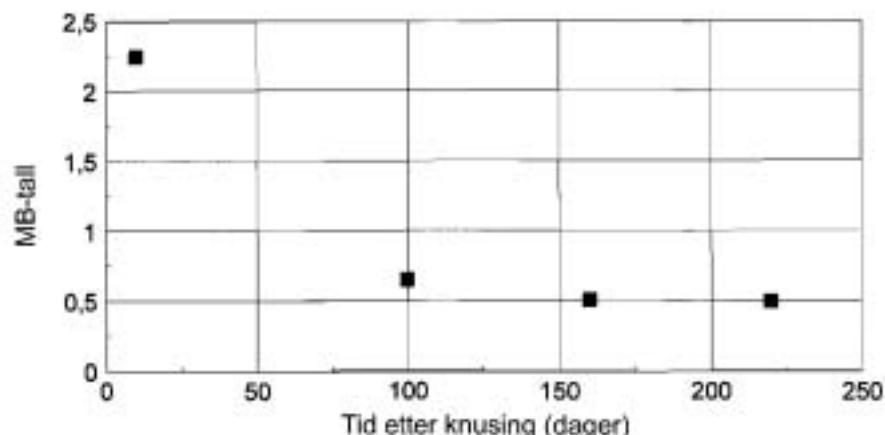
I håndbok 014 er det beskrevet en rettleidende test for brytning, Fransk-russisk fillertest. Denne testen rangerer emulsjoner i tre grupper, rasktbrytende, middelsbrytende og saktebrytende. Både testen og rangeringen har store svakheter; Testen fordi to bitumenemulsjoner med samme brytningsindeks, kan 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 endres over tid på grunn av klimapåkjønning. 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.

I AUT ønsket vi å finne frem til en god laboratoriemetode for måling av reaktivitet. Metylenblåtesten ble valgt. Denne metoden ble prøvd for å undersøke endring i reaktivitet over tid med utgangspunkt i nyknust materiale. Forsøkene som er utført indikerer at metoden kan gi et mål for reaktivitet. Figur 3.3 viser høyere reaktivitet (MB-tall) den første tiden etter knusing.



Figur 3.3 Eksempel på metylenblåtest ved forskjellig lagringstid etter knusing (materiale fra Huvestad)

Reaktiviteten til steinmaterialet påvirker emulsjonens brytning.

Metylenblåtesten gir et mål for reaktivitet.

## 3.3 Valg av masstype og bindemiddeltype

### 3.3.1 Bærelag

Det er to hovedårsaker til at bærelag bitumenstabiliseres:

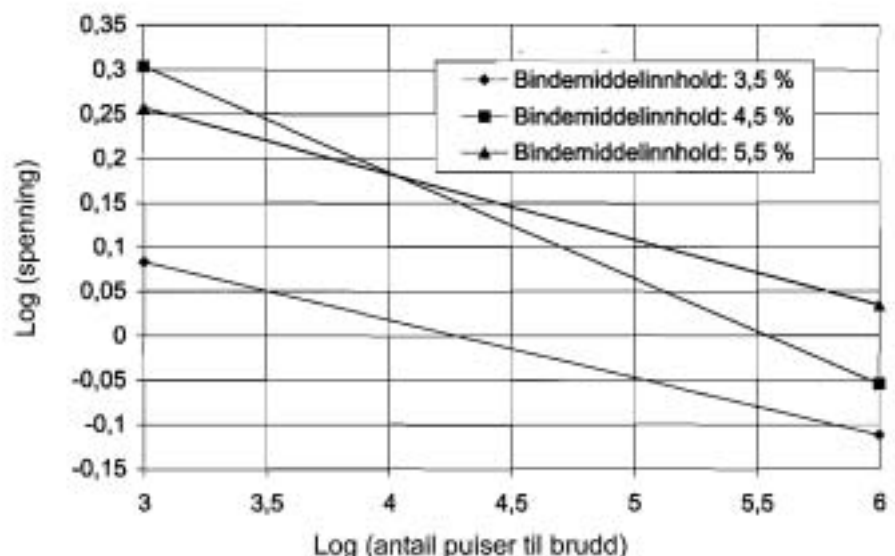
- bitumenet binder finstoffet slik at materialets evne til å ta opp og holde på vann reduseres. Det gjør bærelaget mindre vannømfintlig og utsatt for frostskafer.
- bitumenet øker stivheten i bærelaget slik at den lastfordelende evnen forbedres.

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

- stabilisering på vegen ved bruk av materiale som allerede finnes i vegkroppen eller ved tilføring av tilslagsmaterialer direkte på vegen
- produksjon av bærelag i blandeverk.

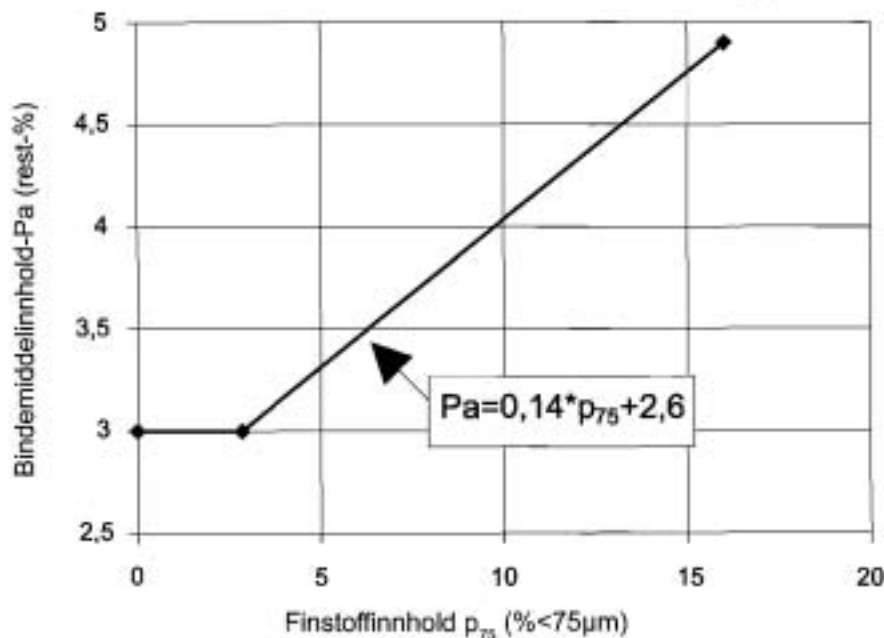
Bindemiddelinhold bør velges slik at kravet til lastfordelende evne tilfredsstilles, men samtidig være høyest mulig for å gi god bestandighet og utmatningsstyrke. Ved bruk av emulsjon kan kravet til bindemiddeldekning være bestemmende. Utmatningsforsøk i AUT viser at en økning av bindemiddelinhold fra 3,5 % til 4,5 % (restbitumen) gir bedre utmatningsstyrke, se figur 3.4.

Økt bitumeninnhold gir bedre bestandighet.



Figur 3.4 Utmatningsforsøk, konstant spenning, N-s kurver.

I henhold til håndbok 018 er minimumskravet til bindemiddelinnhold 3 %. Bindemiddelbehovet øker når fillerinnholdet øker, som vist i figur 3.5.



Figur 3.5 Krav til bindemiddelinnholdet på grunnlag av fillerinnholdet i massen (ref. håndbok 198).

Bindemiddelbehovet øker når fillerinnholdet øker.

### 3.3.2 Slitelag

Slitelag utsettes for større påkjenninger i form av trafikk og klima enn bærelag. Derfor stilles det strengere krav til slitelaget. Normalt benyttes det mer bitumen i slitelaget enn i bærelaget. Emulsjonsmasser har tradisjonelt vært benyttet fremfor skumbitumenmasser. Årsaken er at emulsjonsmasser har bedre initialstyrke og bindemiddeldekning rett etter utførelse. Skumbitumenmasser trenger påvirkning av trafikk og varme for å oppnå god bindemiddelfordeling. Forsøk i AUT med skumbitumen i slidedekker har vist meget positive resultater. God kornfordeling for tilslaget og riktig valsing har vært en forutsetning for de vellykkede resultatene.

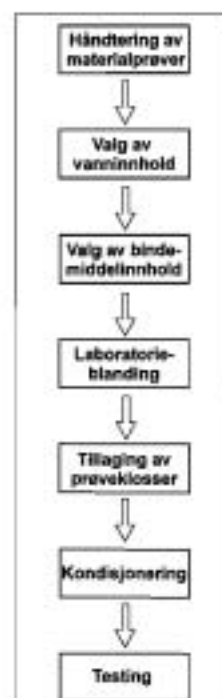
I AUT har det vært benyttet 5,0 % bitumen i slitelaget og 4,5 % bitumen i bærelaget. I alt vesentlig er det benyttet B370 som basisbitumen. Valget av basisbitumen er foretatt ut fra hva som anses for optimalt for vegene der massen er benyttet. B180 og MB3000 og MB10000 er også benyttet i forsøkssammenheng.

## 3.4 Proporsjonering

### 3.4.1 Generelt

I AUT er proporsjoneringen foretatt etter prosedyren vist i figur 3.6. Det er lagt stor vekt på å bevare råvaretilstanden, både når det gjelder finstoffordeling (eventuelt beleg) og fuktighet, spesielt med hensyn på emulsjonstilpasning. I de fleste tilfeller er materialene splittet og satt sammen

uten tørking og sikting. I løpet av prosjektet har en i større grad fokusert på vanninnholdets betydning, blant annet på grunn av bindemiddelavrenning ved transport. Bestemmelse av optimalt vanninnhold er en viktig del av proporsjoneringen. Flere forsøk har indikert dårlig samsvar mellom blanding av prøvemasse på laboratoriet og blanding i verk. Det tilstrebes å gjøre proporsjoneringen så lik virkelig produksjon som mulig. Standard kondisjoneringsprosedyre som benyttes i Norge er etterprøvet i AUT og konklusjonen er at en bør holde fast ved standardprosedyren med lagring i varmeskap ved 40 °C i 7 døgn og påfølgende 8 fryse/tine sykler. Fryse/tine syklene gir størst påvirkning ved lave bitumeninnhold. Sammenlikning av treaksialforsøk og indirekte strekkstyrke ved Sintef viser at den formelen,  $a = 0,38 p^{1/3}$ , som benyttes for utregning av lastfordelingskoeffisient i vegnormalen, dimensjoneringsnivå 2, (håndbok 018, likning 512.1) også gjelder for kaldasfalt. Denne formelen er tidligere satt opp på grunnlag av tester utført på varme og halvvarme masser, men i praksis oftest benyttet for kalde masser.



Figur 3.6  
Proporsjonerings-  
prosessen.

Bestemmelse av optimalt vanninnhold er en viktig del av proporsjoneringen.

### 3.4.2 Vanninnhold

Det totale væskeinnhold i kaldmassen, vanninnhold og bindemiddelinnhold, påvirker følgende egenskaper:

- bindemiddeldekning (brytning av emulsjon)
- avrenning
- bearbeidbarhet
- kompakterbarhet
- lastfordelende evne.

I AUT er vanninnholdet i tilslaget og i massen fulgt nøye, spesielt med hensyn på avrenning. Erfaringene viser at både for lite og for mye fuktighet kan gi avrenning av ubrutt emulsjon ved produksjon og/eller transport. Når vanninnholdet i massen ligger i området rundt Modifisert Proctor for tilslaget (uten bindemiddel) ble det ikke observert avrenning. Samtidig hadde massen god bearbeidbarhet. Bestemmelse av Modifisert Proctor er derfor en viktig del av proporsjoneringen, og tilsiktet vanninnhold beskrives i arbeidsresepten. Som regel kan en gå ut fra at vanninnholdet ( $w$ ) i massen etter innblanding av bindemiddel bør være i området:

$$w_{opt} \text{ til } w_{opt} = 0,5 \times \text{bitumeninnhold}$$

hvor

$$w_{opt} = \text{optimalt vanninnhold for tilslaget ved Modifisert Proctor}$$

Vanninnholdet i tilslaget (finsorteringen) reguleres på produksjonsstedet, enten ved presenning mot nedbør eller vanning.



IAUT er det utviklet en ny avrenningstest hvor det benyttes en større mengde masse, 6 kg, enn i trakttesten som tidligere er benyttet. Nyblandet masse helles i en uthullet siktesats som står i en siktemaskin for våtsikting, se figur 3.7. Avrenningstesten er nærmere beskrevet i AUT-rapport «Mixdesign» (Laboratorieserien nr.87).

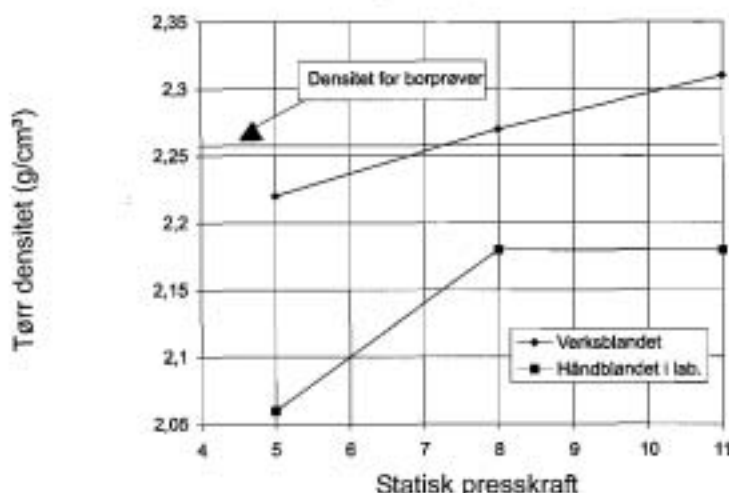


Figur 3.7 Apparat for ny avrenningstest for emulsjonsmasse.

Riktig vanninnhold reduserer faren for avrenning.

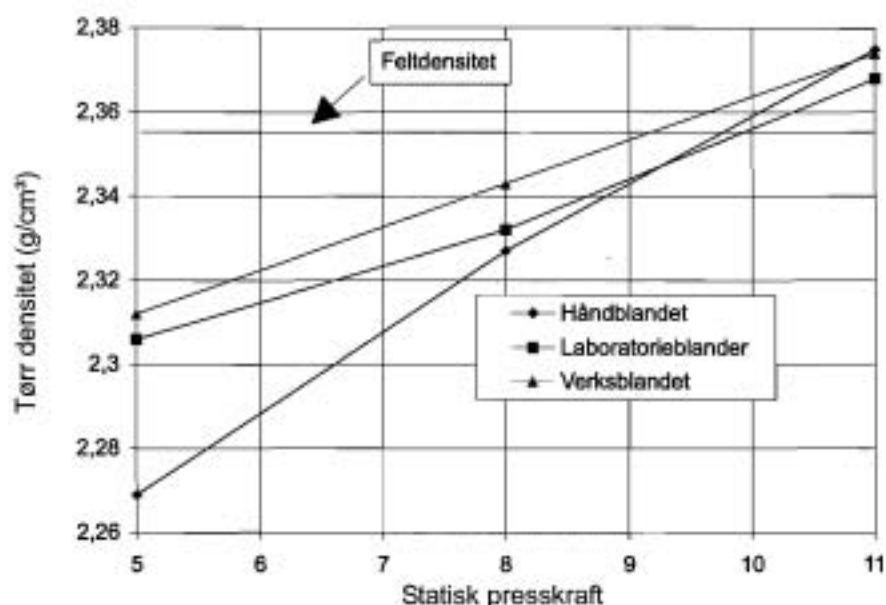
### 3.4.3 Laboratorieblending

Det er utført flere forsøk på å sammenlikne densiteten i felten med hva en får ved statisk pressing av prøver, både laboratorieblandinger og fra produksjon. Ved flere anledninger er det registrert store forskjeller mellom verksblandet og laboratorieblandet masse, se figur 3.8. Ved andre forsøk er ikke forskjellene så store, se figur 3.9. Nødvendig presskraft for å oppnå samme densitet som i felt varierer en del, men gjennomsnittet ligger nær 8 tonn som foreskrevet i standardprosedyren.



Figur 3.8 Sammenlikning av densitet for borkjerner og statisk pressede prøver i laboratorium for riksveg 36.

Det kan være store forskjeller mellom laboratorieblandet og verksblandet masse.



Figur 3.9 Sammenlikning av densitet for borkjerner og statisk pressede prøver i laboratoriet for riksveg 45.

Gyratorisk kompaktor kan benyttes for å vurdere bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet.

#### 3.4.4 Gyratorisk kompaktor

Målsetningen i AUT har vært å utvide erfaringsgrunnlaget for bruk av gyratorisk kompaktor til vurdering av kalde masser ved å etablere en kompakteringsmetode som gir sammenliknbare densiteter med felt, og undersøke om resultatene fra kompakteringen med gyratorisk kompaktor kan benyttes til å vurdere massens bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet.

Det er benyttet gyratorisk kompaktor av typen ICT, og samme innstilling som CEN-prosedyren for kompaktering av varme masser. Følgende kompakteringsprosedyre anbefales:

- først kompakteres en prøveserie å minimum 3 prøver med 200 rotasjoner
- deretter kompakteres en ny prøveserie å minimum 3 prøver til 96 % av densiteten ved 200 omdreininger, ( $N_{design}$ ).

Lastfordelingskoeffisient bestemmes ut fra indirekte strekkforsøk. Erfaringene i AUT gjelder kun emulsjonsmasse og ikke skumbitumenmasser. Verksblandete prøver oppnådde lavere densitet og lavere E-modul enn laboratorieblandete prøver. Det er liten forskjell mellom håndblanding og bruk av laboratorieblender. Resultater fra forsøk med Nottingham Asphalt Tester (NAT) bekrefter resultatene fra statisk indirekte strekkforsøk. Følgende forslag anbefales for vurdering av bearbeidbarhet:

- Densitet (kompakteringsgrad etter 10 rotasjoner,  $N_{ini}$ ):
  - høye densitetsverdier tolkes som god bearbeidbarhet
  - lave densitetsverdier tolkes som dårlig bearbeidbarhet
- Skjærmotstand,  $G$ , benyttes til vurdering av bearbeidbarhet:
  - stor  $G$  indikerer tungt bearbeidbar masse
  - liten  $G$  indikerer lett bearbeidbar masse.

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  $N_{design}/N_{200}$ :

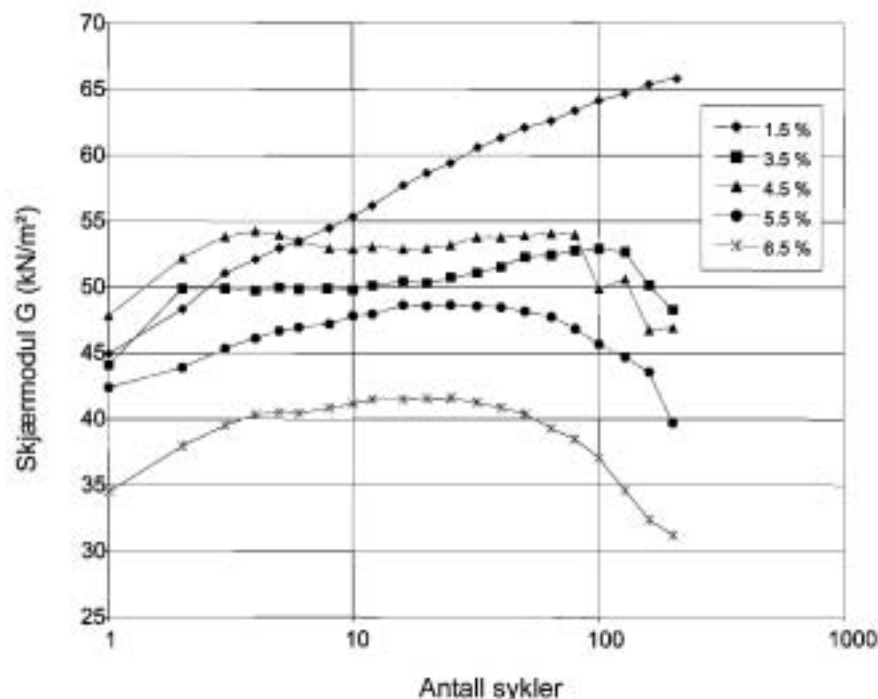
- store verdier viser at det må mange rotasjoner til for å oppnå god kompaktering, dvs. tungt kompakterbar masse
- små verdier viser god kompakterbarhet.

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

- stor helning viser god kompakterbarhet
- liten helning viser dårlig kompakterbarhet.

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 3.10 Skjærmodul  $G$  for masser med forskjellig bitumeninnhold.

## 3.5 Egenskaper for kaldmasse

### 3.5.1 Lastfordeling og stabilitet

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
- indirekte strekkforsøk (statisk).

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

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

Forsøkene har vært utført på Sintef med referanse i feltforsøk på riksveg 36 i 1995.

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 indirekte strekkforsøk
- indirekte strekkforsøk og treaksialforsøk viser sammenfallende resultater, forutsatt at treaksialforsøkene blir utført med side-spenning i området tilsvarende det som opptrer i vegen
- 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/tinepåkjenning.

### 3.5.2 Vurdering av hulrommets betydning

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 unnslippe.

For 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

Resultater viser at formelverket for beregning av lastfordelingskoeffisient i håndbok 018 også gjelder for emulsjonsmasser.

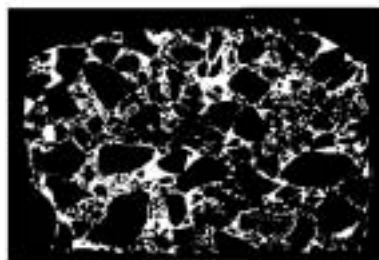
Masser med lavt bitumeninnhold tåler fryse/tine-påkjenninger dårligst.

porer med en drenerende effekt. Massen er derfor ikke like utsatt for bindemiddelstripping. Borkjerner fra kaldasfaltdekker i Telemark viser hulrom i området 5-10 %, med noen tilfeller opp mot 15 %. I Frankrike og Sør-Afrika anses 15 % å være en maksimumsgrense. Oppfølging i AUT viser enten ingen endring av hulrom over tid eller i noen tilfeller en svak reduksjon i hulrommet, på inntil 2 %.

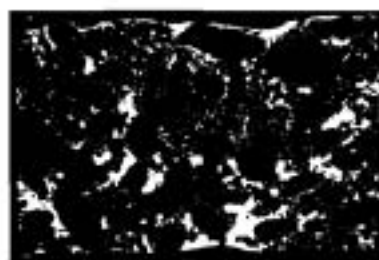
Når kaldasfalt er mettet med vann er det ikke mulig å oppnå høyere densitet ved kompaktering. Det er derfor en klar sammenheng mellom vanninnhold i massen og hulrommet som kan oppnås. Av den grunn er det vanskelig å oppnå lavere hulrom enn 5 % for kaldasfalt.

I AUT er hulromsfordelingen analysert. Vi startet med følgende hypotese: «Mens hulrommet i en varmasfalt består av endel større luftlommer, 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 riksveg 358 analysert. Analysene av prøvene fra gyratorisk kompaktor viser at kaldasfalten har 5 til 10 ganger flere luftporer enn varmasfalt, men størrelsen på hulrommene er mindre, se figur 3.11. Borkjerner bekrefter denne tendensen. En oppfølging av borkjerner tatt ut på samme sted 1,2 og 3 måneder etter utlegging viser ingen signifikant endring i hulromsstrukturen.

Hulromstrukturen er forskjellig i varmasfalt og kaldasfalt.



Kald



Varm

Figur 3.11 Planslipanalyse av kaldasfalt med 12 % hulrom og varmasfalt med 7 % hulrom (lyse felt er hulrom).

## Emulsjonsteknologi

### 4.1 Generelt

I AUT arbeidet 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 vegbyggingsmaterialer.

Følgende analytiske analysemetoder er undersøkt og utprøvet i AUT:

- dråpestørrelsesfordelingen i emulsjon ved hjelp av laserdiffraksjonsmåling
- 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.

### 4.2 Dråpestørrelsesfordeling

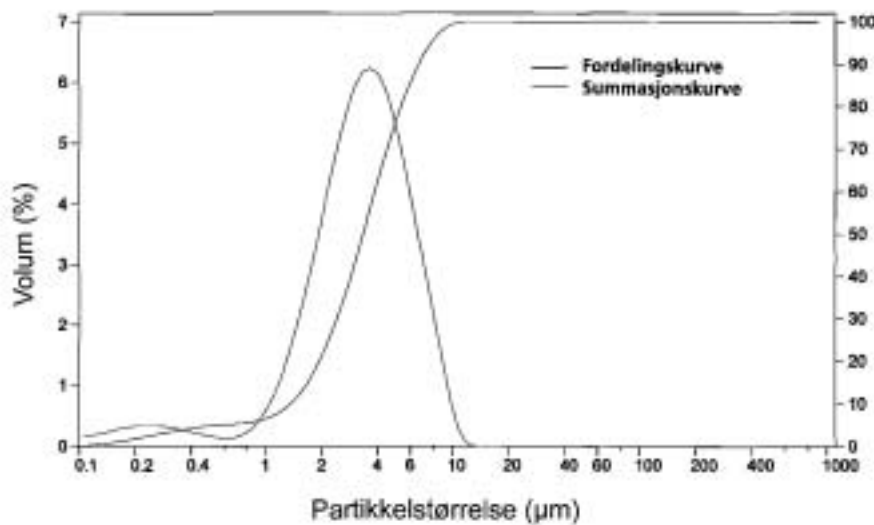
Mange av emulsjonens egenskaper avhenger av bitumendråpenes størrelsesfordeling. Hvilken dråpestørrelse og spredning som er ønskelig avhenger av bruksområdet. Normalt ligger bitumendråpene i størrelsesområdet 3-10  $\mu\text{m}$ . Ved produksjon av kaldasfalt er det ønskelig med små dråper og liten spredning i størrelsen. Dette gir en stabil emulsjon med jevnt brytningsforløp, velegnet for blanding med tilslag i tvangsblender. Ved hjelp av laserdiffraksjon kan dråpene måles på en enkel og rask måte. I AUT er det benyttet et instrument av typen Coulter LS130, se figur 4.1. Apparatet er også godt egnet til analyse av kornfordelingen for filler.

Dråpestørrelsen er avgjørende for emulsjonens egenskaper.

Laserdiffraksjon benyttes til å måle dråpe-  
størrelsesfordelingen i emulsjoner.



Figur 4.1 Laser-  
diffraksjonsapparat  
for analyse av  
bitumenemulsjon  
og filler.



Figur 4.2 Utskrift fra laserdiffraksjonsmåling som viser dråpestørrelsesfordeling i bitumenemulsjon.

### 4.3 Bestemmelse av fri amin i vannfase

En bitumenemulsjons brytning og vedheftsegenskaper avhenger av emulgatorens fordeling mellom bitumen og vannfase. Esso har utviklet en analysemetode for å kunne bestemme fri amin i vannfasen, CAT (Centrifugation and Amin Titration). Metoden består av to trinn:

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

Vegdirektoratet, Veglaboratoriet har utstyr for å foreta denne analysen. Innkjøring og utprøving av utstyret er igangsatt.

### 4.4 Dråpetensiometer

Dråpetensiometer måler overflatespenningen på en bitumendråpe i en vannfase. Målingen kan foretas ved omkring 90 °C, som tilsvarer produksjonstemperatur 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. I AUT har vi ikke hatt en konkret målsetting for vurdering av hva dråpetensiometeret kan gi oss av informasjon. Vi har vært søkende i erkjennelse av at vi trenger nye verktøy for en videre utvikling av

Fordelingen av emulgator i emulsjoner påvirker brytning og vedheft.

Dråpetensiometer kan gi interessant informasjon om emulsjonens egenskaper.

emulsjonsteknologien. Det er utført analyser av bitumen og vannfaser fra AUT ved I.T.Concept i Frankrike. Metoden kan benyttes til å finne optimale bitumenemulgator kombinasjoner, samt å forutsi potensialet for å kunne produsere små dråper. Det er mulig å beregne konsentrasjonen av emulgator på bitumendråpen som har kjent areal. Kombinert med laserdiffraksjonsanalyse kan det være en mulighet til å bestemme emulgatorfordelingen i en emulsjon.

## 4.5 Zetapotensiale

Måling av Zetapotensiale er ofte benyttet i forbindelse med bitumenemulsjon. Zetapotensialet er et mål for bitumendråpenes ladning. Denne verdien kan knyttes opp mot emulsjonens egenskaper. Dråper med høyt Zetapotensiale vil være stabile. Noen analyser på prøver fra AUT prosjektet er utført ved Akzo Nobels laboratorium i England. En ulempe ved dette utstyret er at emulsjonen blir fortynnet før måling, noe som påvirker emulsjonen i forhold til opprinnelig tilstand.



## 5.1 Generelt

Kaldasfalt benyttes normalt på lavtrafikkerte veger langt fra stasjonære varmblandeverk. Ofte benyttes lokale steinforekomster nær parsellen eller materialer fra vegkroppen. I AUT er det benyttet forekomster nær vegparsellen som skulle utbedres. All produksjon er foretatt på et enkelt blandeverk. Produksjonsutlegger eller bindemiddeltilsetning i fres er ikke benyttet i prosjektet.

I Norge har man lang erfaring i bruk av åpen kornkurve og mykt bindemiddel. Det gir en masse som er lett å mellomlagre og legge ut, men som er utsatt for vridningsskader og deformasjonsskader kort tid etter utlegging. I AUT har målsetningen vært å produsere masser med tett kornkurve og stivt bindemiddel, dvs. en kaldprodusert masse med egenskaper tilsvarende Agb. Det har fortrinnsvis vært benyttet bitumenemulsjon som bindemiddel, men også skumbitumen.

Problemer med kaldasfalt med stivt bindemiddel har vært inhomogenitet, finstoff-bitumen klumper, bindemiddelavrenning og tung bearbeidbarhet. Resultatet har vært ujevne dekker med høyt hulrom.

Arbeidet i AUT er vesentlig gått ut på å øke kontrollen med tilslaget, forbedre blandeprosessen og å utarbeide emulsjonsresepter som gir lettere bearbeidbar masse.

## 5.2 Tilslagsmaterialer

Ved enkel produksjon av tilslag fra lokale forekomster er det viktig å unngå humus og finstoffbelegg på stein. Tilslaget bør splittes i to eller tre sorteringer for å kunne ha kontroll på sam- mensetningen. Variasjon i fillerinnhold vil påvirke bindemiddelfordelingen i massen. Det er billigere å foreta tiltak under knuseprosessen, enn i ettertid å gå inn med tiltak for å bedre kvaliteten på tilslaget. Produksjon av tilslag bør foregå minst 3-4 uker før produksjon av kaldasfalt, både fordi nyknust materiale er svært reaktivt og fordi det er behov for tid til å foreta en tilfredsstillende mixdesign. En god planlegging og godt forarbeid er nøkkelen til suksess.

Vanninnholdet i tilslaget er av avgjørende betydning for bindemiddeldekningen, bearbeidbarheten og eventuell avrenning av bindemiddel. Vanninnholdet i tilslaget må ligge nær opptil optimalt vanninnhold bestemt ved Modifisert Proctor, se kapittel 3.4.2. Regulering av vanninnholdet foretas på finsorteringen. Hvis det er mye nedbør må haugen dekkes til med plast. Er vanninnholdet for lavt må haugen vannes. Det er vanligvis for sent å tilsette vann på transportbåndet inn i blandekammeret, fordi vannet da ikke rekker å fukte tilslaget tilstrekkelig.

Produksjon av tilslag bør foregå i god tid før produksjon av emulsjonsmasse.

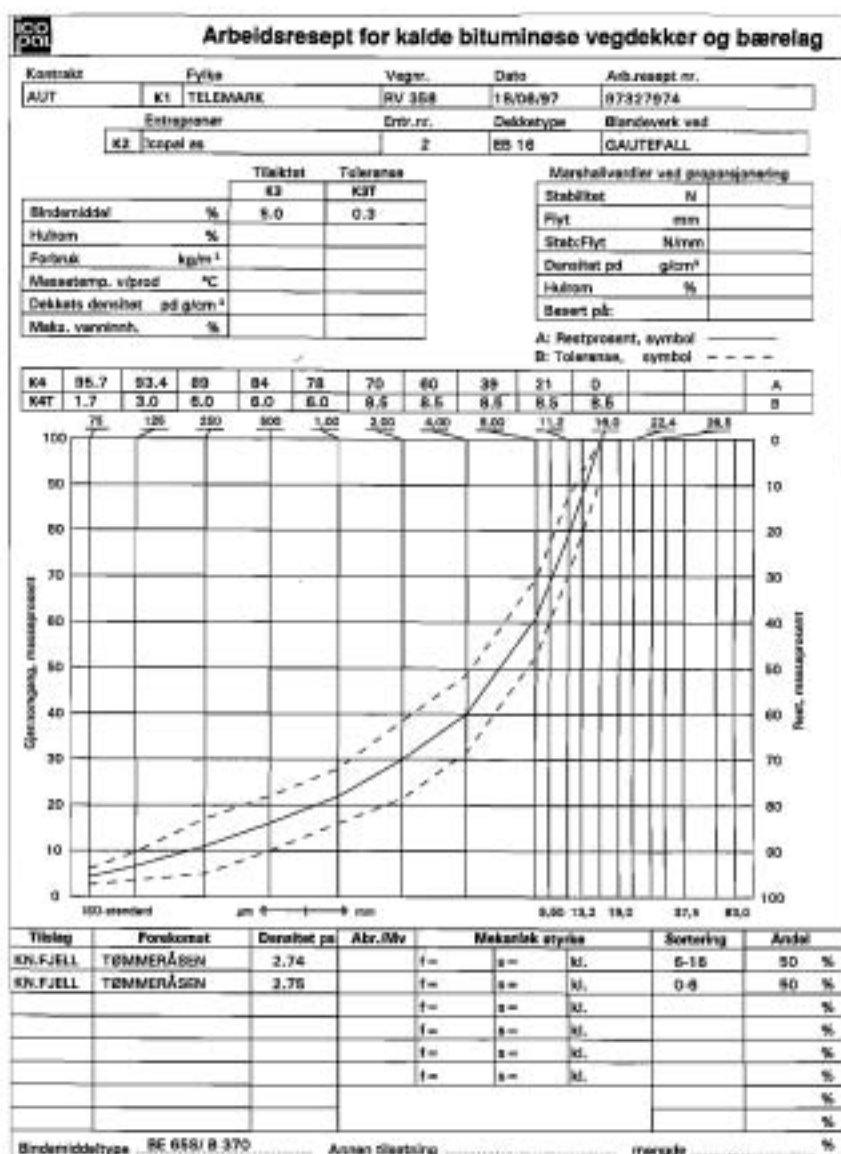
Vanninnholdet i tilslaget bør ligge nær opptil optimalt vanninnhold ved Modifisert Proctor.

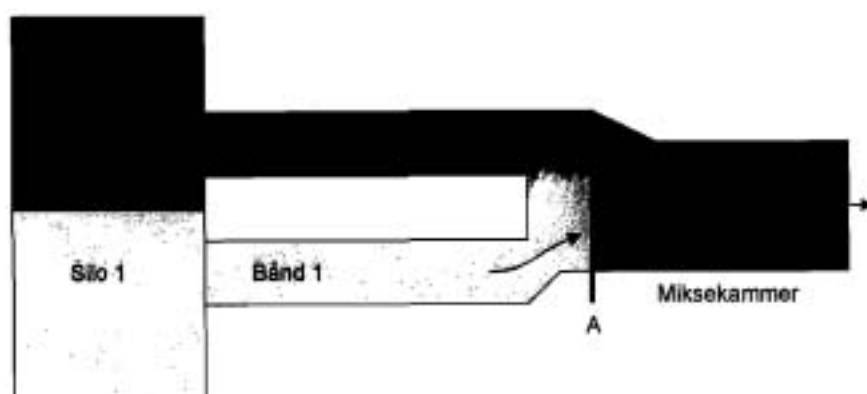
## 5.3 Bindemidler

I AUT har bitumenemulsjon (65 %) med basisbitumen B370 vært benyttet. Forsøk har vært utført med emulsjoner med andre basisbitumen, skumbitumen og kombinasjon av skum og emulsjon.

## 5.4 Massetyper

Det ble produsert tett emulsjonsmasse med forskjellige materialforekomster til bærelag og slitelag, normalt bitumeninnhold i bærelag 4,5 % og for slitelag 5,0 %. Eksempel på arbeidsresept er vist i figur 5.1. Skumbitumenmasse ble kun benyttet ved forsøk. Slitelag med skumbitumen ble vellykket.





Figur 5.2 Prinsippskisse av kaldblandeverk benyttet i AUT.  
(A og B er bindemiddelramper).

## 5.5 Blandeprosessen

Blandeverket besto av to transportører for tilslag og to bindemiddeltilsetninger, se figur 5.2. Ved normal produksjon ble grovsorteringen matet inn på bånd 1, 1/3 av bindemiddelmengden tilsatt i punkt A, finsorteringen matet inn på bånd 2 og resten av bindemidlet tilsatt i punkt B. Ved forsøk er det mulig å variere innmatningen. Det er mulig å benytte forskjellige bindemidler i de to tilsetningspunktene, f.eks. skumbitumen og emulsjon samtidig.

Ved produksjon av kaldasfalt på blandeverk ønsket vi å oppnå:

- homogen masse uten klumper av finstoff og bindemiddel
- masse med god vedheft mellom tilslag og bitumen
- masse med god bearbeidbarhet.

Ved bruk av bitumenemulsjon ønskes en masse som:

- har god omhylling
- har rask og god vedheft, samtidig som massen er lett å bearbeide
- ikke har avrenning av brunt brytningsvann.

For å oppnå en homogen masse uten klumper (agglomer) ble det utført en rekke tiltak og justeringer på blandeverket. I begynnelsen ble det gjort forsøk med modifisering av en Lucksta mikser (oljegrusblander), bl.a. antall og utforming av mikselabber. Senere ble en helt ny mikser bygget av firmaet Idecon. Idecon mikseren har en annen utforming av blandekammer og mikseskovler, se figur 5.4. Denne blanderen gir en emulsjonsmasse med svært få klumper.

Slitasje på produksjonsutstyret har vært et problem. Etterhvert ble materialene i blandekammer og mikseskovler endret slik at problemet har avtatt. Idecon blanderen er utstyrt med hetolje oppvarming, dette letter rengjøringen av blanderen, noe som i sin tur påvirker homogeniteten i produsert masse.

En målsetning har vært å produsere homogen masse som er lett å legge.

Idecon blanderen ga en mer homogen masse enn Lucksta blanderen.



Figur 5.3 Kaldblandeverk i drift på Gautefall.

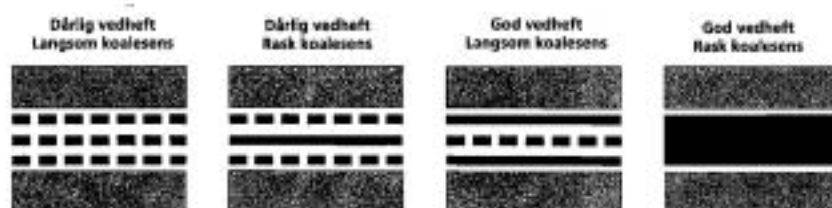


Figur 5.4 Mikseskovelene i Idecon-blanderen.

Tilpasning av emulsjon er nødvendig for å oppnå god masse.

En god bearbeidbar masse med god omhylling og vedheft krever godt tilpasset emulsjon. En forutsetning for å kunne tilpasse emulsjonen er jevn kvalitet på tilslaget og forholdsvis konstant fuktighet. Det ble bestrebet å oppnå en rask vedheft av bitumen til steinmaterialet men en langsom koalesens (oppbygging av bindemiddelnettverk).

Emulsjonen starter brytningen i blandekammeret, men er først ferdig brutt etter utlegging og kompaktering, se figur 5.5. Situasjon nummer 3 fra venstre i figuren viser ønsket tilstand.



Figur 5.5 Vedheft og koalesens. Det hvite området er tilslag, rødt område er bindemiddel; heltrukken strek viser brutt emulsjon og stiplet strek viser ubrutt emulsjon.

For et par av forekomstene som ble benyttet som tilslag, måtte grovsorteringen vaskes. Våtsikting av grovsorteringen ga 5-6 % filler. Vasket stein ga 100 % omhylling, mens uvasket stein ga svært dårlig omhylling. Andre forekomster uten belegg ga 100 % omhylling uten vasking.

Et forsøk med å «vaske» av belegg på grovsorteringen ved hjelp av hurtigbrytende emulsjon, viste at dette kan være en aktuell metode. Emulsjonen bryter på belegget, deretter skrelles bitumen og finstoffbelegg av de grove steinene. Denne metoden kan benyttes på steder hvor vasking med vann ikke kan foretas på grunn av faren for forurensning. I praksis fikk vi ikke benyttet denne metoden fordi «vaskingen» ikke lot seg kombinere med produksjon i en operasjon, fordi det ble for kort tid mellom tilsetning av rask emulsjon i første rampe (A) og resten av emulsjonen i annen rampe (B), se figur 5.2. Enten må grovsorteringen «vaskes» i en egen operasjon eller så må blandeverket konstrueres med to påfølgende blandekammer.

## 5.6 Masseegenskaper

Bedring av emulsjonsmassens bearbeidbarhet var en av målsetningene i AUT. Målinger på forskjellige massetyper med samme tilslag og tilnærmet samme kornfordeling, viser at emulsjonsmasse er tyngre bearbeidbar enn andre massetyper. Målingene er utført med Lab.screed (Nynäs Workability Test), se figur 5.6 og 6.2. Av figurene fremgår det at emulsjonsmasse er tyngre å bearbeide enn skumbitumenmasser og varme masser.

Forsøk med forskjellige kjemikalier og konsepter ble utarbeidet. Ceca og Akzo Nobel deltok i disse forsøkene. Det er vanskelig å bedre bearbeidbarheten uten at dette går utover vedheft og initialstyrke. Noen av forsøkene virker lovende.

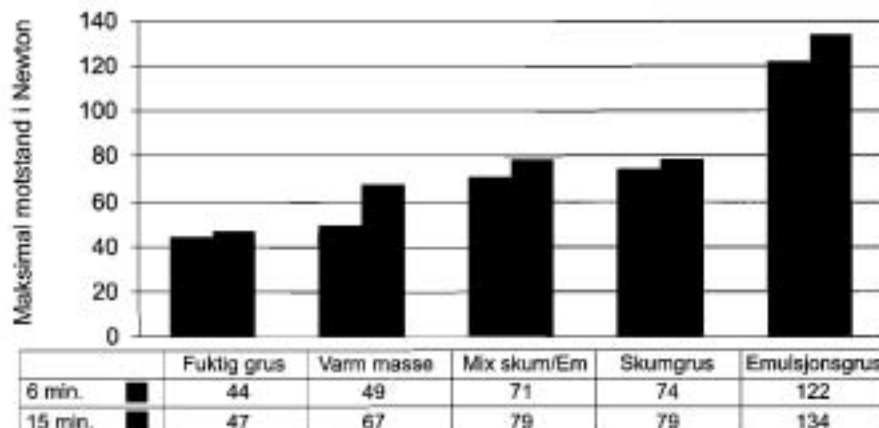
Emulsjonen må ha god vedheft og langsom oppbygging av bitumen-nettverk.

Det er mulig å fjerne belegg på stein ved hjelp av bitumen.

Emulsjonsmasser er vesentlig tyngre å bearbeide enn skumbitumenmasser og varme masser.

Kaldasfalt er lagt ut på vegen med godt resultat.

Et varmproduisert asfaltdekke består av steinskjelett, bitumen og luftporer. Kaldproduisert asfalt består i tillegg av vann. I løpet av prosjektet har det blitt tydeligere at vanninnholdet i tilslaget er avgjørende for å få gode masseegenskaper, og for å unngå avrenning av brytningsvann. En stadig større del av kvalitetskontrollen er lagt til kontroll av fuktighetsinnholdet i steinmaterialet.



Figur 5.6 Bearbeidbarhet (masseviskositet), resultater fra forsøk med Lab.screed.

I AUT er det produsert kaldasfalt med god homogenitet, 100 % binde-  
middeldekning og god bearbeidbarhet.

## 6.1 Generelt

Tidligere erfaringer viser at det er vanskelig å legge ut kalde emulsjonsmasser med stivt bitumen med tilfredsstillende resultat. Det kan skyldes:

- for tungt bearbeidbar masse, som er vanskelig å mate gjennom utleggeren
- vanskeligheter med å få screeden til å flyte på massen
- klebing av bitumen på glatteplater og stampekniver
- inhomogen masse, som gir ujevn mating og påfølgende ujevnhet i dekket.

På grunn av tyngre bearbeidbarhet enn for varm asfalt, flyter screeden med en større angrepsvinkel på kalde masser, se figur 6.3. Dette kan føre til at screeden blir ustabil. Resultatet er ofte et ujevnt dekke med en rufsete overflate.

En beltegående utlegger av typen Dynapac F 14 C ble valgt som standardutstyr i AUT. Det er utført forsøk for å finne frem til best egnet screed, samt riktigst mulig bruk av utleggeren. I 1995 ble det utført forsøk med standardscreed og to forskjellige stampekniver. I 1996 ble det utført tre forsøk, ett med tung screed, ett med vibrerende screed og ett forsøk med hjulgående utlegger. Forsøkene ble utført i samarbeid med Dynapac Karlskrona. I 1997 ble også en Demag beltegående utlegger benyttet.



Figur 6.1 Utleggingsforsøk av kaldasfalt i Telemark, riksveg 45.

Emulsjonsmasser er tunge å legge ut.

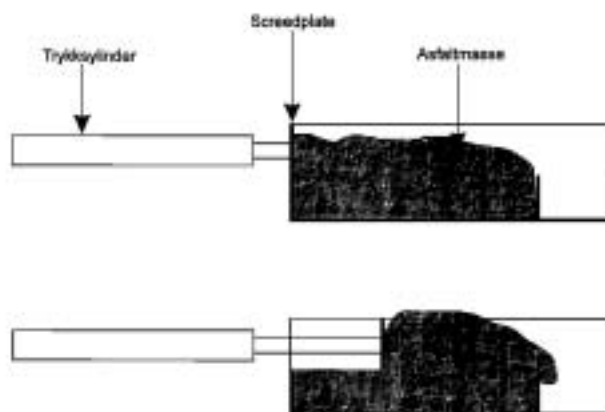
En målsetting var å oppnå samme jevnhet som for varmasfalt.

Nynäs Workability Test gir et mål for massens bearbeidbarhet.

## 6.2 Bearbeidbarhet

Bearbeidbarhet er først og fremst knyttet til fasen fra massen er produsert til den er passert gjennom utleggeren. I denne fasen endrer emulsjonsmasser bearbeidbarhet etter brytningsforløpet til emulsjonen. Det finnes ingen eksakt definisjon av begrepet bearbeidbarhet. Nynäs bruker masseviskositet synonymt med bearbeidbarhet. Vi har anvendt begrepet både om «vanskelig» masse og om masse med høy masseviskositet målt med Lab.screed (Nynäs Workability Test), se figur 6.2. Det har vist seg at det ikke alltid er overenstemmelse mellom resultater målt på laboratorieutstyr og iakttagelse ved utlegging. Dette viser at det kan være andre årsaker til at massen er tung å legge ut, enn den egenskapen ved massen som måles med Lab. screeden.

I AUT ble Nynäs apparatur for måling av bearbeidbarhet kopiert. Formålet var å sammenlikne forskjellige massetyper og forsøke å etablere en grenseverdi for bearbeidbarhet, slik at tungt bearbeidbare masser ikke ble produsert.



Figur 6.2. Prinsippkisse av Lab.screed (Nynäs Workability Test).

Lab.screeden, figur 6.2, består av en plate som skyves gjennom massen med konstant hastighet. Kraften mot platen (motstanden i massen) måles kontinuerlig. Maksimalverdien og arealet under kraftkurven registreres. Samme masse kan testes etter forskjellig lagringstid. Brukt på denne måten gir testen informasjon om brytningsforløpet og kohesjonsoppbyggingen i massen over tid.

I AUT har en kommet fram til at utstyret er mer egnet for utviklingsarbeid der prøveserier blir sammenliknet, enn som standardmetode for proporsjonering av kaldasfalt. Det lot seg ikke gjøre å fastsette noen grenseverdi for bearbeidbarhet.



## 6.3 Leggeteknikk

For å oppnå et godt resultat på vegen, må følgende betingelser være oppfylt:

- massen må være homogen og ha god bearbeidbarhet
- utleggeren må gå med jevn og riktig hastighet
- det må være riktig og jevn tilgang på masse under screeden
- taupunktet for screeden bør ligge så lavt som mulig
- mateskruen må stå i riktig høyde
- stampeknivene må ha riktig hastighet
- vibrasjonshastigheten må være riktig (gjelder vibrasjons-screed)
- screedplaten og stampekniver må holdes rene for bitumen se figur 6.3.

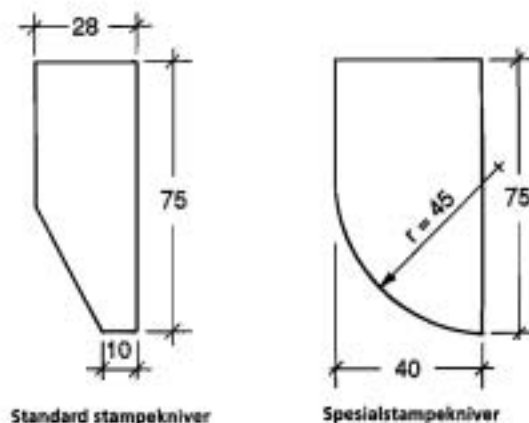
Riktig innstilling av utleggeren er avgjørende for å oppnå et jevnt dekke.



Figur 6.3 Prinsippskisse av screed på utleggermaskin

Forsøk i AUT viser at varme på screeden ikke påvirker densitet og jevnhet på dekket, men at varmen er viktig for å holde screedplate og stampekniver rene. Man unngår endel rivinger i dekket slik at overflatestrukturen blir bedre.

Forsøk med spesielle stampekniver for kaldmasse ga ikke bedre resultat enn standard stampekniver, se figur 6.4. Bruk av vibrasjon ga marginalt høyere densitet (lavere hulrom) på dekke etter utlegger.



To typer stampekniver er utprøvet med samme resultat.

Figur 6.4 Skisse av stampekniver benyttet i forsøk.

Flere screedtyper er utprøvet.

Det bør benyttes tung screed ved utlegging av kald asfalt.

I 1996 ble det utført følgende forsøk:

- screedforsøk med tung screed (Dynapac F16C med Comboscreed)
- screedforsøk med lett screed (Dynapac F 12W med vibroscreed VB 500 V)
- utleggerforsøk med hjulgående maskin (Dynapac Hoes 11011 R 4 WD).

Referanse for utleggingsforsøkene var en Dynapac belteutlegger F 14C med varioscreed VB 851.

Screedforsøk med tung screed, Comboscreed som veier 4.250 kg mot standardscreed som veier 3.500 kg, ga visuelt en bedre overflatestruktur og et jevnere dekke. Screedforsøk med lett screed med kun vibrasjon, vekt 2.250 kg, ga dårligere resultat, da det var problemer med å legge jevnt.

Forsøk med hjulgående maskin fungerte også godt, men beltemaskin er noe mer stabil.

Den største maskinen med den tyngste screeden var mest stabil og ga best resultat med hensyn på densitet, overflatestruktur og jevnhet. Forsøket med denne maskinen foregikk på rett veg. På svingete og smal veg er denne maskinen vanskelig å bruke på grunn av beltestyringen og størrelsen.

Ut fra samlet erfaring i AUT bør man prioritere utleggere med følgende muligheter for utlegging av kaldasfalt:

- fortrinnsvis en beltemaskin, alternativt hjulmaskin med trekk på styrehjul i tillegg til drivhjulene (hjulmaskin best egnet på smale og svingete veier)
- tilstrekkelig motorkraft i forhold til totalvekt (standard AUT: 112 kW, 17.300 kg)
- vekt på trekkmaskin bør være minimum 13 tonn
- trinnløs regulering av fremdriftshastighet
- trinnløs automatisk regulering av matebåndhastighet
- trinnløs automatisk regulering av mateskrue
- mulighet for å kunne regulere avstanden mellom mateskrue og screed
- mulighet for å kunne regulere høyde på mateskrue
- maskinen må være utstyrt med nivelleringsutstyr
- screed må være utstyrt med stamper. Om screeden skal ha vibrasjon i tillegg kan diskuteres da nytten av vibrasjon er vanskelig å påvise
- det bør være trinnløs hastighetsregulering av stampefrekvens og eventuell vibrasjon
- screedvekt bør være minimum 3,5 tonn
- det bør benyttes varme på screeden for å holde denne ren for bitumen.

## 7.1 Generelt

Kalde bituminøse masser skiller seg fra varm asfalt ved at det er vann i massene ved utlegging og kompaktering. Dette er en vesentlig forskjell som gjør at kaldasfalt er annerledes å bearbeide og kompaktere enn varm asfalt.

I AUT har en av målsettingene vært å finne fram til de valsetyper som egner seg best til kompaktering av kalde masser og fastlegge hvilke parametere som er viktig for å oppnå et best mulig resultat. Det finnes ikke valser på markedet i dag som er spesielt tilpasset kalde masser. Dagens utstyr er tilpasset kompaktering av løsmasser eller varm asfalt. AUT har tatt utgangspunkt i det utstyret som finnes på markedet i dag for kompaktering av varm asfalt.

Kald asfalt skiller seg fra varm asfalt ved at det er vann i massene ved utlegging og kompaktering.

## 7.2 Valsetyper og valseparametre

Det finnes i dag en rekke type valser for kompaktering av asfalt:

- statiske valser
- vibrasjonsvalser
- oscillerende valser
- gummihjulvalser
- kombinasjonsvalser.

Litteraturstudier og studieturer i AUT viser at det er forskjellige erfaringer med valseutstyr for kompaktering av kalde masser.

I AUT er følgende valseutstyr testet ut:

Tabell 7.1 Hoveddata for valser prøvd ut i AUT.

Type	Merke	Arbeids- vekt (tonn)	Bredde (mm)	Hjul- diameter (mm)	Linjelast (kg/cm)	Amplitude (mm)	Frekvens (Hz)
Statisk valse (2-hjul)	Dynapac CS14	12	2 000	1 500	58/58	-	-
Statisk valse (3-hjul)	Hamm DH 10	9,4	2 040	1 700	38/55	-	-
Gummihjul- valse	Albaret	19	1 940	1 080	2,6/2,9 1)	-	-
Vibrasjons- valse	Dynapac CC232	8	1 575	1 120	28	0,2-0,5	52-70
Vibrasjons- valse	Dynapac CC421	10	1 675	1 215	30	0,4-0,8	47
Vibrasjonsvalse med en gummi- belagt trommel	Dynapac CC421	10	1 675	1 285	30	0,3-0,65	47
Kombinasjons- valse	Hamm DV B K	9	1 600	1 200	28	0,4	50
Oscillerende valse	Hamm DV D8 V	7,1	1 400	1 100	25,0/25,7	0,5/1,33 2)	36

1) For gummihjulvalsen er verdiene i linjelast-kolonnen flatebrykk (kg/cm<sup>2</sup>) pr. hjul.

2) Vibrasjon på den ene trommelen og oscillasjon på den andre.

Valg av valsetype er meget viktig ved kompaktering av kalde masser.

Det er like viktig for kalde emulsjonsmasser som for varme masser å valse umiddelbart etter utlegging.

For tykke lag gir vibrasjonsvals med høy svingeamplitude best resultat.

Valg av valsetype er først og fremst avhengig av:

- masstype (emulsjonsgrus, skumgrus)
- lagtykkelse.

I tillegg til valsetype vil følgende faktorer også ha betydning for resultatet:

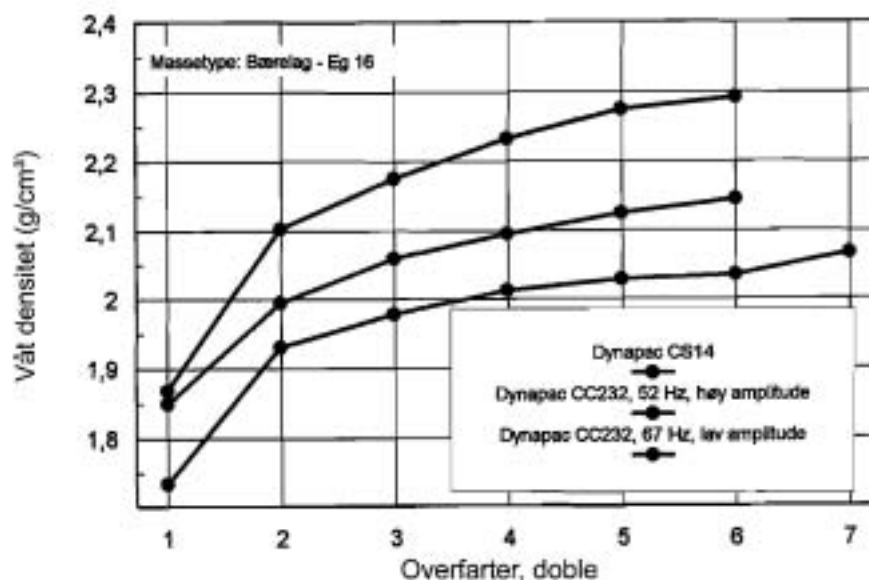
- massens væske innhold (vann + bitumen)
- tidspunkt for valsing
- valsehastighet
- valsemønster.

Dybdevirkningen for en statisk vals er først og fremst avhengig av linjelast, og for en vibrasjonsvals kommer amplitude og frekvens i tillegg. Linjelasten uttrykkes i kg/cm eller N/mm. En økning av linjelasten fører til høyere kompakteringsenergi. Trommeldiameteren har også en betydning. Ved bruk av vibrasjonsvalser er det først og fremst amplituden og linjelasten som påvirker pakningsgraden. For tykke bærelag er det allment akseptert at høy amplitude gir best resultat, mens for slitelag vil lav amplitude (ca 0,2mm) være det riktige. Oscillerende vals er forskjellig fra vibrasjonsvals ved at de horisontale bevegelsene av trommelen foretar en mer skånsom og eltende kompaktering av massene. Valsehastigheten påvirker også kompakteringsgraden. Valsehastigheten bør ikke overstige 6 km/t. En naturlig valsehastighet er 4 km/t.

I AUT har det vært viktig å finne fram til de valsetypene som gir den beste kompakteringen for kalde bærelags- og slitelagsmasser. En har utført fullskalaforsøk på vegen med det aktuelle utstyret. For å kunne trekke sikre konklusjoner er det viktig at forholdene er mest mulig like for hver vals som testes. Dette er i praksis vanskelig, ofte varierer både fuktinnholdet, korngradering og bearbeidbarhet. Dette kan påvirke resultatene.

## 7.3 Bærelag

Det ble utført en rekke forsøk med valsing av bærelag. Bærelagene ble lagt ut i 10 cm tykkelse. Figur 7.1 viser resultatene av 3 forsøk på bærelag med emulsjonsgrus.

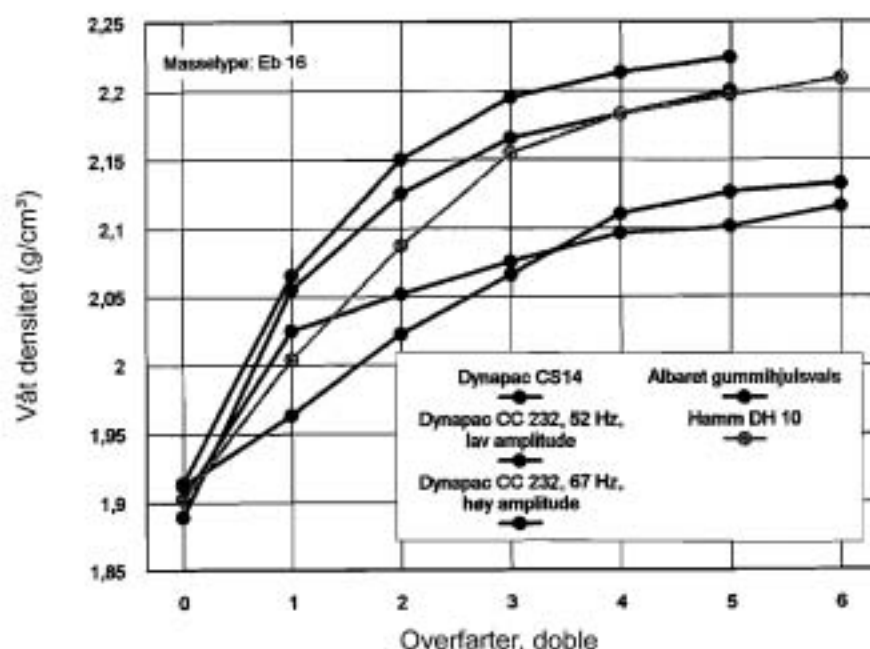


Figur 7.1 Resultater av tre valseforsøk på bærelag med emulsjonsgrus.

For bærelag eller tykke lag vil en vibrasjonsvals med høy amplitude gi best kompaktering.

## 7.4 Slitelag

Det ble utført 13 valseforsøk på slitelag. Alle vibrasjonsvalsene er kjørt med lav amplitude som er vanlig ved valsing av slitedekker.



Flere typer valser kan gi tilfredsstillende resultat ved kompaktering av slitelag.

Figur 7.2 Resultater fra valseforsøk med fem forskjellige valser utført på slitelag.

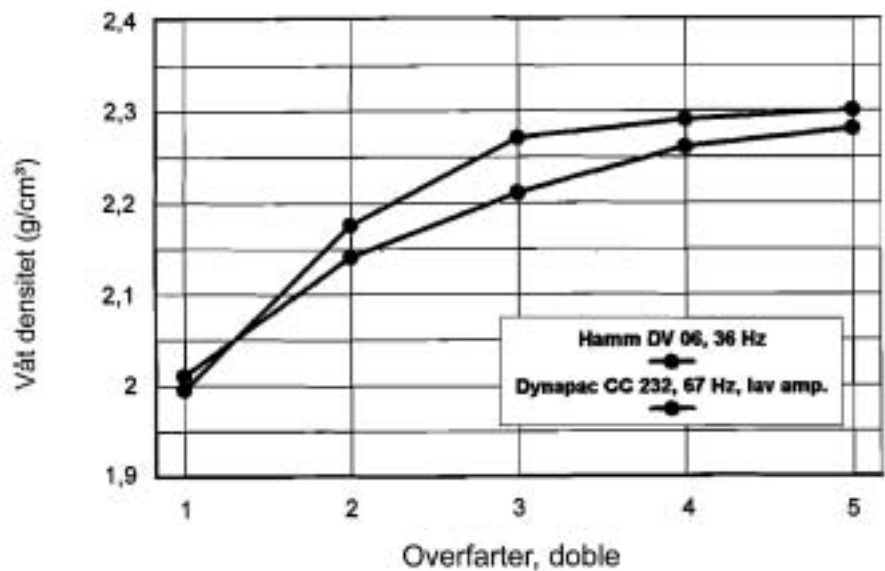
Valseforsøkene på slitelag i 1995, 1996 og 1997 er alle utført på forskjellige vegstrekninger. Likevel bekrefter forsøkene at:

- gummihjulsvals er lite egnet til kompaktering av kalde emulsjonsmasser
- vibrasjonsvals med høy frekvens (ca. 70 Hz) og oscillerende vals gir begge best kompaktering
- tung statisk vals med stor trommeldiameter gir tilnærmet like god kompaktering som høyfrekvent- og oscillerende vals
- gummibelagt ståltrommel gir ingen bedre kompakteringseffekt
- tre til fire overførter med vibrasjon-/oscillasjonsvals gir tilfredsstillende best kompaktering.

Resultatene fra valseforsøkene på slitelag gir ikke så klare forskjeller som resultatene fra bærelagsforsøkene. Resultater viser at vibrasjonsvals med høy frekvens (Dynapac CC232) og oscillerende vals (Hamm DV 06 V) kommer best ut, men forskjellene mellom disse og tung statisk vals er så små at den ene kan ikke fremheves framfor den andre, se figur 7.2 og 7.3.

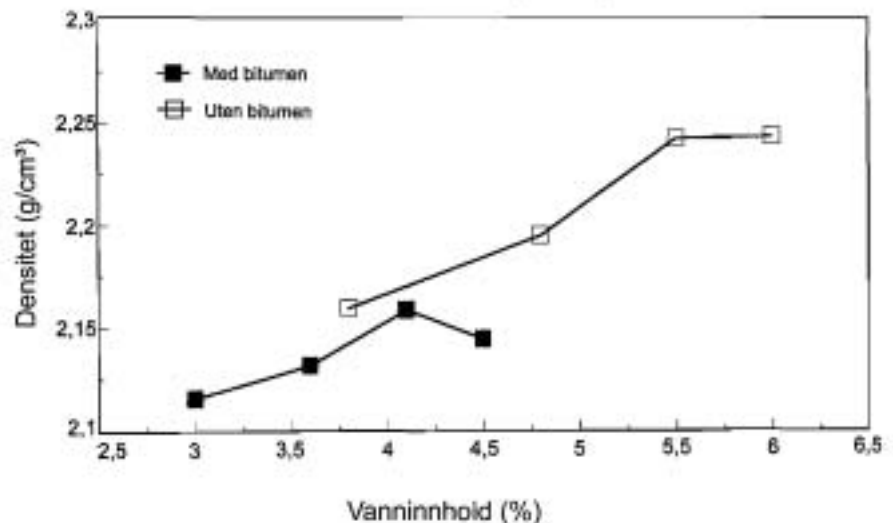
Etterkompaktering av dekket, ett døgn etter at det er lagt og komprimert, er også testet ut. Dette medførte liten økning i densitet. Valseforsøkene viser også at jevnheten ikke bedres ved valsing dersom den er dårlig ved utlegging. Dårlig jevnhet ved utlegging ser ut til å føre til enda dårligere jevnhet etter valsing. Er derimot jevnheten god fra utlegger, vil valsen opprettholde den gode jevnheten. God jevnhet må derfor tilstrebes ved utlegging.

God jevnhet må tilstrebes ved utlegging. Dårlig jevnhet ved utlegging fører til enda dårligere jevnhet etter valsing.



Figur 7.3 Resultater fra valseforsøk med oscillerende vals.

Resultatene fra valseforsøkene og forsøk i laboratoriet viser at væskemengden i massen er viktig for å få et godt resultat ved kompaktering av dekke eller bærelag. Med væskemengde menes her summen av bitumen og vann. Figur 7.4 viser resultater fra Modifisert Proctor forsøk på emulsjonsgrus og de samme tilslagsmaterialene uten bindemiddel. Av figuren ser en at emulsjonsgrusen også har et optimalt vanninnhold ved kompaktering. Se også kapittel 3.4.2.



Figur 7.4 Modifisert Proctor på tilslag fra Tømmeråsen, med og uten bindemiddel.

Klabbing på valsetromler var et problem for massene på Gautefall, riksveg 358. Det vises til kapittel 8 Driftserfaringer.

For å få en best mulig pakningsgrad må en ved produksjon tilstrebe et optimalt vanninnhold i massene.

## 7.5 Kompakteringskontroll

### 7.5.1 Valg av metode

Ved kompakteringskontroll for kalde masser står en overfor valget mellom følgende metoder:

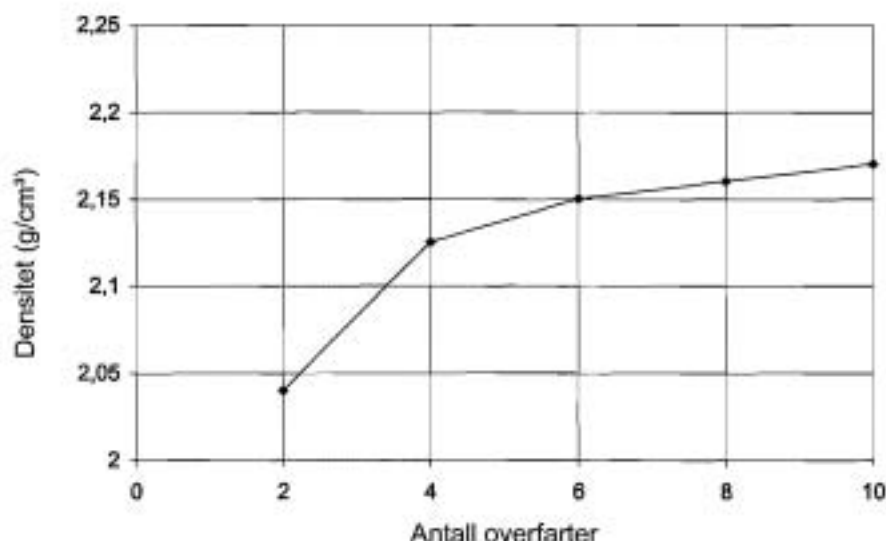
1. Absolutte krav til densitet. Kompakteringskravet refereres til det en oppnår ved en laboratoriemetode som f.eks. marshall, Modifisert Proctor eller statisk pressing.
2. Ikke absolutte krav til densitet.  
Det settes i stedet krav til:
  - at en utfører valseforsøk for å finne optimalt antall overfarer
  - valsetype og maksimal lagtykkelse ved legging i ett lag.

For varme masser kalibreres isotopmålinger mot borprøver. Når det gjelder kalde masser er imidlertid dette vanskelig fordi det ofte går lang tid før massen har herdet så mye at en får opp borprøver. Konklusjonen er derfor at metode 1 er lite egnet fordi den forutsetter at man kan måle riktig densitetsverdi i felten.

Ved bruk av metode 2 utfører en valseforsøk, og en er ikke avhengig av korrekte absolutte verdier for densiteten. Så lenge det er relative densiteter man måler er det ikke nødvendig å bruke filler. Metode 2 står derfor igjen som den beste løsningen for kompakteringskontroll ved legging av kalde masser.

### 7.5.2 Bestemmelse av optimalt antall overfarer

Bruk av metodespesifikasjoner innebærer bestemmelse av optimalt antall overfarer ut fra valseforsøk, en overfart er to passeringer. Figur 7.5 viser resultater fra et forsøksfelt i AUT. Optimalt antall overfarer er i dette tilfellet ca. 5.



Figur 7.5 Bestemmelse av optimalt antall overfarer med isotopmåler (Riksveg 358).

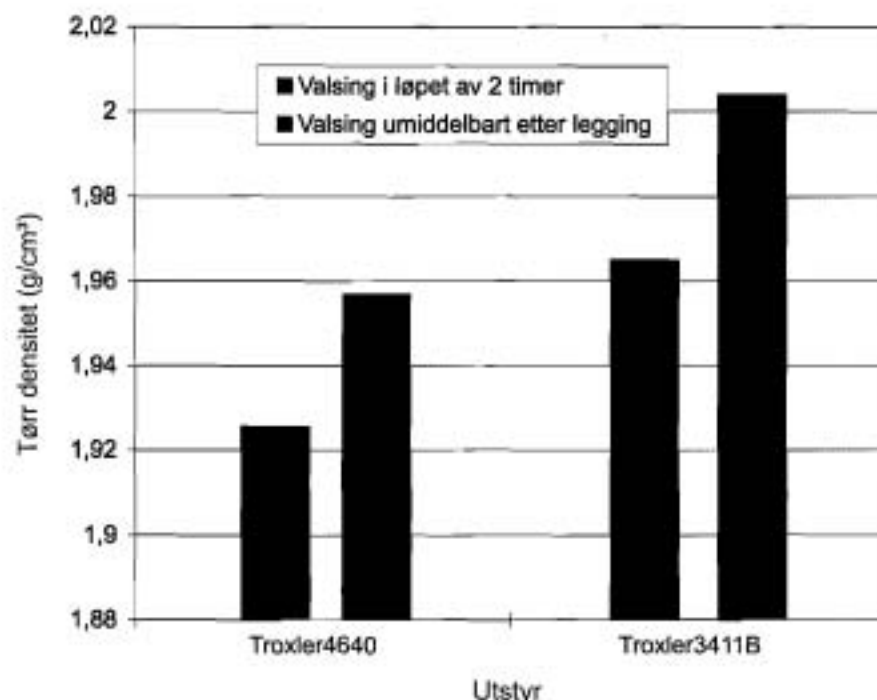
Man kan ikke benytte samme metode for kompakteringskontroll av kalde masser som for varme masser.

Valsing av både bærelag og slitelag skal skje umiddelbart etter utlegging.

Kalde bituminøse masser trenger tid for å herde. Det er utviklet et enkelt utstyr (piggskive) i AUT som kan måle herdeforløpet.

### 7.5.3 Tidspunkt for valsing

Resultatene i figur 7.6 viser at tidspunktet for valsing etter utlegging har betydning for sluttdensiteten. Høyest densitet (lavest hulrom) oppnås dersom laget vales umiddelbart etter legging. Det kan derfor konkluderes at en for emulsjonsgrus bør valse så fort som mulig etter legging for å oppnå høyest mulig densitet.



Figur 7.6 Resultater fra valseforsøk med variert tid mellom utlegging og valsing.

## 7.6 Initialstyrke og herdeforløp

Mens varm asfalt oppnår sine styrkeegenskaper når den er kjølnet etter utlegging, tar det lang tid før kalde bituminøse masser oppnår sine sluttegenskaper. Med initialstyrken mener en skjærstyrke (motstand mot vridning) kort tid etter utlegging.

Kalde masser er ømfintlige for vridningsskader, hard oppbremsing, kraftig regn, etc. de første døgn etter utlegging. Massen må ha en viss initialstyrke før trafikken kan settes på. Det er derfor behov for å kunne måle denne egenskapen på en enkel måte.

Kalde masser bruker en viss tid på å herde. Det er et ønske å forkorte herdeforløpet, derfor trenger vi en metode for å kunne måle denne egenskapen. I AUT er det gjort forsøk med flere typer utstyr for å måle initialstyrke og herdeforløp, jfr. tabell 7.2.

Følgende måleutstyr er prøvd ut:

- DCP (Dynamic Cone Penetrometer)
- prellhammer (betongmåleinstrument)
- piggskive (utviklet i AUT)
- hardhetstester (vanlig for overflatebehandlinger).



Ved vurdering av brukbarheten av de ulike utstyrstypene er følgende momenter av betydning:

- spredning i måleresultatene
- i hvilken grad en treffer måleområdet med utstyret
- hvor følsomt utstyret er for endringer i materialegenskaper.

Tabell 7.2 viser relativ feil (SEE; Standard Error of Estimate) for de ulike utstyrstypene. Parameteren uttrykker både inhomogenitet i massen samt usikkerheten knyttet til selve måleutstyret og måleprosedyren

Tabell 7.2 Relativ feil (SEE) i % for ulike utstyrstyper.

	DCP	Prellhammer	Piggskive	Hardhetstester
Forsøksfelt 1	21	12	15	94
Forsøksfelt 2	-	7	9	37

Av utstyrene i tabell 7.2 har en kommet fram til at piggskiven samlet sett er best egnet til å måle initialstyrke og herdeforløp. I tillegg kan utstyret brukes til å bestemme optimalt antall overfarer ved valseforsøk. Piggskiven som måleutstyr er utviklet etter et av flere forslag fra en idédugnad i AUT-prosjektet. Målet var å komme fram til et enkelt måleutstyr. Det ble utviklet et utstyr for bruk i 1995-sesongen. Utstyret ble modifisert vinteren 1996 ved at det ble gjort noe tyngre og mer robust, se figur 7.7.

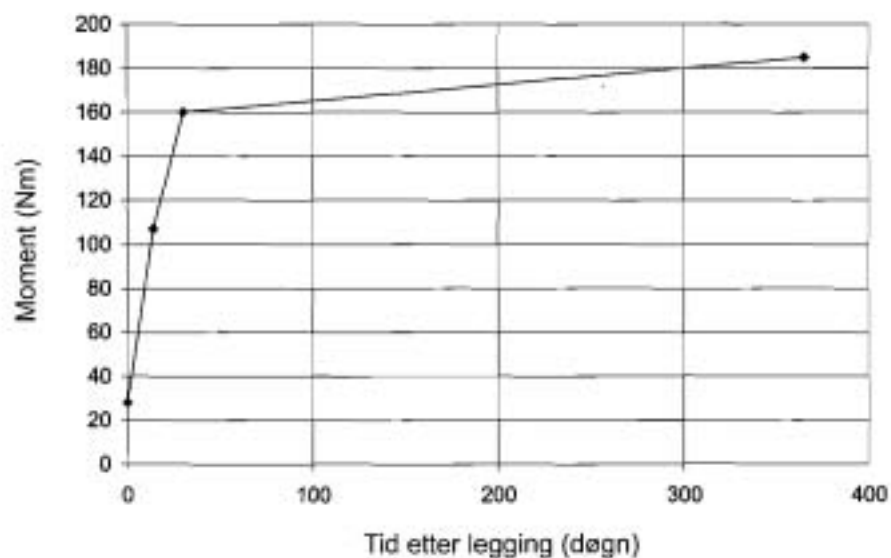
Piggskiven er brukt til registreringer ved flere feltforsøk. Målingene har hatt til hensikt å registrere forskjeller i initialstyrke og herdeforløp for de ulike massevarianter som er lagt.



Figur 7.7 Bruk av piggskive.

Piggskiven måler initialstyrke og herdeforløp på en enkel måte.

Målingene er temperaturavhengig og det er derfor utarbeidet en korreksjonsformel for dekketemperatur, som er beskrevet i temarapport nr. 90 - Valsing. Figur 7.8 viser et eksempel på massens herdeforløp over tid, målt med piggskive.



Figur 7.8 Måling av herdeforløp med piggskive.

## 8.1 Generelt

Produksjonsdelen i AUT (del B) er en ordinær kontrakt mellom Statens Vegvesen Telemark og Icopal as. Her benyttes de metoder og resepter som prøves ut i utviklingsdelen av prosjektet (del A).

Følgende arbeider er utført med kaldprodusert asfalt fra verk :

		<b>Tonn</b>	<b>År</b>
Rv 36	Sanda bru - Vefall	7.900	1995
Rv 38	Tønsberg x Rv 45 - Liosvingen	5.600	1995
Rv 45	Ofte - Nybø	3.500	1995
Rv 45	Ofte - Eidsborg	12.400	1996
Rv 358	Bostrak - Gautefall	13.000	1996
Rv 358	Bostrak - Gautefall	14.600	1997

Det var opprinnelig planlagt å utføre dypstabilisering, men stabiliseringsarbeider med fres utgikk i sin helhet da valgte vegstrekninger ikke var egnet for denne teknikken.

## 8.2 Produksjonserfaringer

### 8.2.1 Produksjon av tilslag

Statens Vegvesen sto for produksjon av tilslaget fordelt på fire forekomster; Verpe, Huvestad, Rogdeli og Tømmeråsen. Det ble produsert i sorteringene 0-6 mm og 6-11 mm eller 6-16 mm. Det ble valgt å skille på 6 mm istedenfor 4 mm fordi det ga en bedre fremdrift på sikteprosessen og samtidig mindre fare for tetting i doseringen på kaldasfaltverket. Ut fra produksjon av kaldasfalt var 6-11mm ønskelig da slitassen på lavtrafikkveger er liten og mindre kornstørrelse gir bedre homogenitet og struktur. Vegvesenet ønsket primært å produsere 6-16 mm på grunn av kapasitet og tilpasninger på produksjonsutstyret. En av forekomstene, Huvestad, hadde mye belegg på grovsorteringen slik at materialet måtte vaskes.

Det oppsto noen problemer med hensyn på tid til tilfredsstillende proporsjonering da det var kort tid fra beslutning om hvilke tilslag som skulle produseres og oppstart av asfaltproduksjon. Av samme grunn var tilslaget i noen tilfeller nyknust og svært reaktivt når det ble benyttet. Forsøk med måling av reaktivitet viser at lagring av tilslaget i noen uker før bruk fører til senere brytning som gir bedre bindemiddeldekning og lettere bearbeidbarhet, se kap. 3.2.4.

Vanninnholdet i tilslaget, spesielt finsorteringen, er av betydning for produksjon av kaldasfalt. Lagerhaugen må derfor tildekkes ved mye nedbør.

Lokale tilslag nær parsellene ble benyttet.

Tilslaget ble splittet i to sorteringer.

Fuktigheten i tilslaget ble regulert med tildekning og vanning.



Figur 8.1 Regulering av fuktighet i tilslagsmaterialet.  
Tildekking av lagerhaug med plast og vanning av lagerhaug.

### 8.2.2 Produksjon av kaldasfalt

Riggplass for kaldasfaltverk bør ligge sentralt i forhold til både knuseverk og parsellen hvor massen skal legges. Faren for forurensning av drikkevannskilde (Øvre Bø), støyproblemer i forhold til boligområde (Dalen) og plass-mangel (Gautefall) var årsaker til at produksjon av tilslag og asfalt ikke foregikk på samme sted.

Riggplassene har en tendens til å bli for små i forhold til den aktiviteten som foregår med transport av tilslag og bitumen inn og asfalt ut. Minimumsarealet for en slik oppstilling er i området 1200 til 1500 m<sup>2</sup>.

Produksjonen foregikk med to sorteringer og bindemiddeltilsetning på to steder i blandekammeret. Det ble generelt benyttet bitumenemulsjon BE 65/B370. Alle områder ved produksjon som prosjektet tok sikte på å forbedre, ble vesentlig forbedret i løpet av den tiden prosjektet varte. Stadig nye momenter fra prosjektets utviklingsdel ble tatt i bruk i produksjonsdelen.

I sesongen 1995 ble en Luckstablander benyttet, og i 1996 og 1997 en nykonstruert Idecon blander. Hovedforskjellen mellom disse to blanderne er at mens Luckstablanderer rører i massen så setter blanderen fra Idecon massen i bevegelse. Blanderen fra Idecon har oppvarmet blandekammer, som gjør rengjøringen lettere.

Mot slutten av prosjektet ble det produsert homogen masse med full bindemiddeldeknning og god bearbeidbarhet.



Figur 8.2  
Produksjon av kaldasfalt

Med Idecon blanderen ble det produsert homogen masse med full bindemiddeldeknning og god bearbeidbarhet.

## 8.3 Utleggingserfaringer

### 8.3.1 Avrenning

På produksjonsstedet var det ikke problem med avrenning. I perioder var det store problemer med avrenning av brunt brytningsvann under transport med tilgrising av andre trafikkanter som resultat. Årsaken var både for tørt tilslag (rett fra knuseverket) eller for vått tilslag (etter mye nedbør). Etter at kontrollen med vanninnholdet ble forbedret og tiltak igangsatt, opphørte avrenningen. Siste produksjonsår, 1997, ble det produsert masse med optimalt vanninnhold. Transport og utlegging foregikk da uten problemer med avrenning.



Figur 8.3 Avrenning fra lastebil.

### 8.3.2 Utlegging

Utleggermaskiner er konstruert for utlegging av varme masser. I AUT har en brukt en ordinær belteutlegger. Utleggeren var justert best mulig for legging av kald masse: høyde på mateskruer, avstand mellom screed og trekkvogn, etc. Da screeden reagerer annerledes på emulsjonsmasser enn på varme masser er det viktig å ha trent mannskap til utlegging. Renhold av screed er spesielt viktig.

Følgende punkter bør følges for å oppnå et tilfredstillende resultat:

- homogen masse (med optimalt væskeinnhold)
- lav leggehastighet, omkring 4 meter pr minutt
- jevn hastighet, tilpasset massetilgang fra produksjon
- konstant massetilgang foran screed og i hele screedens bredde
- skruer og matebelter bør arbeide mest mulig kontinuerlig
- grundig og hyppig renhold av screedplate og stampekniver.

Ved optimal massekvalitet og utleggingsbetingelser oppnås dekke med akseptabel jevnhet. Men ved avvik fra optimale betingelser blir det lett små ujevnheter i lengderetning.

Ved optimalt vanninnhold i massen ble det ikke registrert avrenning.

For tørt og for vått tilslag gir avrenning.

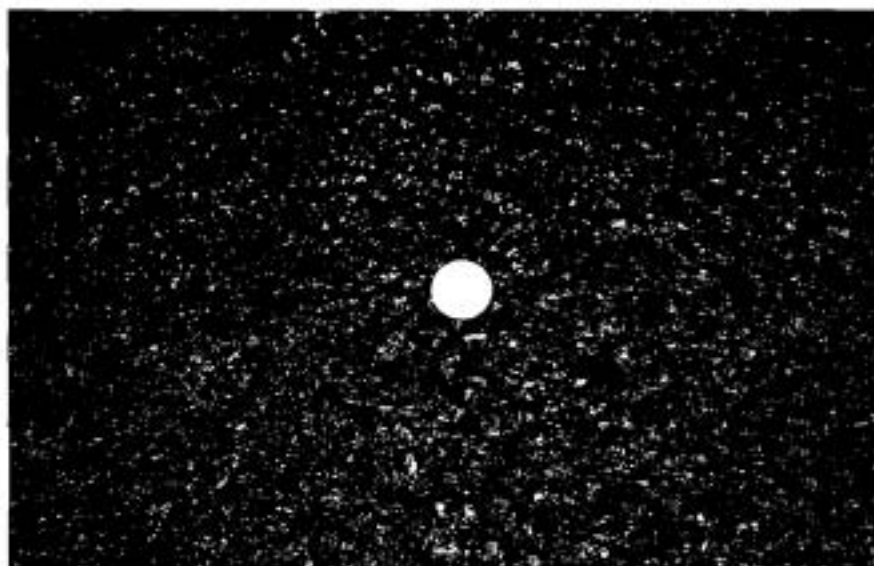


Figur 8.4 Utlegging av kaldasfalt.

### 8.3.3 Valsing

I 1995 ble det for det meste brukt en kombinert vibrasjons og gummi-hjulsvalse med totalvekt på 9 tonn. Denne ble på ettersommeren supplert med en statisk trehjuls valse på 10 tonn. Trehjuls statisk valse ga best resultat av de to ved valseforsøk, slik at man gikk helt over til bruk av denne.

I 1996 ble det benyttet en statisk trehjuls valse på 9,4 tonn. Statisk valse med stort linjetrykk kompakterte godt. Dessuten ga stor valsediameter liten bølgedannelse foran valsen og dermed mindre fare for valseriss i dekket.



Figur 8.5 Slitedekke av kaldasfalt (emulsjonsmasse).

Det er mulig å oppnå hulrom under 10 %.

Riktig valsing gir økt initialstyrke og mindre etterkompaktering. Hulrommet i kaldasfalten var i området 10-15% første året, men ble redusert til 5-10% mot slutten av prosjektet.

På Gautefall i 1997 oppsto det problem med klabbing på valsetrommelen og utplukking av stein fra dekket. Flere typer såpeløsninger ble utprøvd uten et helt tilfredsstillende resultat. I 1997 ble dekket avstrødd før valsing. Hvis det må avstrøes er en tallerkenspreder å foretrekke. Oscillerende vals synes å gi mindre klebing til valsetromlene. Avstrøing etter valsing benyttes for å hindre at trafikken plukker ut stein av det ferske dekket.

## 8.4 Kvalitetskontroll

Kvalitetskontrollen omfattet 3 deler:

- produksjon av tilslag, som ble fulgt opp av Statens vegvesen Telemark
- produksjon av bitumenemulsjon, fulgt opp av Icopal
- produksjon og utlegging av kaldasfalt, fulgt opp av Icopal.

Statens vegvesen Telemark og Icopal har i produksjonsdelen av kontrakten jobbet som ved en ordinær entreprise, hvor byggherre og entreprenør har hatt sine vanlige roller. Prøveomfanget totalt har likevel blitt mer omfattende enn ved en ordinær entreprise, på grunn av at oppfølging av deler av produksjonsdelen har inngått i utviklingsdelen av prosjektet.

Det har hele tiden vært en laborant på produksjonsstedet som har fulgt opp tilslag, vanninnhold i tilslag, produksjon av asfalt og kontroll på vegen. Emulsjonen ble produsert på Fjellhamar, der kvalitetskontrollen ble utført. Årsaken til at produksjonen av bitumenemulsjon foregikk så langt fra anvendelsesstedet, var at en rekke emulsjonsresepter ble prøvd ut under oppsyn av Icopals sentrallaboratorium på Fjellhamar, og at dette anlegget produserer i batcher, som er fordelaktig ved prøveproduksjoner.

På vegen ble det utført valseforsøk for å bestemme optimalt antall overfarer med valsen og for å fastsette referansepunkt for oppfølging av densitet med Troxler. Initialstyrken ble fulgt opp med piggskive. Driftskontrollen viser at det er hensiktsmessig å følge opp bitumeninnholdet ved å måle forbruk, i tillegg til å benytte Troxler bindemiddelmåler. Det ble i løpet av prosjektet lagt mer vekt på betydningen av vanninnholdet i tilslaget, og derfor ble kontrollen her øket.

## 8.5 Prosjektgjennomføring

Et hovedproblem med organiseringen var at det til tider var kort tid mellom beslutning og utførelse. Det kunne med fordel ha vært bedre tid til proporsjonering før oppstart med nytt tilslag. Forarbeidene ble utført kort tid før asfaltering, noe som medførte et økt antall flyttinger. Alle ting ble imidlertid håndtert uten at det ble noen store saker ut av det. Byggemøter ble avholdt hver fjortende dag og noen ganger oftere.

Det er generelt ønskelig med god tid til planlegging og forundersøkelser for å få til en sikker og rasjonell produksjon.

Oppfølging av fuktighet i tilslaget er viktig, og ble prioritert.

Det er mange variable faktorer som er avgjørende for om kalde masser er konkurransedyktige med varme masser.

## 9.1 Generelt

I en økonomisk vurdering av kalde masser mot varme masser er det mange variable faktorer som er avgjørende for om kalde masser er konkurransedyktige med varme masser. I dette kapitlet har man foretatt en sammenligning av kostnader mellom kalde og varme masser basert på forholdene i Telemark. For kalde masser er sammenligningen kun basert på foreløpige erfaringer fra AUT-prosjektet. For varme masser er sammenligningen basert på både mobile og stasjonære varmeblandeverk.

Kostnadene for produksjon og utlegging av kalde og varme masser vil selvfølgelig være avhengig av produksjonsmengden, men også av faktorer som graden av konkurranse, ledig kapasitet, entreprenørens strategivalg mm.

## 9.2 Produksjon og utlegging

I 1997 ble det lagt 12600 tonn Eg på parsellen Rv 358 Bostrak – Gautefall, fordelt med 3600 tonn til forsterkning/oppretting og 9000 tonn til slitelag. Som tilslag ble det brukt knust fjell. Gjennomsnittlig bindemiddelinhold for bære-/opprettingslaget var 4,5 % mens gjennomsnittlig bindemiddelinhold for slitelaget var 5,0 %.

Kostnaden for produksjon og utlegging Eg på denne parsellen ble ca. 4,9 millioner kroner, dvs. i gjennomsnitt ca. 390 kr/tonn. Kostnadene er noe høyere for produksjon og utlegging av slitelag og noe lavere for produksjon og utlegging av bære-/opprettingslag pga. høyere bindemiddelinhold i slitelaget i forhold til bære-/opprettingslaget. De enkelte kostnadselementene for produksjon og utlegging av emulsjonsmasse på parsellen riksveg 358 Bostrak – Gautefall er:

	kr/tonn		kr/tonn
<b>Produksjon:</b>		<b>Utlegging:</b>	
Steinmaterialer	60	Utlegging	85
Emulsjon	117	Transport	14
Produksjon	46	Trafikkdirigering	18
Opplasting	7	Klebing	12
Transport av emulsjon	22	Avstrøing	7
<b>Sum produksjon</b>	<b>254</b>	<b>Sum utlegging</b>	<b>136</b>
<b>Sum produksjon og utlegging:</b>	<b>390 kr/tonn</b>		

På parsellen riksveg 358 Bostrak-Gautefall ble kostnaden 390 kr/tonn for produksjon og utlegging av 12 600 tonn Eg.



## 9.3 Fordeler og ulemper

En foreløpig evaluering av AUT-prosjektet har vist at dette konseptet selvfølgelig både har fordeler og ulemper sammenlignet med tradisjonelle varme masser. De fleste ulempene ved kalde masser kan elimineres uten økning i kostnader ved god og langsiktig planlegging. Nedenfor er det nevnt de viktigste fordelene og ulempene ved bruk av kalde masser i forhold til varme masser.

Fordeler ved bruk av kalde masser i forhold til varme masser:

- at man kan bruke enkle blandeverk som krever liten oppstillingsplass og at man dermed i større grad kan bruke lokale forekomster. Dette kan føre til reduserte transportkostnader, mindre belastning på vegnett og mindre forurensning til luft pga. kortere transportavstand.
- oppvarming av kaldblandeverk vil sannsynligvis gi mindre forurensning til luft enn oppvarming av varemeblandeverk.
- i sammenligning med mobile varmblandeverk vil man i større grad kunne gjennomføre en optimal vedlikeholdsplanlegging, dvs. «rett tiltak til rett tid» pga. lavere riggekostnader og dermed mulighet for mindre produksjonsvolum.

Ulemper ved bruk av kalde masser i forhold til varme masser:

- krever mer tid til planlegging og proporsjonering enn ved bruk av varme masser
- produksjonsprosessen er mer komplisert og mulighetene for feilslag er større ved bruk av kalde masser i forhold til varme, men forskjellen kan minimaliseres ved god og langsiktig planlegging
- for en bilist kan nylagte kalde dekker oppleves som noe mer ujevne enn varme dekker, men målt jevnhet (IRI) viser at det ikke er forskjell i jevnhetsverdi.

Det er både fordeler og ulemper ved å bruke kalde masser i forhold til varme masser.

## 9.4 Markedspotensiale i Telemark

Det vil som før nevnt være mange variable faktorer som er avgjørende for om kalde masser er konkurransedyktige med varme masser. Disse variable faktorene vil ha ulik betydning for kostnadsbildet mellom kalde og varme masser avhengig av hvor parsellen/parsellene som skal vedlikeholdes er plassert. Derfor må man i praksis gjennomføre en kostnadsanalyse for den/de parsell/parseller som skal vedlikeholdes for å avklare hva som er mest kostnadseffektivt. Den beste sammenligningen vil man få ved at kontraktene lyses ut med både varme og kalde masser som alternativ.

Den beste sammenligningen mellom varme og kalde masser vil man få ved å lyse ut kontraktene med både varmt og kaldt som alternativ.

I AUT-prosjektet har man ikke fått vesentlig lavere kostnader ved legging av kalde masser i forhold til det man normalt får ved legging av varme masser. Dette skyldes i hovedsak at alle jobbene hadde forholdsvis store produksjonsvolum (forskjellen mellom kalde og varme masser er størst i favør av kalde masser ved små produksjonsvolum). Bindemiddelkostnaden

Markedet for kalde masser vil sannsynligvis være parseller som ligger forholdsvis langt fra stasjonære asfaltverk.

ved produksjon av kalde masser er høyere enn ved produksjon av varme masser. Bindemiddelinnholdet i kalde masser (AUT-konseptet) må være forholdsvis høyt, minst 4,5-5,0 %, for å få et dekke med akseptabel kvalitet. Hvis man reduserer bindemiddelinnholdet til under 4,5 % fører dette sannsynligvis til at dekket får vesentlig kortere levetid enn om bindemiddelinnholdet hadde vært noe høyere. Da det er behov for et relativt høyt bindemiddel i massen kan det synest vanskelig med dagens teknologi å få redusert kostnadene vesentlig i forhold til det som er oppnådd i AUT.

Ut ifra oppnådde kostnader i AUT-prosjektet vil sannsynligvis markedet for kalde dekker (AUT-konseptet) bestå av parseller som ligger relativt langt fra stasjonære asfaltverk. I en vurdering som Telemark har gjort betyr det at man i de fleste tilfeller vil velge masse fra et stasjonært varmblandeverk hvis parsellene som skal vedlikeholdes ligger nærmere enn 50 km fra et slikt verk.

Hvis avstanden fra parsellen som skal vedlikeholdes til nærmeste stasjonære varmblandeverk er for lang bør man ikke bruke masse fra det stasjonære varmblandeverket pga. kvalitetsforringelse av massen ved lang transport (separasjoner og avkjøling av massen). Hvis man velger en grense på 50 km vil det bety at i Telemark er ca. 50 % av riksvegnettet og 40 % av fylkesvegnettet lengre vekk enn 50 km fra et stasjonært varmblandeverk, dvs. ca. 600 km med riksveger og ca. 400 km med fylkesveger. Hele dette vegnettet har liten trafikk, dvs. ÅDT mindre enn 3000. For dette vegnettet vil alternativene være å bruke masse fra mobile varmblandeverk, mobile kaldblandeverk eller overflatebehandling.

På bakgrunn av den vurderingen som her er gjort vil sammenligningen mellom varme og kalde masser i kapittel 9.5 basere seg på mobile blandeverk. I kostnadsberegningene i kapittel 9.5 har man ikke tatt hensyn til at man ved bruk av kalde masser i større grad har mulighet til gjennomføre optimal vedlikeholdsplanlegging, dvs. «rett tiltak til rett tid» pga. lavere riggekostnader, enn man har ved bruk av varme masser. Siden riggekostnadene er høyere ved bruk av varmblandeverk i forhold til kaldblandeverk vil man ofte i større grad asfaltere flere parseller som har for «god tilstand» ved bruk av varme masser i forhold til kalde masser. Denne merkostnaden ved bruk av varme masser vil variere fra sted til sted og er vanskelig å kostnadsberegne.

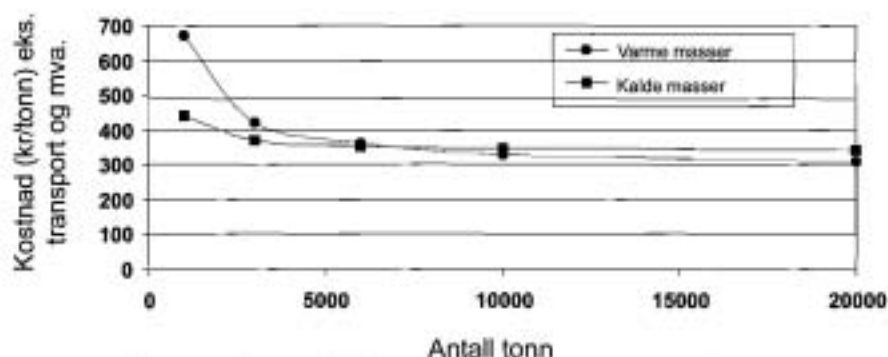
## 9.5 Sammenligning av kostnader

### 9.5.1 Lik transportavstand

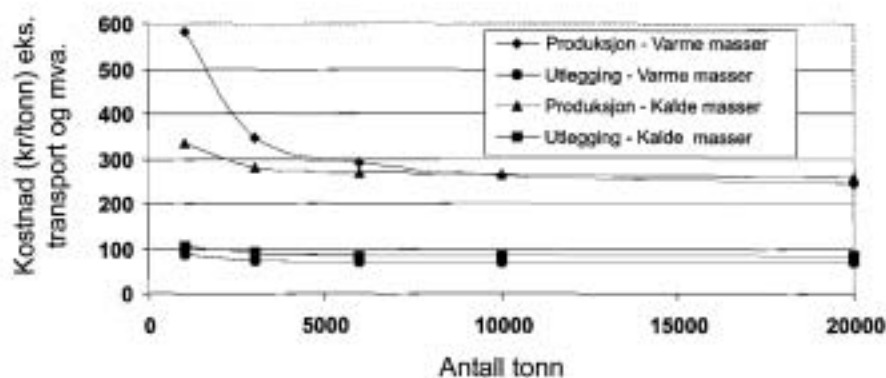
I sammenligningen av kostnader mellom varme og kalde dekker er kostnadene i dette kapittelet basert på eks. mva. og transport. I beregningene er det forutsatt at transportavstanden for selve verkene er 150 km for både varmblandeverket og kaldblandeverket. Riggutgiftene for varmeblandeverk kan variere fra kr 100 000 for et hypermobilt verk til kr 500 000 for et semimobilt verk av den gamle typen. For tilrigging av kaldeblandeverk kan tilriggingskostnadene variere fra kr 20 000 til kr 100 000 avhengig av type mobilitet og hvor mye utstyr som ønskes medtatt.

I figur 9.1 er det laget et regneeksempel som viser hva kostnaden for produksjon og utlegging av varme og kalde masser blir basert på en del gitte forutsetninger. Dette kostnadsbildet vil som før nevnt variere fra parsell til parsell som skal vedlikeholdes da forutsetningene vil variere.

Figur 9.2 viser både produksjonskostnadene og utleggerkostnadene for varme og kalde masser basert på de samme forutsetningen som figur 9.1.



Figur 9.1 Kostnader for produksjon og utlegging av varme og kalde masser fra mobile blandeverk.



Figur 9.2 Kostnader for produksjon og utlegging av varme og kalde masser fra mobile blandeverk.

Som man ser av figur 9.1 er kostnaden for produksjon og utlegging av kalde masser lavere når mengden er mindre enn 7000 tonn og høyere når mengden er over 7000 tonn sammenlignet med produksjon og utlegging av varme masser, basert på eksemplets forutsetninger.

Figur 9.2 viser at produksjonskostnadene for kalde og varme masser er tilnærmet like når mengden er ca. 10000 tonn mens utleggingskostnadene er noe høyere ved bruk av kalde masser i forhold til varme masser, 15-20 kr/tonn. Dette skyldes at i AUT-massene brukte man et stivt bindemiddel og dermed må man forvente at med dagens utleggerutstyr blir utleggerhastigheten lavere enn ved bruk av varme masser. En optimalisering av utleggerutstyret basert på bruk av kalde masser med stivt bindemiddel vil kunne utligne denne forskjellen i utleggerhastighet mellom varme og kalde masser.

Et regneeksempel viser at produksjon og utlegging av kalde masser er økonomisk hvis produksjonsmengden er mindre enn 7000 tonn. Sammenligningen er basert på mobile verksoppstillinger.

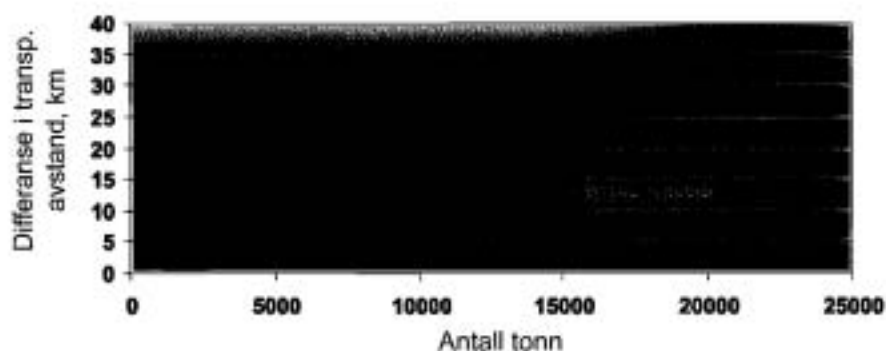
Ulik transportavstand kan påvirke  
valget mellom kalde og varme masser.

### 9.5.2 Ulik transportavstand

I en vurdering av kalde masser mot varme masser vil den viktigste fordelene med kalde masser være at produksjonsutstyret er vesentlig enklere, dvs. lavere riggekostnader, og at produksjonsutstyret krever mindre riggområde og dermed også muligheten for å redusere transportkostnader sammenlignet med bruk av varme masser. En kortere transportavstand fører også til mindre belastning på vegnettet samt mindre forurensning av lufta i forbindelse med transport av asfalt fra verk til veg.

Derfor er det gjort kostnadsberegninger for å se hvilken betydning ulik transportavstand har for kostnadsbildet mellom kalde og varme masser. Beregningene er basert på lik transportavstand (10 km), differanse i transportavstand på 20 km (10 km for kalde masser og 30 km for varme masser) og differanse i transportavstand på 40 km (10 km for kalde masser og 50 km for varme masser). I kostnadsberegningene er det ikke tatt hensyn til at kortere transportavstand også fører til mindre belastning på vegnettet og mindre forurensning til luft i forbindelse med asfalteringen.

Resultatene av sammenligningen av varme og kalde dekker med ulik transportavstand er vist i figur 9.3.



Figur 9.3 Sammenligning av kostnader for kalde og varme masser med ulik transportavstand.

Figur 9.3 viser at kostnadene for produksjon, utlegging og transport av kalde masser er lavere enn for varme masser når mengden er mindre enn 7000 tonn, under forutsetning av at transportavstanden er lik. Hvis transportavstanden er 20 km kortere ved bruk av kalde masser vil man måtte ha minimum 10 000 tonn og hvis differansen i transportavstand er 40 km vil man måtte ha 22 000 tonn med varme masser for å være konkurransedyktige med kalde masser. Men som tidligere nevnt er dette regneeksempel basert på en del gitte forutsetninger som det er knyttet store variasjoner til. Disse beregningene forutsetter at varme og kalde dekker har lik levetid.

På bakgrunn av de erfaringene man foreløpig har i AUT er det vanskelig å si noe om levetiden på kalde dekker i forhold til varme dekker. Spor- og jevnhetsmålinger fra 1997 indikerer at tilstandsutviklingen for spor og jevnhet på AUT-dekkene foreløpig ikke skiller seg fra varme dekker. Årsaken til neste asfaltering på de fleste AUT-dekkene i Telemark vil sannsynligvis være aldring da forsøksstrekningene har god bæreevne og er godt drenert samt at det er liten trafikk. Derfor er det under disse forutsetninger ikke grunnlag for å tro at levetiden på AUT-dekkene vil bli kortere enn det man normalt har på varme dekker.

Ved bruk av kalde masser kreves det god tid til planlegging. Ved proporsjonering har kondisjoneringsforsøk vist at en bør holde fast ved standardprosedyren, dvs. lagring i varmeskap ved 40 °C i 7 døgn med påfølgende 8 fryse/tine sykler. Forsøk viser at magre masser har en reduksjon av lastfordelingskoeffisienten etter fryse/tine sykler, mens det ikke er signifikante forskjeller ved høyere bitumeninnhold. 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 bearbeidbarhet, kompakterbarhet og stabilitet.

Erfaringer fra prosjektet har vist at avrenning ofte er et problem hvis man ikke har optimalt vanninnhold i tilslaget. Dette må derfor tas hensyn til under proporsjoneringen.

Ved utprøving av ulike typer laboratorieutstyr har det vist seg at gyratorisk kompaktor er best egnet for prøvetillaging når en skal vurdere massens bearbeidbarhet.

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

Formelverket for dimensjoneringsnivå 2 i håndbok 018 er basert på tidligere undersøkelser av varm asfalt. I AUT er det gjort forsøk med sammenligning av treksialforsøk og spaltstrekk mhp. å undersøke om formelverket også stemmer for emulsjonsmasser. Forsøkene viste at det var rimelig god overensstemmelse.

Erfaringer fra AUT viser at hvis nyknuste steinmaterialer er svært reaktive bør materialene lagres noen uker før de blir brukt i produksjon av kalde masser. Det er også viktig å splitte tilslaget i 2-3 sorteringer før de blandes i asfaltverket. Ved nedbør kan det være behov for tildekking av steinmaterialene og ved tørkeperioder kan det være behov for å vanne steinmaterialene før de går inn i produksjonen. Det er viktig at steinmaterialene til enhver tid har optimalt vanninnhold fordi avvik ofte fører til avrenning. Belegg på steinmaterialene kan også være et problem. Belegget kan fjernes ved vasking av steinmaterialene. På et tilslagsmaterialen i AUT har man også prøvd en ny metode for fjerning av belegg ved å tilsette et stivt og raskbrytende bindemiddel på grovfraksjonen slik at bindemidlet skulle bryte på belegget og dermed fjerne belegget fra grovfraksjonen. Utprøvingen viste at det var mulig å fjerne belegg hvis produksjonsprosessen ble tilrettelagt for denne metoden.

Ved produksjon av kalde masser må det stilles spesielle krav til produksjonsutstyret. Erfaringer har vist at det er viktig med to materialstrømmer for tilslaget og blandingen må utføres av en kontinuerlig tvangsblender. For å produsere en homogen masse har man i AUT forsøkt å modifisere en Lucstablander, men dette førte bare delvis fram. Derfor ble

det initiert et arbeid for å finne andre blandere. I et samarbeid med selskapet Ide-Con ble det benyttet en blander (tvangsblender) som hadde en annen utforming av både blandekammer og mikseskovler. I tillegg ble blandekammeret oppvarmet med hetolje noe som lettet rengjøringen og forbedret homogeniteten i massen. Utprøvingen av den nye tvangsblenderen ga gode resultater, og en klarte å produsere en homogen masse uten finstoffballer. Det er viktig å produsere en homogen masse for å få et jevnt og homogent dekke på vegen.

Forsøk har vist at det er viktig at utleggerutstyret har nok tyngde og trekkraft samt at selve screeden også har en viss tyngde for å få et jevnt og homogent dekke. Det er dessuten viktig at utleggerhastigheten er jevn, tilpasset tilgangen på masse og den stive massetypen. Man har kommet fram til at utleggerhastigheten ikke bør overstige 3-4,5 m/min.

Hastigheten på stamper må tilpasses framdriftshastigheten. Den skal slå med en frekvens slik at stamperen dekker hele overflaten med minst ett slag under overfarten. Teoretisk skal en stamper med 10 mm stampeflatebredde slå med en frekvens på 5 Hz ved en framdriftshastighet på 3m/min. For å sikre at stamperen slår over hele flaten bør stampehastigheten settes til det dobbelte av den teoretiske, men ikke høyere enn at screeden går rolig uten for mye vibrasjoner. Erfaringene har vist at det er en fordel å legge med varme på screeden da den holder seg lengre rein uten at det kleber seg bitumen på glatteplater og stampekniver. Høyden på mateskruen over underlaget bør ikke være for liten da reaksjonen fra underlaget påvirker screedens stabilitet. Det samme gjelder for avstanden mellom mateskrue og screed.

Kompaktering av kalde masser skiller seg fra kompaktering av varme masser ved at det er vann tilstede i kalde masser. Dette gjør at massen oppfører seg annerledes og får en annen hulromstruktur enn varme masser. Undersøkelser som er foretatt ved hjelp av mikroskopanalyse viser at hulrommet i kalde dekker består av flere små luftporer enn i varme dekker med samme totale hulrom. Generelt er det totale hulrom høyere i kalde dekker enn i varme dekker. Hulrommet i AUT-dekkene ligger i området 5-12 %.

Ved kompaktering må det skilles mellom tynne og tykke lag. For bærelag gir vibrasjonsvals med høy amplitude det klart beste resultat. For slitelag vil det mest egnede utstyret være vibrasjonsvals med høy frekvens eller oscillerende vals. Tung statisk vals med stor trommeldiameter vil også gi gode resultater. For å få et godt resultat er det også viktig med riktig væskeinnhold i massene og at valsingen utføres så raskt som mulig etter legging. På en av fem strekninger registrerte man noe klebing av masse til vals.

I AUT er det også utviklet en metode (piggskive) for å bedømme initialstyrken og herdeforløpet til kaldasfaltdekker i felt. Metoden ble brukt i utviklingsarbeidet i AUT, men den ble ikke brukt som metode for å vurdere når man kan sette på trafikk på nylagt dekke. Metoden vil sannsynligvis også egne seg til dette formålet.

---

Måling av jevnhet umiddelbart etter legging viser at det ikke er forskjell i målt jevnhet (IRI) på AUT-dekkene sammenlignet med det man normalt får ved måling av jevnhet på nylagte varme dekker, men for en bilist kan dekkene oppleves som noe mer ujevne.

I en økonomisk sammenligning av varme og kalde masser vil det være mange variable faktorer som er avgjørende for om kalde masser er konkurransedyktige med varme masser. For å få et best mulig svar på dette bør kontraktene lyses ut med både varme og kalde masser som alternativ. Ut fra økonomiske erfaringer i AUT-prosjektet vil sannsynligvis markedet for kalde masser bestå av parseller som ligger forholdsvis langt fra stasjonære varmblendeverk.

Ut fra de erfaringer man har i dag er det ikke grunnlag for å hevde at levetiden på AUT-dekkene vil bli kortere enn på varme dekker. Alle dekkene er lagt ut på et forholdsvis lavtrafikkert vegnett der sporslitasje ikke vil være årsak til neste reasfaltering.



**Veglaboratoriets intern rapportserie:**

- Nr. 1942 Kondisjoneringsbetingelser 1995/96, Mars 1997
- Nr. 1943 Statusrapport for forsøksfelt med bærelag og dekker i Telemark i 1995, Mars 1997
- Nr. 1944 Litteraturstudium, kalde bærelags- og slitelagsmasser Telemark i 1995, Mars 1997
- Nr. 1972 Sammenligning av verksblanding og laboratorieblending av kaldmasse, Juni 1997
- Nr. 1973 Kompakteringsmetoder i laboratoriet, Juni 1997
- Nr. 1974 Dynamisk treaksialforsøk og spaltetrekkforsøk på emulsjonsgrus – hovedundersøkelser, Juni 1997
- Nr. 1975 Dynamisk treaksialforsøk på emulsjonsgrus – tilleggsundersøkelser, Juni 1997
- Nr. 1976 Dynamisk treaksialforsøk på emulsjonsgrus – sammendragsrapport, Juni 1997
- Nr. 1977 Vurdering av proporsjonering og kompakteringsegenskaper for kaldproduserte asfaltmasser ved bruk av gyrator-kompaktor, Juni 1997
- Nr. 1978 Bruk av gyrator for karakterisering av bearbeidbarhet og kompakterbarhet av kalde asfaltmasser, juni 1997
- Nr. 1980 Identifisering av stor stein med Georadar, Juni 1997
- Nr. 1982 Feltforsøk skumgrus som slitelag, Rv 45 Høydalsmo juni 1996, Juli 1997
- Nr. 1999 Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark, Emulsjonsteknologi, Oktober 1997
- Nr. 2011 Feltforsøk skumgrus som slitelag, Rv 358 Gautefall august 1997, Februar 1998

**Veglaboratoriets laboratorieserie:**

- Nr. 86 Planleggingsverktøy, September 1997
- Nr. 87 Mix-design, September 1997
- Nr. 88 Produksjon, September 1997
- Nr. 89 Utlegging, , September 1997
- Nr. 90 Valsing, September 1997
- Nr. 91 Driftserfaringer, September 1997

# Publikasjoner fra Veglaboratoriet

38. Ø. JOHANSEN. Varmeledningsevne av forskjellige vegbyggingmateriale (The thermal conductivity of various road aggregates). 18 p. 1971.
39. R. S. NORDAL, E. HANSEN. Vormsund Forsøksveg, Del 1: Planlegging og bygging (Vormsund Test Road, Part 1: Design and Construction). 48 p. 1971.
40. R. S. NORDAL. Vormsund Forsøksveg, Del 2: Instrumentering (Vormsund Test Road, Part 2: Instrumentation). 38 p. 1972.
41. K. FLAATE and R. B. PECK. Braced Cuts in Sand and Clay. 29 p. 1972.
42. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Komprimering av asfaltdekker (Compaction of Asphalt Pavements). Hurtige metoder for komprimeringskontroll av asfaltdekker (Rapid Methods for Compaction Control of Asphalt Pavements). 39 p. 1972.
43. Å. KNUTSON. Dimensjonering av vegger med frostakkumulierende underlag (Design of Roads with a Frost accumulating Bark Layer).  
K. SOLBRAA. Barkens bestandighet i vegfundamenter (The Durability of Bark in Road Constructions).  
G. S. KLEM. Bark i Norge (Bark in Norway). 32 p. 1972.
44. J. HODE KEYSER, T. THURMANN-MOE. Slitesterke bituminøse vegdekker (Characteristics of wear resistant bituminous pavement surfaces).  
T. THURMANN-MOE, O. E. RUUD. Rustdannelse på biler (Vehicle corrosion due to the use of chemicals in winter maintenance and the effect of corrosion inhibitors).  
T. THURMANN-MOE, O. E. RUUD. Kjemikalier i vintervedlikeholdet (Norwegian saltpeter and urea as alternative chemicals for winter maintenance).  
O. E. RUUD, B-E. SÆTHER, F. ANGERMO. Understellsbehandling av biler (Undersealing of vehicles with various sealants). 38 p. 1973.
45. Proceedings of the International Research Symposium on Pavement Wear, Oslo 6th-9th June 1972. 227 p. 1973.
46. Frost i veg 1972. Nordisk Vegteknisk Forbunds konferanse i Oslo 18-19 sept. 1972 (Frost Action on Roads 1972. NVF Conference in Oslo 1972). 136 p. 1973.
47. Å. KNUTSON. Praktisk bruk av bark i vegbygging (Specifications for Use of Bark in Highway Engineering).  
E. GJESSING, S. HAUGEN. Barkavfall - vannforurensning (Bark Deposits - Water Pollution). 23 p. 1973.
48. Sikring av vegtunneler (Security Measures for Road Tunnels). 124 p. 1975.
49. H. NOREM. Registrering og bruk av klimadata ved planlegging av høgjellsveger (Collection and Use of Weather Data in Mountain Road Planning).  
H. NOREM. Lokalisering og utforming av vegger i drivsnø-områder (Location and Design of Roads in Snow-drift Areas).  
H. NOREM, J. G. ANDERSEN. Utforming og plassering av snøskjermmer (Design and Location of Snow Fences).  
K. G. FIXDAL. Snøskredoverbygg (Snowsheds).  
H. SOLBERG. Snørydding og snøryddingsutstyr i Troms (Winter Maintenance and Snow Clearing Equipment in Troms County). 59 p. 1975.
50. J. P. G. LOCH. Frost heave mechanism and the role of the thermal regime in heave experiments on Norwegian silty soils.  
K. FLAATE, P. SELNES. Side friction of piles in clay.  
K. FLAATE, T. PREBER. Stability of road embankments in soft clay.  
A. SØRLIE. The effect of fabrics on pavement strength - Plate bearing tests in the laboratory.  
S. L. ALFHEIM, A. SØRLIE. Testing and classification of fabrics for application in road constructions. 48 p. 1977.
51. E. HANSEN. Armering av asfaltdekker (Reinforced bituminous pavements).  
T. THURMANN-MOE, R. WOLD. Halvsåling av asfaltdekker (Resurfacing of bituminous pavements).  
A. GRØNHAUG. Fremtidsperspektiver på fullprofilboring av vegtunneler (Full face boring of road tunnels in crystalline rocks).  
E. REINSLETT. Vegers bæreevne vurdert ut fra maksimal nedbøyning og krumming (Allowable axle load (technically) as determined by maximum deflection and curvature). 52 p. 1978.
52. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Lyse vegdekker (High luminance road surfaces).  
A. ARNEVIK, K. LEVIK. Erfaringer med bruk av overflatebehandlinger i Norge (Experiences with surface dressings in Norway).  
J. M. JOHANSEN. Vegdekks jevnhet (Road roughness).  
G. REFSDAL. Vegers bæreevne bestemt ved oppgraving (indeksmetoden) og nedbøyningsmåling. Er metodene gode nok? (Road bearing capacity as decided by deflection measurements and the index method). 44 p. 1980.
53. E. HANSEN, G. REFSDAL, T. THURMANN-MOE. Surfacing for low volume roads in semi arid areas.  
H. MTANGO. Dry compaction of lateritic gravel.  
T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method. Performance and economy.  
G. REFSDAL. Thermal design of frost proof pavements.  
R. G. DAHLBERG, G. REFSDAL. Polystyrene foam for lightweight road embankments.  
A. SØRLIE. Fabrics in Norwegian road building.  
O. E. RUUD. Hot applied thermoplastic road marking materials.  
R. SÆTERS DAL, G. REFSDAL. Frost protection in building construction. 58 p. 1981.
54. H. ØSTLID. High clay road embankments.  
A. GRØNHAUG. Requirements of geological studies for undersea tunnels.  
K. FLAATE, N. JANBU. Soil exploration in a 500 m deep fjord, Western Norway. 52 p. 1981.
55. K. FLAATE. Cold regions engineering in Norway.  
H. NOREM. Avalanche hazard, evaluation accuracy and use.  
H. NOREM. Increasing traffic safety and regularity in snow-storm periods.  
G. REFSDAL. Bearing capacity survey on the Norwegian road network method and results.  
S. DØRUM, J. M. JOHANSEN. Assessment of asphalt pavement condition for resurfacing decisions.  
T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method for improved gravel road maintenance.  
R. SÆTERS DAL. Prediction of frost heave of roads.  
A. GRØNHAUG. Low cost road tunnel developments in Norway. 40 p. 1983.
56. R. S. NORDAL. The bearing capacity, a chronic problem in pavement engineering?  
E. REINSLETT. Bearing capacity as a function of pavement deflection and curvature.  
C. ØVERBY. A comparison between Benkelman beam, DCP and Clegg-hammer measurements for pavement strength evaluation.  
R. S. NORDAL. Detection and prediction of seasonal changes of the bearing capacity at the Vormsund test road.  
P. KONOW HANSEN. Norwegian practice with the operation of Dynaflect.  
G. REFSDAL, C-R WARNINGHOFF. Statistical considerations concerning the spacing between measuring points for bearing capacity measurements.  
G. REFSDAL, T. S. THOMASSEN. The use of a data bank for axle load policy planning and strengthening purpose.  
T. S. THOMASSEN, R. EIRUM. Norwegian practices for axle load restrictions in spring thaw. 80 p. 1983.

57. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). Vormsund forsøksveg. Del 3: Observasjoner og resultater (Vormsund Test Road, Part 3: Observations and Results). 168 p. 1984.
58. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). The Vormsund Test Road. Part 4: Summary Report. 82 p. 1987.
59. E. LYGREN, T. JØRGENSEN, J. M. JOHANSEN. Vannforurensning fra veier. I. Sammendragsrapport. II. Veiledning for å håndtere de problemene som kan oppstå når en veg kommer i nærheten av drikkevannforekomst (Highway pollution). 48 p. 1985.
60. NRRL, ASPHALT SECTION. Surfacing for low volume roads.  
T. E. FRYDENLUND. Superlight fill materials.  
K. B. PEDERSEN, J. KROKEBORG. Frost insulation in rock tunnels.  
H. ØSTLID. Flexible culverts in snow avalanche protection for roads.  
K. FLAATE. Norwegian fjord crossings why and how.  
H. S. DEIZ. Investigations for subsea tunnels a case history.  
H. BEITNES, O. T. BLINDHEIM. Subsea rock tunnels. Preinvestigation and tunnelling processes. 36 p. 1986.
51. Plastic Foam in Road Embankments:  
T. E. FRYDENLUND. Soft ground problems.  
Ø. MYHRE. EPS – material specifications.  
G. REFSDAL. EPS – design considerations.  
R. AABØE. 13 years of experience with EPS as a lightweight fill material in road embankments.  
G. REFSDAL. Future trends for EPS use.  
Appendix: Case histories 1-12, 60 p. 1987.
62. J. M. JOHANSEN, P. K. SENSTAD. Effects of tire pressures on flexible pavement structures – a literature survey. 148 p. 1992.
63. J. A. JUNCA UBIERNA. The amazing Norwegian subsea road tunnels. 24 p. 1992.
64. A. GRØNHAUG. Miljøtiltak ved vegbygging i bratt terreng (Environmental measures for road construction in mountain slopes).  
Ø. MYHRE. Skumplast uten skadelige gasser (The phase out of hard CFCs in plastic foam).  
T. JØRGENSEN. Vurdering av helsefare ved asfaltstøv (Evaluation of health risks of dust from asphalt wear).  
N. RYGG. Miljømessig vegtilpassing (Environmental road adjustment). 52 p. 1992.
65. C. HAUCK. The effect of fines on the stability of base gravel.  
A. A. ANDRESEN, N. RYGG. Rotary-pressure sounding 20 years of experience. 24 p. 1992.
66. R. EVENSEN, P. SENSTAD. Distress and damage factors for flexible pavements. 100 p. 1992.
67. STEINMATERIALKOMITEEN. Steinmaterialer (Aggregates). 20 p. 1993.
68. Å. KNUTSON. Frost action in soils. 40 p. 1993.
69. J. VASLESTAD. Stål- og betongelementer i løsmassetunneler (Corrugated steel culvert and precast elements used for cut and cover tunnels).  
J. VASLESTAD. Støttekonstruksjoner i armert jord (Reinforced soil walls). 56 p. 1993.
70. SINTEF SAMFERDSELSTEKNIKK. Vegbrukers reduserte transportkostnader ved opphevelse av telerestriksjoner (Reduced transportation costs for road user when lifting axle load restrictions during spring thaw period). 144 p. 1993.
71. R. Evensen, E. Wulvik. Beregning av forsterkningsbehov basert på tilstandsvurderinger – analyse av riks- og fylkesvegnettet i Akershus (Estimating the need of strengthening from road performance data). 112 p. 1994.
72. Fjellbolting (Rockbolting). 124 p. 1994.
73. T. BÆKKEN, T. JØRGENSEN. Vannforurensning fra veg – langtidseffekter (Highway pollution – long term effect on water quality). 64 p. 1994.
74. J. VASLESTAD. Load reduction on buried rigid pipes.  
J. VASLESTAD, T. H. JOHANSEN, W. HOLM. Load reduction on rigid culverts beneath high fills, long-term behaviour.  
J. VASLESTAD. Long-term behaviour of flexible large-span culverts. 68 p. 1994.
75. P. SENSTAD. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Bedre utnyttelse av vegens bæreevne» («Better utilization of the bearing capacity of roads, final report»). 48 p. 1994.
76. F. FREDRIKSEN, G. HASLE, R. AABØE. Miljøtunnel i Borre kommune (Environmental tunnel in Borre Municipality).  
F. FREDRIKSEN, F. OSET. GEOPLOT – dak-basert presentasjon av grunnundersøkelser (GEOPLOT – CAD-based presentation of geotechnical data). 48 p. 1994.
77. R. KOMPEN. Bruk av glideforskaling til brusøyler og -tårn (Use of slipform for bridge columns and towers). 16 p. 1995.
78. R. KOMPEN. Nye regler for sikring av overdekning (New practice for ensuring cover).  
R. KOMPEN, G. LIESTØL. Spesifikasjoner for sikring av armeringens overdekning (Specifications for ensuring cover for reinforcement). 40 p. 1995.
79. The 4th international conference on the «Bearing capacity of roads and airfields» – papers from the Norwegian Road Research Laboratory. 96 p. 1995.
80. W. ELKEY, E. J. SELLEVOLD. Electrical resistivity of concrete. 36 p. 1995.
81. Å. KNUTSON. Stability analysis for road construction. 48 p. 1995.
82. A. ARNEVIK, E. WULVIK. Erfaringer med SPS-kontrakter for asfaltering i Akershus (Experiences with wear-guaranteed asphalt contracts on high volume roads in Akershus county). 28 p. 1996.
83. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Teknisk utvikling innen bru- og tunnelbygging» («Technical development – bridge and tunnel construction, final report»). 20 p. 1996.
84. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Prøvereparasjon og produktutvikling» («Trail repairs and product development, final report»). 156 p. 1997.
85. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Klimapåkjenning og tilstandsvurdering» («Climatic loads and condition assessment, final report»). 248 p. 1998.
86. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon» («Instrumentation, documentation and verification, final report») 100 p. 1998.
87. OFU Gimsøystraumen bru. Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbru i betong (Recommendations for inspection, repair and surface treatment of coastal concrete bridges). 112 p. 1998.
88. OFU Gimsøystraumen bru. Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåkning av kystbru i betong. (Recommendations for instrumental corrosion monitoring of coastal concrete bridges). 60 p. 1998.
89. OFU Gimsøystraumen bru. Hovedresultater og oversikt over sluttokumentasjon (Main result and overview of project reports). 24 p. 1998.
90. J. KROKEBORG. Sluttrapport for Veg-grepsprosjektet «Veggrep på vinterveg» («Studded tyres and public health, final report»). 52 p. 1998.
91. A. GRØNHAUG. Tunnelkledinger (Linings for water and frost protection of road tunnels). 68 p. 1998.
92. J. K. LOFTHAUG, J. MYRE, F. H. SKAARDAL, R. TELLE. Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (Cold mix project in Telemark). 68 p. 1998.

