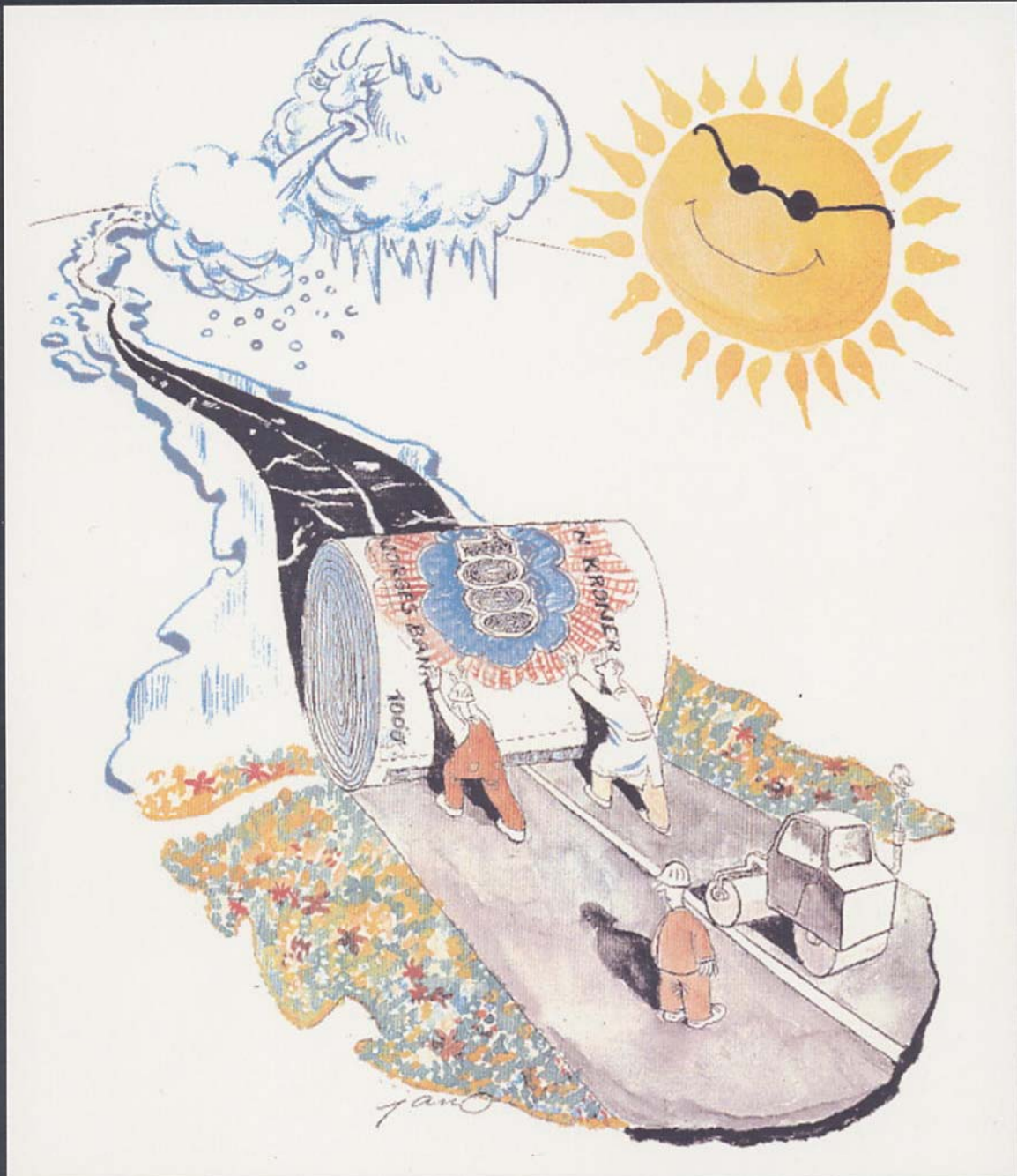


# PROKAS

Proporsjonering og kontroll av asfalt



Prosjektrapport nr. 15  
Sluttrapport



**SINTEF****SINTEF Teknologi og samfunn**  
Veg og samferdselPostadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: Klæbuveien 153  
Telefon: 73 59 46 60  
Telefaks: 73 59 46 56

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

**SINTEF RAPPORT**

TITTEL

**Sluttrapport**

FORFATTER(E)

**Bjørn Ove Lerfald, Eivind O. Andersen, Joralf Aurstad, Ragnar Bragstad, Torbjørn Jørgensen og Geir Lange**

OPPDRAGSGIVER(E)

**PROKAS (flerklientprosjekt)**

RAPPORTNR. <b>STF22 A04354</b>	GRADERING <b>Åpen</b>	OPPDRAGSGIVERS REF. <b>Geir Lange, Avinor</b>	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN <b>82-14-03603-8</b>	PROSJEKTNR. <b>22G103</b>	ANTALL SIDER OG BILAG <b>52 + 2 vedlegg</b>
ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\Pro\22G103\Rapporter-notater\Rapporten\Sluttrapport\Sluttrapport1.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) <b>Joralf Aurstad</b> <i>Joralf Aurstad</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) <b>Inge Hoff</b> <i>Inge Hoff</i>
ARKIVKODE <b>22G103</b>	DATO <b>2004-12-27</b>	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) <b>Lillian Fjerdings, forskningssjef</b> <i>Lillian Fjerdings</i>	

**SAMMENDRAG**

I 1998 ble den samlede asfaltbransjen i Norge enig om et utviklingsprosjekt med siktemål å utvikle verktøy til å optimalisere sammensetningen av asfaltmasser og forutsi asfaltdekkenes funksjonsegenskaper. Prosjektet fikk navnet PROKAS (PROporsjonering og Kontroll av ASfalt). Prosjektet har involvert de største byggherrene, asfaltentreprenørene, oljeselskapene og forskningsmiljøene i Norge. Hoveddelen av arbeidet har blitt utført gjennom følgende definerte arbeidsgrupper:

1. Råmaterialer
2. Gyrator
3. Deformasjon og stivhet
4. Densitet/hulrom
5. Bestandighet
6. Kontroll

Denne rapporten oppsummerer det arbeidet som er gjennomført i de ulike arbeidsgruppene, og presenterer gjennom det også hovedkonklusjonene fra PROKAS prosjektet.

De nye metodene skal etter hvert komme inn i retningslinjer og bli anvendt på veger og flyplasser i Norge.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Vegteknikk	Highway Engineering
GRUPPE 2	Asfalt	Asphalt
EGENVALGTE	Testingsutstyr	Testing equipment
	Materialegenskaper	Material properties
	Proporsjonering	Mix design

## English summary

This report summarises the PROKASproject on design and control of asphalt pavements. The main objective with the project has been to develop a mix design system based on functional properties of the asphalt pavements. During the project, new test methods have been tried out and useful experience regarding properties of typical “Norwegian” asphalt mixes has been gained, both in lab and in field.

The following results can be emphasised from the project:

- Functional properties of asphalt pavements must be more focused in mix-design.
- A new asphalt binder selection system for mix design is developed. The system is based on local climate conditions and traffic loadings.
- New test methods have been used to measure the elastic modulus and deformation properties (Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) test and Indentation Repeated Load Axial Test (INDENT) on the Nottingham Asphalt Tester (NAT)).
- A new method for producing samples on gyratory compactor is developed (method 14.5623 in “Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser”).
- Different methods for measuring density and void content on asphalt cores have been evaluated. Method 14.5623 in “Håndbok 014” is recommended to be used in the future.
- For measuring the maximal density for an asphalt mixture, the *Rice Density-method* is recommended.
- Avinor and ATI have developed the present pavement condition registration system (ALFRED). The following parameters can now be measured with high degree of accuracy; texture, homogeneity, smoothness and crossfall.

Before a new mix-design system is fully developed some further field and laboratory testing must be conducted. The following tasks are necessary to carry out:

- Verification and implementation of the new asphalt binder selection system for mix design.
- Establish procedures for use of gyratory compactor in mix design.
- Establish criteria for determining optimum binder content.
- Before requirements regarding stiffness, deformation and other functional asphalt pavement properties can be established, further laboratory testing has to be carried out on different kinds of mixes, on both field and laboratory samples.

## INNHALDSFORTEGNELSE

English summary .....	2
<b>1 Bakgrunn og målsettinger for PROKAS-prosjektet .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Organisering og deltakere .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Rapport fra delaktiviteter/arbeidsgruppene .....</b>	<b>6</b>
3.1 Råmaterialer .....	6
3.1.1 Bakgrunn .....	6
3.1.2 Valg av bindemidler .....	6
3.1.3 Valg av steinmaterialer .....	8
3.1.4 Valg av tilsetningsstoffer .....	9
3.2 Gyrator .....	10
3.2.1 Bakgrunn .....	10
3.2.2 Resultater .....	10
3.2.3 Konklusjoner .....	17
3.3 Deformasjon og stivhet .....	19
3.3.1 Bakgrunn .....	19
3.3.2 Resultater .....	19
3.3.3 Konklusjoner .....	30
3.4 Densitet/hulrom .....	32
3.4.1 Bakgrunn .....	32
3.4.2 Resultater .....	32
3.4.3 Konklusjoner .....	36
3.5 Bestandighet .....	37
3.5.1 Bakgrunn .....	37
3.5.2 Resultater .....	38
3.5.3 Konklusjoner .....	42
3.6 Kontroll i felt .....	45
3.6.1 Bakgrunn .....	45
3.6.2 Resultater .....	45
3.6.3 Konklusjoner .....	48
<b>4 Sammendrag og hovedkonklusjoner .....</b>	<b>49</b>
<b>5 Referanser .....</b>	<b>51</b>

Vedlegg 1: Temperaturkart for Norge

Vedlegg 2: PROKAS prosjektet - rapportoversikt

## 1 Bakgrunn og målsettinger for PROKAS-prosjektet

Asfaltbransjen i Europa og i USA har de siste 30 årene vært preget av stagnasjon når det gjelder proporsjonering og kvalitetskontroll av varmblandet asfalt. Marshall-metoden, som ble utviklet i USA i 1940/50-årene, i første rekke for flyplasser og kontinuerlig graderte asfaltmasser, har fått stor anvendelse verden over og ligger til grunn for de fleste lands systemer for proporsjonering og kvalitetskontroll av asfalt. Dette er også tilfelle i Norge, hvor vårt system er basert på "resepter" for ulike massetyper, med en optimalisering av massens egenskaper basert på Marshall-metoden.

Trafikken har gradvis økt og nye massetyper får stadig større anvendelse. Man har erfart at Marshall-metoden og de krav som knyttes til denne, ikke lenger er et godt nok verktøy til å optimalisere sammensetningen av en asfaltmasse og forutsi dens funksjonalitet over tid ute i felt. Det er, og har i lengre tid vært, et stort behov for utvikling på dette fagområdet.

Flere land har i senere tid gjennomført store prosjekter med målsetting å utvikle nye proporsjonerings-systemer. Av de mer kjente er SHRP-programmet i USA [1, 2], ASTO i Finland og utviklingen av "Australian Mix Design Procedure" i Australia [3]. Alle disse erstatter systemer basert på Marshall-metoden.

I 1998 ble asfaltbransjen i Norge enig om å gjennomføre et samlet utviklingsprosjekt. Prosjektet fikk navnet PROKAS (PROporsjonering og Kontroll av ASfalt) og har hatt som målsetting å komme frem til nye og forbedrede metoder for proporsjonering og kontroll av asfaltdekker, tilpasset norske forhold. De nye metodene skal etter hvert komme inn i retningslinjer og bli anvendt på veier og flyplasser i Norge. Prosjektet har involvert de største byggherrene, asfalt-entreprenørene, oljeselskapene og forskningsmiljøene i Norge.

PROKAS er en fortsettelse av det arbeidet som ble gjennomført i prosjektet "*Ny asfaltteknologi*" (1994-1998), hvor utprøving av nye metoder for funksjonstesting av bindemidler var sentralt. Som en videreføring av dette har således vurdering av funksjonsegenskaper til asfaltdekker stått sentralt i PROKAS-prosjektet.

Innledningsvis i prosjektet ble det foretatt en gjennomgang av ulike lands proporsjonerings-systemer. Dette dannet grunnlaget for det videre arbeidet i PROKAS [4].

## 2 Organisering og deltakere

PROKAS har vært organisert med en styringsgruppe som øverste besluttsende myndighet, samt et prosjektråd og flere arbeidsgrupper som har tatt hånd om den faglige framdriften i prosjektet. Prosjektleder for PROKAS og leder av styringsgruppen har vært Geir Lange fra Avinor. Faglig prosjektleder ved SINTEF og leder for prosjektråd har vært Leif J. Bakløkk (Joralf Aurstad 2003-2004).

I prosjektet har følgende arbeidsgrupper vært i aktivitet (gruppeleder i parentes):

1. Råmaterialer (Olav Ruud)
2. Gyrator (Roar Telle/Ragnar Bragstad)
3. Deformasjon og stivhet (Sigmund Dørum)
4. Densitet/hulrom (Eivind O. Andersen)
5. Bestandighet (Torbjørn Jørgensen)
6. Kontroll (Leif J. Bakløkk/Geir Lange)

Prosjektvarighet: 1998 – 2004

Prosjektdeltakere:

- Statens vegvesen, Vegdirektoratet
- Avinor (Luftfartsverket)
- Forsvarsbygg (Forsvarets bygningstjeneste)
- Trondheim kommune, Trondheim bydrift
- Oslo kommune, Samferdselsetaten (1998-2002)
- Bergen kommune, Teknisk utbygging (1998-2002)
- Asfaltteknisk Institutt, ATI
- KoLo Veidekke
- NCC Roads
- Lemminkäinen Norge
- Skanska Asfalt
- Oslo Vei
- Nordasfalt
- MESTA
- Nynäs
- Norske Shell
- Esso Norge
- Statoil Marketing
- Elf Oil Nordic
- NTNU Institutt for bygg, anlegg og transport
- SINTEF avd. Veg og samferdsel

### 3 Rapport fra delaktiviteter/arbeidsgruppene

Aktivitetene gjennomført i arbeidsgruppene med detaljerte resultater osv finnes nærmere beskrevet i de enkelte tema-/delrapportene, se rapportoversikt i vedlegg 2. Her følger en mer kortfattet oppsummering og de viktigste konklusjoner.

#### 3.1 Råmaterialer

(Prosjektrapport nr. 12, ref [5])

##### 3.1.1 Bakgrunn

En egen arbeidsgruppe i PROKAS har sett på metoder og krav til råmaterialene i asfalt (bindemidler og tilslagsmaterialer) og utarbeidet et forslag til hvordan disse materialene bør velges.

Forslaget omfatter varmblandete massetyper.

- **Systemet for valg av bindemidler** er basert på det amerikanske SUPERPAVE, et system som ble søkt tilpasset norske forhold gjennom samarbeidsprosjektet "Ny Asfaltteknologi" (1994-1998).
- **Systemet for valg av steinmaterialer** er basert på bransjeprojektet "Asfalt 99" og Steinmaterial-komiteens forslag til revisjon av Håndbok 018 Vegbygging [6]. Disse er i sin helhet basert på CENs spesifikasjoner og metoder.

##### 3.1.2 Valg av bindemidler

###### 3.1.2.1 Nye spesifikasjoner

I ny revidert Håndbok 018 Vegbygging (2004) er bitumen og myk bitumen spesifisert etter NS-EN 12591, mens PmB-spesifikasjonen er den samme som i 1999-utgaven. Det er ikke funnet hensiktsmessig å foreta endringer av PmB-spesifikasjonene, da man forventer at ny europeisk standard vil foreligge innen kort tid.

###### 3.1.2.2 Prosedyre for valg av bindemiddel

Etter denne nye prosedyren skal valg av bindemiddel foretas på grunnlag av *klima, breddegrad og trafikkmengde (ÅDT)*. Følgende data må foreligge om vegen/prosjektet:

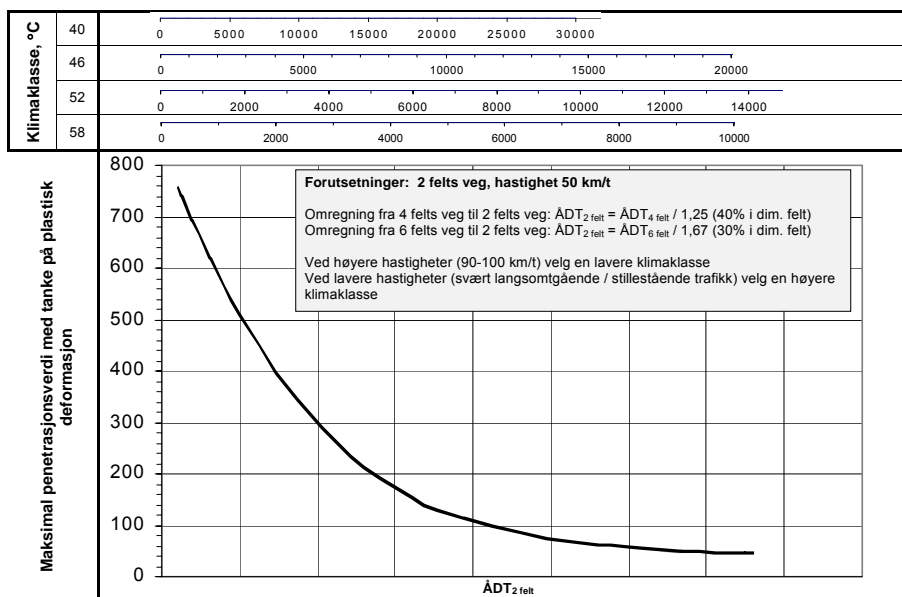
- Gjennomsnittlig maksimal lufttemperatur i varmeste 7-døgns periode,  $T_{\text{luftmax}}$  i °C
- Laveste lufttemperatur,  $T_{\text{luftmin}}$  i °C
- Breddegrad i °
- ÅDT

Ut fra disse parameterne bestemmes en **bruksklasse** (Performance Grade). Bruksklassen angis med PG etterfulgt av to tall som angir det maksimale brukstemperaturområdet hvor bindemiddelet vil ha tilfredsstillende deformasjons- og lavtemperateregenskaper. Eksempelvis skal bruksklasse PG 52-28 kunne brukes der hvor maksimal dekketemperatur kommer opp mot 52 °C om sommeren og går ned mot -28 °C om vinteren.

Dette forutsetter at massen er proporsjonert på en tilfredsstillende måte. For norske forhold vil det i tillegg være aktuelt å ta hensyn til piggdekkslitasje og andre store påkjenninger (bestandighet, bæreevne).

For umodifiserte bindemidler er det tidligere funnet meget god korrelasjon mellom spesifikasjonene basert på penetrasjon og/eller viskositet og PG-klassene. Bruksklassen kan derfor brukes til direkte å velge riktig hardhetsgrad (penetrasjon), se figur 1 (figuren må verifiseres). Det må i tillegg tas en ekstra sjekk om lavtemperatur-egenskapene til det beregnede bindemidlet er tilfredsstillende.





Figur 1 Bestemmelse av maksimal bindemiddelhardhet ut fra klimaklasse og ÅDT.

Følgende prosedyre foreslås utprøvd:

I) Bestemmelse av høyeste kritiske dekketemperatur, klimaklasse

Den høyeste kritiske dekketemperaturen beregnes etter formelen:

$$\bullet T_{\max 20} = (T_{\text{luftmax}} - 0,0055\varphi^2 + 0,15\varphi + 36) \cdot 0,9545 - 0,8$$

hvor  $\varphi$  er breddegrad i °

Temperaturen som beregnes, angir den høyeste temperatur som kan forventes i asfalddekket (20 mm dybde), og som dermed er dimensjonerende for deformasjonsegenskapene. Denne temperaturen brukes til å bestemme klimaklassen, som er det første tallet *xx* i bruksklassen (**PG xx - yy**).

Det er utarbeidet temperaturkart for Norge over høyeste og laveste lufttemperaturer, se vedlegg 1. Disse kartene kan anvendes hvis det ikke foreligger mer detaljerte måledata fra stedet.

II) Bestemmelse av hardhetsgrad (penetrasjon) ut fra klimaklasse

Dette gjøres ved bruk av figur 1, hvor man inngir aktuell trafikkmengde.

Figuren er laget ut fra følgende forutsetninger:

- dimensjonerende hastighet 50 km/t
- 2 felts veg
- det ønskes bindemiddel til slitelag

Man går inn i figuren med beregnet klimaklasse og aktuell trafikkmengde, trekker en rett linje ned til kurven og ut til venstre på penetrasjonsaksen. Dette angir den høyeste penetrasjonsverdien man kan velge ut fra deformasjonshensyn.

III) Kontroll av lavtemperaturegenskaper

Den valgte bindemiddelgrad sjekkes om den tilfredsstillende lavtemperaturkriteriet på stedet. Den laveste kritiske dekketemperatur,  $T_{\min}$ , bestemmes etter formelen:

$$\bullet T_{\min} = 0,859 \cdot T_{\text{luftmin}} + 1,7$$

Denne temperaturen utgjør det siste tallet  $-yy$  i bruksklassen ( $PG\ xx-yy$ ).

Da gjeldende spesifikasjoner baserer lavtemperatur-egenskapene på Fraass bruddpunkt, omregnes den kritiske dekketemperaturen til en ”nødvendig” Fraass-verdi etter følgende formel:

- $Fraass = 0,7 \cdot T_{min} + 6,8$

Denne verdien kontrolleres så mot de aktuelle hardhetsgradene i spesifikasjonene.

Nærmere detaljer rundt prosedyren, eksempler osv finnes i Prosjektrapport nr 12 [5]. Der framgår også hva man gjør når man har andre forutsetninger enn det som er angitt i figur 1.

### 3.1.3 Valg av steinmaterialer

Krav til steinmaterialer er i alt vesentlig relatert til vegens trafikkmengde ÅDT. Det skal gjøres en vurdering av egenskapene bestemt etter følgende metoder:

- Los Angeles
- Flisighetsindeks
- Kulemåle
- Knusningsgrad
- Korngradering (% gjennomgang)
- Densitet
- Polering - Polished Stone Value, PSV (veiledende)

Alle disse metodene er beskrevet i CEN-standardene. I forhold til tidligere praksis innebærer dette at fallprøve, abrasjon og Sa-verdi utgår. Det samme gjør anbefaling om bruk av NGUs visuelle metode for bestemmelse av svake korn.

I veiledningen fra steinmaterialkomiteen er det gitt nærmere beskrivelse av metodene samt angivelse av korrelasjoner mellom gamle og nye metoder [7].

Et utdrag av spesifikasjonene for steinmaterialer i nye Håndbok 018 (2004) [6] er vist nedenfor:

Steinmaterialer skal bestå av forvittringsbestandige bergarter og skal ha mindre enn 0,5 % magnetkis. Det stilles krav til bergartenes mekaniske egenskaper avhengig av trafikkb belastningen og hvor i vegkonstruksjonen materialene skal anvendes.

Tabell 1 Forenklet oversikt over krav til flisighetsindeks (FI), Los Angeles-verdi (LA) og mølleverdi (Mv) for tilslag til asfaltdekker og bituminøse bærelag.

	ÅDT					
	< 300	300-1500	1500-3000	3000-5000	5000-15000	> 15000
<b>Slitelag/bindlag</b>						
Flisighetsindeks, FI (8-16 mm) <sup>1</sup>	≤ 35	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 25	≤ 25
Los Angeles-verdi, LA	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 25	≤ 15
Mølleverdi, Mv	-	-	≤ 14	≤ 10	≤ 10	≤ 7
<b>Bærelag (bitumenstab.)</b>						
Flisighetsindeks, FI (8-16 mm)	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Los Angeles-verdi, LA <sup>2</sup>	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35

<sup>1</sup> Kravet gjelder innen graderingen 8/16 mm og dermed også for graderingene 8/11 mm og 11/16 mm og for delfraksjonene 8/10 mm, 10/12,5 mm og 12,5/16 mm.

<sup>2</sup> For Pp med ÅDT < 15000 kan LA være inntil 40.

Tabell 2      *Krav til min. %-andel knust for materialer større enn 4 mm.*

ÅDT	Sta/Top/ Ska/Da	Ab	Agb/Ma/ Egt	Egd	Eo/Do
< 3000	80	50	20 (30*)	50	100
3000 – 5000	80	60			
5000 – 15000	100	70			
> 15000	100	80			

\* Gjelder for Ma ved ÅDT 1500-3000

Steinmaterialet skal være tilnærmet fritt for humus. Etter NaOH-metoden skal følgende krav holdes m h t fargestyrke:

- kaldblandede masser < 0,5
- varmblandede masser < 2,0

I de tilfeller steinmaterialer ikke inneholder tilstrekkelig filler, skal nødvendig mengde av handelskvaliteten filler tilsettes. Filler skal framstilles ved knusing eller maling av forvitningsbestandig bergart. Filleren skal være tilstrekkelig tørr til å flyte fritt og være uten klumper. Den skal ikke inneholde organiske forurensninger. Korngrade-  
ring for material mindre enn 63 µm skal tilfredsstillende kravene i tabell 3.

Rigden-hulrom for material mindre enn 63 µm skal være mellom 28 og 55 volumprosent.

Tabell 3      *Krav til material mindre enn 63 µm.*

Kornstørrelse, µm	Gjennomgang, masseprosent
40	> 45
2	< 20

### 3.1.4 Valg av tilsetningsstoffer

De mest aktuelle tilsetningsstoffer i asfalt er vedheftningsmidler og fiber. Men også andre materialer som naturasfalt, gummipulver m m kan anvendes. Felles for alle disse produktene er at virkningen kan variere avhengig av massetype, bindemiddel og steinmaterial. For eksempel kan et vedheftningsmiddel som virker svært bra for én kombinasjon av stein/bindemiddel, være mindre virkningsfullt for en annen kombinasjon.

Generelt skal det foreligge datablad for alle slike produkter. Men ut over dette vil vi foreslå at det ikke stilles krav til tilsetningsstoffene alene eller at det skal anvendes spesielle produkter. Tilsetningsstoffenes effekt skal bestemmes på asfaltmassen. Bruker man et tilsetningsstoff som skal forbedre en bestemt egenskap, så bør dette dokumenteres ved å måle denne egenskapen på masser med og uten tilsetningsstoffet. Spesielt gjelder dette for vedheftning og avrenning av bindemiddel.

Den samme prosedyre foreslås når polymermodifisert bitumen skal anvendes.

## 3.2 Gyrator

(Prosjektrapport nr. 2, 4, 6, 13, ref [8, 9, 10, 11])

### 3.2.1 Bakgrunn

Arbeidet med gyratorisk kompaktor har hatt to hovedformål:

1. Bruke resultater fra gyratorisk kompaktering til volumetrisk proporsjonering av asfaltmasser
2. Benytte gyratorisk kompaktor til å lage prøver for videre testing.

Arbeidet har bestått i flere delaktiviteter:

- 2 ringanalyser for å se på spredningen mellom de ulike kompaktorene og hvordan de best kan kalibreres.
- Marshallstamping av samme masse som ved ringanalyse 2 for å se om det er større eller mindre spredning i hulrom ved Marshallstamping.
- Undersøkelse av hulromsfordelingen i prøver for å se hvordan den varierer gjennom prøven. Dette for å se om det er deler av prøven som er mer egnet enn andre for videre testing med annet utstyr.
- Proporsjonering av Ska 16 med fire forskjellige bindemiddelinhold for å se om resultatene var egnet til å si hvilket bindemiddelinhold som var best for den aktuelle kurven.
- Kompaktering av labblandet masse av Ska, Ab og Agb 11 hos tre entreprenører. Entreprenørene blandet massene etter egne resepter som hadde fungert bra ved produksjon, legging og under trafikk på vegen. Resultatene ble benyttet til å lage anbefalinger for hvordan kompakteringskurver for de ulike massetyperne bør ligge.
- Utprøving av utstyr for å måle vinkelen inne i kompaktoren under kompaktering.

### 3.2.2 Resultater

#### 3.2.2.1 Sammenligning av kompaktorer (Ringanalyse 1 og 2)

Ved ringanalyse 1 [8] kompakterte alle deltakende laboratorier den samme Agb11-massen labblandet (100 mm former) og verksblandet (100 og 150 mm former). På forhånd hadde de stilt vinkelen til 1,0° i følge brukerveiledningen fra leverandøren. Figur 2 viser at resultatene mellom laboratoriene varierer så mye at det vil være vanskelig å lage spesifikasjoner med krav til hulrom basert på gyratorisk kompaktering. Det var også en del variasjon mellom parallellene på hver lab.

For å samkjøre de gyratoriske kompaktorene bedre ble ringanalyse 2 arrangert. Her ble vinkelen forsøkt stilt slik at en referansemasse fikk en gitt densitet etter 80 omdreininger. Resultatene fra den etterfølgende kompakteringen av en verksblandet Agb11-masse er gjengitt i figur 3. Tabell 4 viser at standardavviket mellom laboratoriene er omtrent identisk for hydrostatisk densitet (densitet bestemt etter metode 14.5623 i håndbok 014) med 100 mm former, men at det har blitt lavere for 150 mm former. Hovedårsaken her er at resultatene fra Lemminkäinen er mer på samme nivå som de andre. Dette kan skyldes at Lemminkäinen kompaktor er en stivere modell enn de andre norske kompaktorene. Kompaktering med 150 mm former er tyngre enn med 100 mm former og kompaktoren kan derfor vri seg og på den måten ikke oppnå ønsket vinkel.

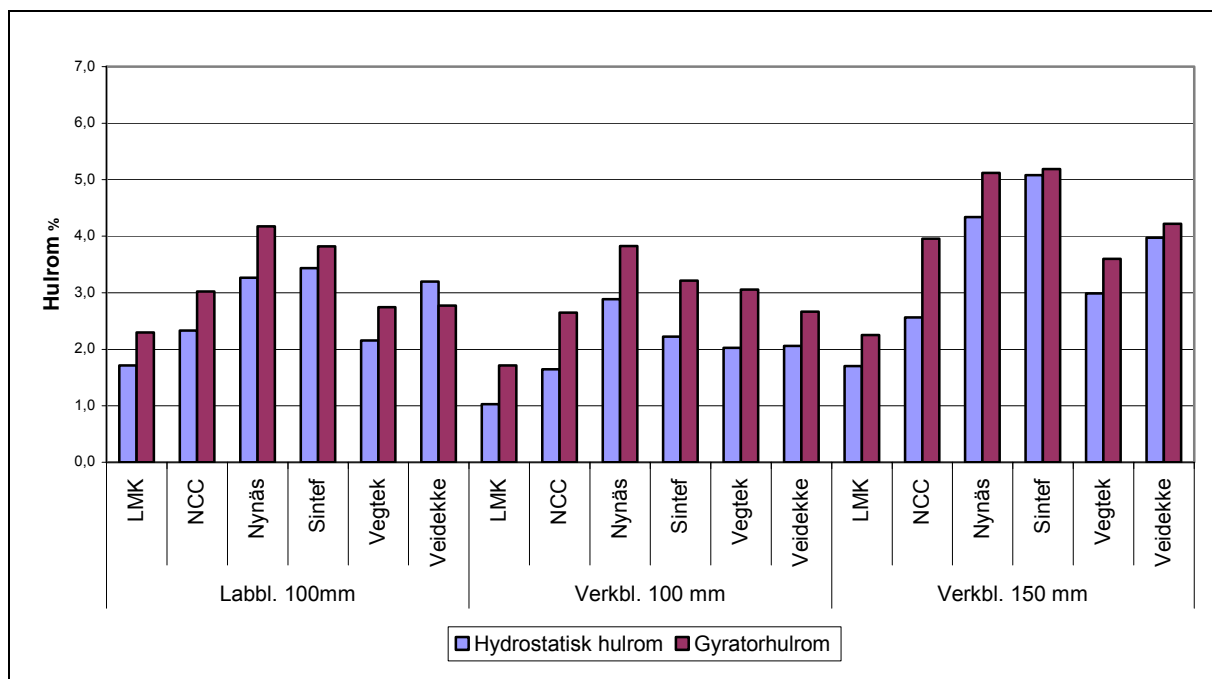
Tabell 4 Standardavvik hulrom mellom laboratorier.

	Formdiameter [mm]	Standardavvik hulrom mellom laboratoriene	
		Hydrostatisk	Gyratorhulrom
Ringanalyse 1	100	0,62	0,70
	150	1,25	1,09
Ringanalyse 2	100	0,64	0,47
	150	0,58	0,44

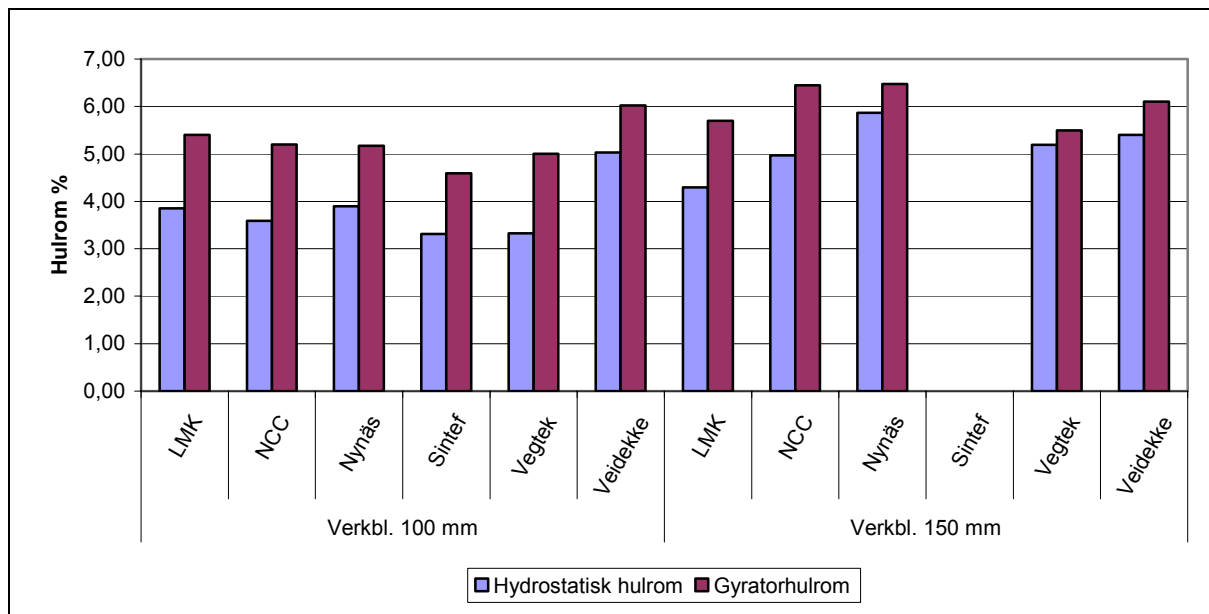
Tabell 5 viser at gjennomsnittet av standardavvikene for parallellene innen hvert laboratorium har økt fra ringanalyse 1 til 2.

Tabell 5 Gjennomsnittelig standardavvik innen laboratorium (densitet).

	Formdiameter [mm]	Gjennomsnittlig standardavvik hydrostatisk densitet, innen laboratorium
Ringanalyse 1	100	0,005
	150	0,009
Ringanalyse 2	100	0,011
	150	0,015



Figur 2 Ringanalyse 1. Hulromsresultat for deltakende laboratorier.



Figur 3 Ringanalyse 2. Hulromsresultat for deltakende laboratorier.

Det ble gjennomført en sammenligning mellom gyratorisk kompaktor og Marshall stamping. Marshallprøvene og prøver med 100 mm diameter fra Gyratorisk kompaktor ble sammenlignet mhp hydrostatisk densitet, hulrom og indirekte strekkstyrke. Gyratorprøvene er kjørt til 200 omdreininger og kappet i begge ender for å bli 65 mm høye som Marshallklossene. Tabell 6 viser resultatene.

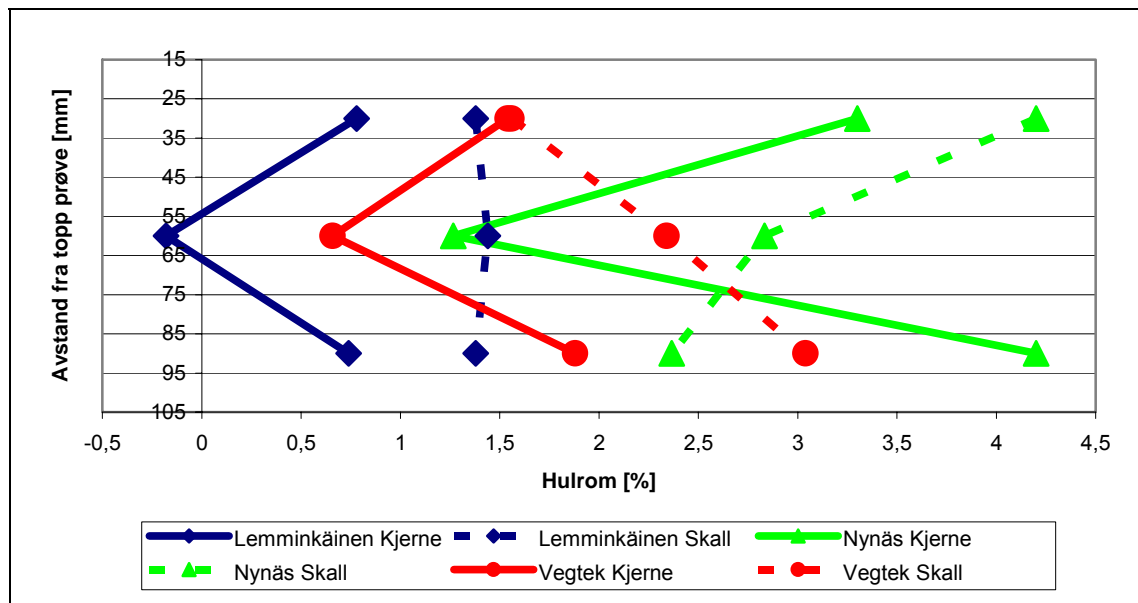
Tabell 6 Sammenligning av resultat fra Marshall-stamper og Gyratorisk kompaktor.

	Hydrostatisk densitet		Hulrom	Lastfordelingskoeffisient	
	Standardavvik mellom laboratoriene	Standardavvik innen laboratorium	Gjennomsnitt alle laboratorier	Gjennomsnitt alle laboratorier	Standard-avvik mellom laboratorier
Gyrator	0,017	0,012	2,6	3,46	0,10
Marshall	0,010	0,007	3,3	3,50	0,07

### 3.2.2.2 Hulromsfordeling i prøver ("ringanalyse 3")

Tidligere testing har gitt indikasjoner på at densiteten/hulrommet varierer gjennom en prøve kompaktet med gyratorisk kompaktor. Hvordan man preparerer en prøve for videre testing vil kunne påvirke resultatet av testingen. Det ble derfor igangsatt en undersøkelse av hulromsfordelingen i prøver for å se hvordan den varierer gjennom prøven. Tre laboratorier laget 10 prøver hver med diameter 150 mm og høyde ca 110 mm. Det ble boret ut en kjerne med diameter 100 mm fra alle prøvene slik at de ble bestående av en ring og en kjerne. Halvparten av samvørende ringer og kjerner ble sagt på tvers i tre like deler slik at man fikk en topp-, midt- og bundel av ring og kjerne. De midtre 60 mm av kjernen fra den resterende halvparten av prøvene ble kappet og testet mhp dynamisk E-modul og indirekte strekkstyrke.

Figur 4 viser hvordan hulrommet fordelte seg i prøvene. Vinkelen er igjen stilt til det som tilsvarer 1,0° etter produsentens beskrivelse. Lemminkäinen har tetteste prøver og Nynäs de åpneste som i ringanalyse 1. Kjernene er alle tetteste i midten og har ca 1 til 3 % høyere hulrom i topp og bunn, avhengig av hvilken kompaktor som er benyttet. "Skallet" viser større forskjeller. Prøvene fra Lemminkäinen ser ut til å ha samme hulrom i alle nivåer, mens Vegteknisk sine øker med ca 1,5 % nedover i prøven og Nynäs sine avtar med ca 2 % nedover i prøven.



Figur 4 Hulromsfordeling i prøver kompaktert i gyratorisk kompaktor.

Resultatene etter bestemmelsen av stivhetsmodul ved bruk av NAT-utstyr (British Standard DD213) er gjengitt i tabell 7 sammen med resultatene fra bestemmelse av indirekte strekkstyrke i henhold til Håndbok 014 [12]. Resultatene varierer ikke signifikant mellom laboratoriene. Resultatene korrelerer heller ikke med hulrommet til prøven.

Tabell 7 Resultater stivhetsmodul og indirekte strekk.

	Hulromsområde	Stivhetsmodul	Indirekte strekkstyrke
Veglab	0,1 – 1,1	1020	960
Nynäs	1,5 – 1,8	917	965
Lemminkäinen	0 – 1,1	870	934

### 3.2.2.3 Proporsjonering av Ska 16 (Ringanalyse 4)

Formålet med ringanalyse 4 var å se om tilsetning av ulike bindemiddelmengder i step på 0,5 % ga signifikante endringer i kompakteringskurvene. Ringanalyse 4 bestod av tre delprosjekt:

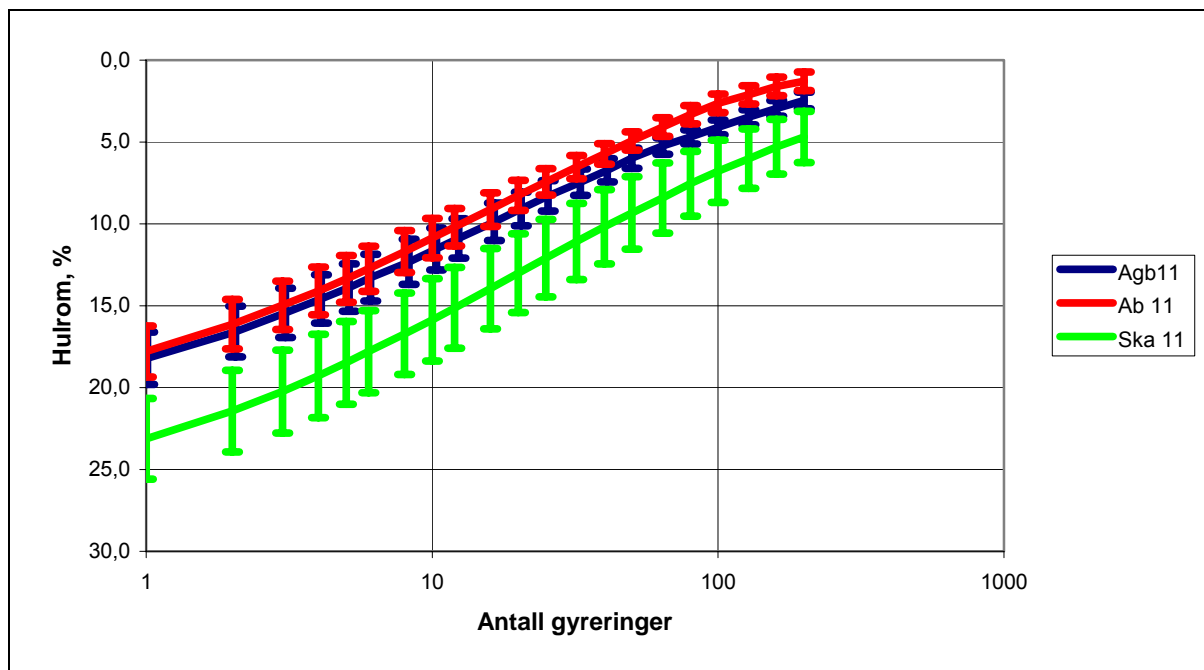
*Ringanalyse 4-1:* Det ble labblandet Ska 16 med 4 forskjellige bindemiddelinhold, men samme kornkurve. Det ble laget 4 masseprøver av hvert bindemiddelinhold til hvert deltakende laboratorium. Bindemiddel og finstoff klabbet på blanderen slik at man ikke hadde helt kontroll på bindemiddelinholdet i de enkelte blandingene. Snittet av resultatene fra laboratoriene pr bindemiddelinhold viste effekten av ulike bindemiddelinhold, mens resultatene pr laboratorium ikke var så klare.

*Ringanalyse 4-2:* Det ble her labblandet prøver til ett laboratorium med en annen labblender. Men det var fortsatt større variasjon mellom parallellene enn forventet, selv om det var bedre kontroll på mengde tilsatt bitumen pr enkeltprøve.

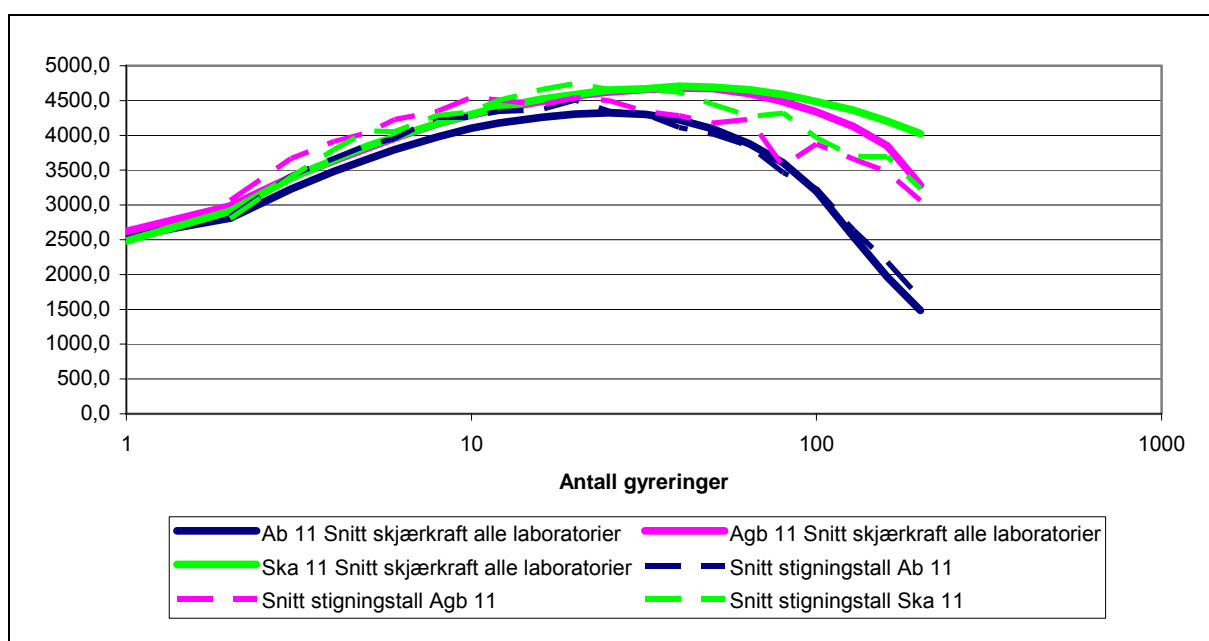
*Ringanalyse 4-3:* Vegteknisk veide inn steinmaterialet på hvert sikt for å være sikret identiske kornkurver for hver parallell og labblandet hver prøve med 6 % bindemiddel. Dette ga kompakteringskurver som var mye mer sammenfallende enn ved de tidligere forsøkene.

### 3.2.2.4 Kompakteringskurver for ulike massetyper (Ringanalyse 5)

Ønsket her var å etablere grunnlag for å benytte gyratorisk kompaktor til volumetrisk proporsjonering. Hver av entreprenørene som har gyratorisk kompaktor laget prøver av Agb 11, Ab 11 og Ska 11 med resepter som hadde vist seg å fungere bra på veien. De forskjellige kompakteringskurvene man på den måten fikk for hver massetype er med på å danne variasjonsområdet som kompakteringskurver for den massetypen bør ligge innenfor. Figur 5 viser de områdene som kompakteringskurvene havnet innenfor. Figur 6 viser typiske forløp på skjærkurvene. De stiplede linjene er stigningstallet til kompakteringskurven i hvert punkt skalert opp til samme nivå som skjærkraften. Som man ser har de like forløp.



Figur 5 Typiske kompakteringskurver Agb, Ab og Ska 11 med variasjonsområder.



Figur 6 Skjærkraft og stigningstall.



Skjærkreftene synes for alle massene å nå et maksimum, men etter forskjellig antall omdreininger. Ab11 synes å kunne falle til et nivå lavere enn utgangspunktet etter at toppen er passert, mens Ska faller minst.

Tabell 8 viser resultater fra to laboratorier etter bestemmelse av hydrostatisk overflatetørr densitet på prøvene etter 200 omdreininger sammen med hulromsresultatene fra alle tre laboratoriene basert på gyrotordensitet. I tillegg har ett laboratorium bestemt densiteten på Marshallstampede klosser av samme masse.

Tabell 8 *Hulrom ved 10, 80 og 200 omdreininger bestemt fra gyrotordensitet og hydrostatisk bestemt densitet.*

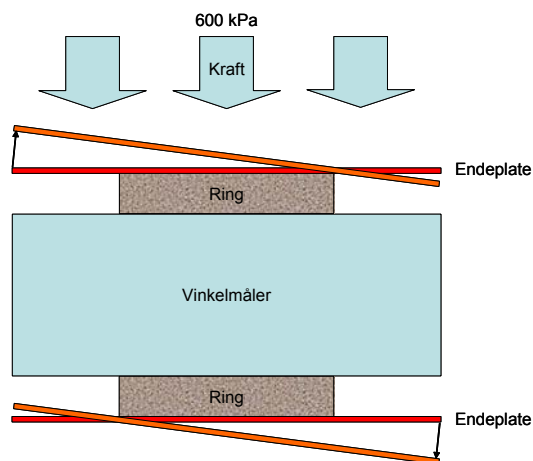
Massetype/ entreprenør	Gyrotorhulrom			Hydrostatisk hulrom			Bitumenfylt hulrom				
	10	80	200	80 <sup>1)</sup>	200	Marshall	80 Gyr	80 hyd <sup>1)</sup>	200 Gyr	200 Hyd	Marshall
Agb 11/LMK	10,3	4,2	1,9								
Agb 11/NCC	12,6	4,6	1,8	4,4	1,5	2,9	74,5	75,7	88,6	90,3	82,2
Agb 11/KVD	11,1	5,1	3,0	5,0	2,9		72,3	72,5	81,9	82,3	
<b>Snitt Agb 11</b>	<b>11,3</b>	<b>4,6</b>	<b>2,2</b>	<b>4,7</b>	<b>2,2</b>	<b>2,9</b>	<b>73,4</b>	<b>74,1</b>	<b>85,3</b>	<b>86,3</b>	<b>82,2</b>
Ab 11/LMK	10,6	3,1	1,8								
Ab 11/NCC	12,5	3,7	0,9	2,6	0,4	2,6	78,6	84,3	93,9	97,3	84,0
Ab 11/KVD	9,3	3,3	1,6	3,1	1,4		80,4	81,6	89,6	91,1	
<b>Snitt Ab 11</b>	<b>10,8</b>	<b>3,4</b>	<b>1,4</b>	<b>2,8</b>	<b>0,9</b>	<b>2,6</b>	<b>79,5</b>	<b>83,0</b>	<b>91,7</b>	<b>94,2</b>	<b>84,0</b>
Ska 11/LMK	13,3	5,6	3,1								
Ska 11/NCC	18,8	10,0	6,9	7,4	4	6,6	57,0	65,0	66,6	78,0	67,2
Ska 11/KVD	15,5	8,2	5,5	6,5	3,8		62,4	68,0	71,8	79,1	
<b>Snitt Ska 11</b>	<b>15,9</b>	<b>7,9</b>	<b>5,2</b>	<b>6,9</b>	<b>3,9</b>	<b>6,6</b>	<b>59,7</b>	<b>66,5</b>	<b>69,2</b>	<b>78,5</b>	<b>67,2</b>

<sup>1)</sup> Hydrostatisk hulrom og bitumenfylt hulrom er beregnet ved å justere gyrotorhulrommet med forholdet mellom hulrommet bestemt med gyrotordensitet og hydrostatisk bestemt densitet etter 200 omdreininger

Resultatene indikerer at Marshallverdiene og verdiene for de beregnede verdiene for "hydrostatisk hulrom" etter 80 omdreininger er i samme størrelsesorden.

### Vinkelmålinger

I forbindelse med ringanalyse 5 ble det også benyttet et utstyr for å måle vinkelen innvendig i formen mellom sideveggen og en linje vinkelrett på henholdsvis topp- eller bunnplaten. Ved enkle endringer kan utstyret yte forskjellig motstand mot å påføres vinkelendringen under kompakteringen slik at man kan simulere masser med henholdsvis liten og stor indre friksjon. Endringen i motstand gjøres ved at det plasseres ringer med "liten" eller "stor" diameter over og under vinkelmåleren, se figur 7. Jo større ringene er, jo større kraft må til for å vippe opp endeplatene når den gyrotoriske kompaktoren skal påføre vinkelen på "prøven" (vinkelmåleren).



Figur 7 Måling av vinkel i gyrator.

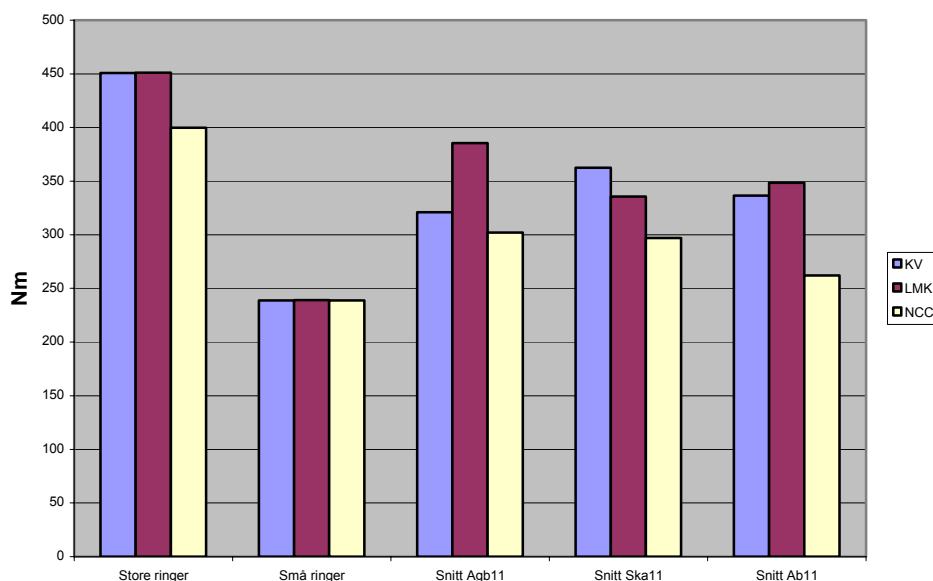
Tabell 9 viser resultatene fra vinkelmålingene. Kompaktorene var i utgangspunktet forsøkt stilt til 1,0° vha ytre målinger i henhold til beskrivelse fra leverandør.

Tabell 9 Resultater vinkelmålinger.

		Små ringer			Store ringer		
		Parallell A	Parallell B	Snitt	Parallell A	Parallell B	Snitt
NCC	Topp	0,943°	0,926°	0,935°	0,591°	0,637°	0,614°
	Bunn	0,778°	0,773°	0,776°	0,181°	0,209°	0,195°
LMK	Topp	0,930°	0,920°	0,925°	0,797°	0,802°	0,800°
	Bunn	0,919°	0,920°	0,920°	0,532°	0,371°	0,452°
KVD	Topp	0,846°	0,865°	0,855°	0,681°	0,669°	0,675°
	Bunn	0,354°	0,375°	0,365°	0,203°	0,213°	0,208°
Veglab	Topp	0,921°	0,936°	0,929°	0,738°	0,750°	0,744°
	Bunn	0,693°	0,616°	0,655°	0,257°	0,240°	0,249°

Som det framgår av tabell 9 har Lemminkäinen minst forskjell mellom bunn og topp. Dette kommer av at de har en kompaktor med en stivere konstruksjon som holder endeplatene mer parallelle.

Kompaktorene registrerte høyde og skjærkraftsdata som vanlig under vinkelmålingene. Ved å ta utgangspunkt i det skjærkraftsnivået som henholdsvis lett og tung motstand under vinkelmålingen tilsvarer, kan man finne en korreksjonsfaktor for skjærkraften kompaktorene målte. Denne korreksjonsfaktoren kan siden benyttes til å korrigere målinger fra ulike kompaktorer slik at de blir mer sammenlignbare. Justerte verdier for skjærkraft målt ved vinkelmålingen er i figur 8 plottet med tilsvarende justerte verdier for snittet av de fire høyeste skjærkraftverdiene målt for hver masse i forbindelse med utprøvingen av gyratorisk kompaktor til volumetrisk proporsjonering på resepter av Agb 11, Ska 11 og Ab11.



Figur 8 *Skjærkrefter målt under vinkeltesting og kompaktering av varme masser justert til likt nivå.*

Målingene på NCCs kompaktorer er gjort med litt mindre diameter på de store ringene, noe som tilsvarer et moment på 400 Nm. Som det framgår av figur 8 ligger resultatene på massene mellom verdiene med henholdsvis store og små ringer for hver entreprenør.

### 3.2.3 Konklusjoner

Konklusjonene bygger på et tildels spinkelt grunnlagsmateriale og bør behandles med varsomhet.

1. Resultatene fra ringanalyse 1, 2 og 4 viser at kompakteringskurvene for samme masse kompaktert med forskjellige gyatoriske kompaktorer har en spredning mellom laboratoriene som gjør at det er vanskelig å sette krav om å velge et bindemiddelinnhold som gir et bestemt hulrom etter et bestemt antall omdreininger. Også paralleller innen et laboratorium varierer så mye at man kan ha problemer med å skille effekten av variasjon i bindemiddelinnholdet. Marshallstampede prøver viser mindre variasjon.
2. Kalibrering av vinkelen ved å stille den slik at man oppnår en bestemt densitet etter 80 omdreininger for en referansemasse, kan gi litt mindre variasjon mellom laboratoriene, men fortsatt er variasjonen mellom paralleller like stor. En årsak til variasjon mellom paralleller kan være at metoden er følsom for selv små separasjoner. Et enkeltforsøk hvor steinmaterialet ble veid inn på hvert sikt ga klart mindre variasjon.
3. Utstyret for å måle vinkelen innvendig i formen kan være en alternativ måte for å kalibrere målerne slik at alle benytter samme vinkel ved et gitt lastnivå. Det vil eventuelt være enklere enn å operere med standardmasser som skal få en gitt densitet.
4. Utstyret for vinkelkalibrering kan benyttes til å finne skaleringsverdier slik at skjærkrefter målt med ulike gyatoriske kompaktorer kan sammenliknes lettere.
5. Ringanalyse 5 ga grunnlag for å antyde intervaller som kompakteringskurvene for henholdsvis Agb11, Ab11 og Ska11 normalt bør ligge innenfor. Undersøkelsene har ikke gitt grunnlag for å antyde metoder for å finne ett optimalt bindemiddelinnhold på grunnlag av tolking av kompakteringskurver.
6. Dersom en beregner verdier for hydrostatisk densitet ved 80 omdreininger kan disse benyttes til å beregne verdier for hulrom og bitumenfylt hulrom som kan vurderes ut i fra Marshallkravene til de samme massene. Både gyator- og Marshallprøver viste dårlig

overensstemmelse for Ska11. Det bør undersøkes om dagens Marshallkrav til Ska er fornuftige.

7. Forløpet til skjærkraftkurvene kan synes typisk for den enkelte massetypen.
8. Endring i stigningstall for kompakteringskurvene viser samme forløp som skjærkraftkurvene, bare litt forskjøvet mot venstre (lavere antall omdreininger).
9. Prøvene er etter 200 omdreininger klart mer komprimert enn tilsvarende Marshallprøver og ikke egnet for videre testing. Skal man produsere prøver med 15 cm diameter og 6 cm tykkelse til testing med Syklisk kryp bør man produsere prøver med 10 cm høyde og sage av to cm av topp og bunn. Den prøven man da får bør ha en densitet som ligger innenfor det som vil være normalt på vegen. Metodebeskrivelse for prøvetillaging med gyratorisk kompaktor blir beskrevet i ny utgave av Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser [12].
10. Ved å benytte malen for massespesifikasjonene som det legges opp til i de nye CEN-spesifikasjonene og tilpasse dem til resultatene fra undersøkelsene i PROKAS og dagens krav i Håndbok 018 [6] kan man lage spesifikasjoner basert på gyratorisk kompaktor:
  - Det blir da et minimumskrav til hulrom etter 10 omdreininger for Agb og Ab, eventuelt et veiledende for Ska.
  - Videre kan det settes krav til område som hulrom og bitumenfylt hulrom skal ligge innenfor ved 80 omdreininger som tilsvarer omtrent dagens krav etter 2\*75 slag med Marshall. Kravene blir da like for Agb uansett ÅDT, mens kravene for Ab og Ska differensieres på om de skal benyttes for ÅDT over eller under henholdsvis 5000 og 15000. Hulrommet bestemmes enten hydrostatisk på klosser etter 80 omdreininger eller tilbakeregnes på grunnlag av forholdet mellom gyratordensiteten og den hydrostatiske densiteten etter 200 omdreininger. Dersom man setter krav til hulrom og bitumenfylt hulrom etter 80 omdreininger vil eventuelle krav etter 200 omdreininger bare være veiledende.

### 3.3 Deformasjon og stivhet

(Prosjektrapport nr 7, 9, 10, 11, ref. [13, 14, 15, 16])

#### 3.3.1 Bakgrunn

Arbeidsgruppen for deformasjon og stivhet har hatt som hovedmålsetting å finne nye metoder til å bestemme elastisk stivhet (E-modul/lastfordelende evne) og motstand mot permanente deformasjoner (plastisk deformasjon som medfører spordannelse).

De gjennomførte aktiviteter i arbeidsgruppen kan deles inn som følger:

- I. Deformasjon og stivhet, sammenligning av metoder [13].
- II. Sammenligning av utstyr for bestemmelse av deformasjonsmotstand (syklisk kryp) og elastisk stivhet (E-modul) [14].
- III. Undersøkelse av variasjoner i materialeegenskaper for asfaltdekker i felt ved bruk av Nottingham Asphalt Tester (NAT) [15].
- IV. Bindemiddelets betydning for deformasjons- og stivhetsegenskaper. Laboratorieundersøkelser av Ab 11-masse på NAT [16].

I aktivitetene II – IV ble følgende NAT-metoder og standarder benyttet:

- Elastisk stivhet: NAT-metode *Indirect Tensile Stiffness Modulus, ITSM*. Testen ble utført etter følgende forslag til standard: Pr EN 12697, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 26: "Stiffness", Annex C "Indirect tension test on cylindrical specimens".
- Syklisk kryp: NAT-metode *Indentation Test, INDENT*. Testen ble utført etter følgende forslag til standard: Pr EN 12697 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 25: "Cyclic compression test", Test method A – Uniaxial cyclic compression test with confinement".

#### 3.3.2 Resultater

##### 3.3.2.1 Deformasjon og stivhet, sammenligning av metoder.

Asfalt er et svært ømfintlig materiale som endrer egenskaper avhengig av behandling, oppvarming, variasjon i sammensetning, kompaktering, testbetingelser etc. Verdier, både for E-modul og deformasjonsegenskaper, vil variere avhengig av hvilket utstyr som benyttes i materialundersøkelsen. I tabell 10 er det gitt et eksempel på bestemmelse av E-modul med forskjellige typer utstyr for to massetyper.

I PROKAS ble det kjørt en forholdsvis omfattende undersøkelse på hvordan ulike metoder for prøvetillaging og testing slår ut på de målte styrkeparametrene, og også hvordan forskjeller mellom lab-prøver og feltprøver framkommer. For flere detaljer, se prosjektrapport nr. 7 [13].

Tabell 10 E-moduler (MPa) med forskjellig utstyr for prøvetillaging og testing.

Testmetode	Temp.	Prøver	Ab 11			Ska 16		
			Felt	Lab	Verk	Felt	Lab	Verk
NAT	10	Gyrator		4298	6495		8921	7903
NAT	10	Kneading Comp		2753	4042		5728	7324
NAT	10	Plate Comp		2000	3684		5184	6569
Spaltestrekk	25	Felt	2158			3231		
Spaltestrekk	25	Marshall		2460	3692		3890	4824
Spaltestrekk	25	Gyrator		4384	5553		5665	5166
Spaltestrekk	25	Kneading Comp		2769	4251		3217	4478
Spaltestrekk	25	Plate Comp		2134	3443		3332	5031
Spaltestrekk	25	Vibroplate		2264	3296		3608	4002
Trecks SINTEF	25	Kneading Comp			3276			4472
Trecks SINTEF	25	Gyrator og boring			6246			4650

### 3.3.2.2 Sammenligning av utstyr for bestemmelse av deformasjonsmotstand (syklisk krep) og elastisk stivhet (E-modul).

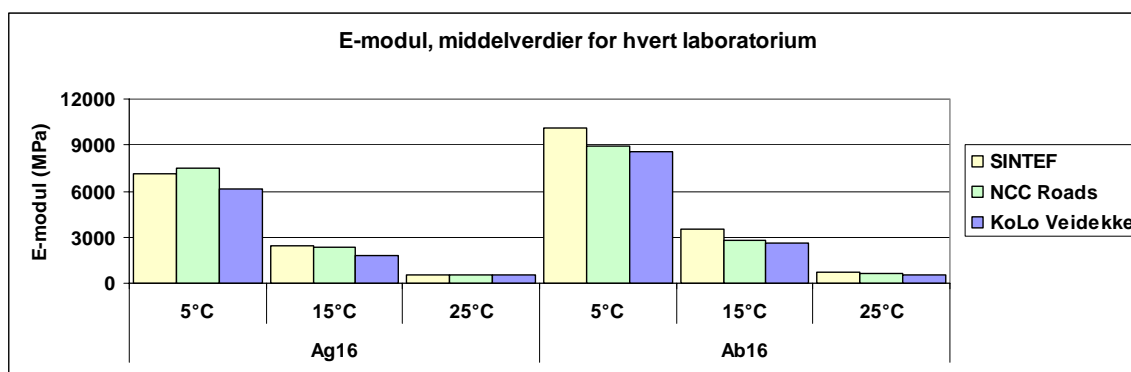
Det er gjennomført en undersøkelse for å sammenligne data fra ulike laboratorier ved bestemmelse av deformasjonsmotstand (syklisk krep) og elastisk stivhet (E-modul) på to ulike asfaltmasser, Ag 16 og Ab 16, ved bruk av NAT (Nottingham Asphalt Tester). De som har deltatt i analysen er vist i tabell 11.

Tabell 11 Deltagende laboratorier.

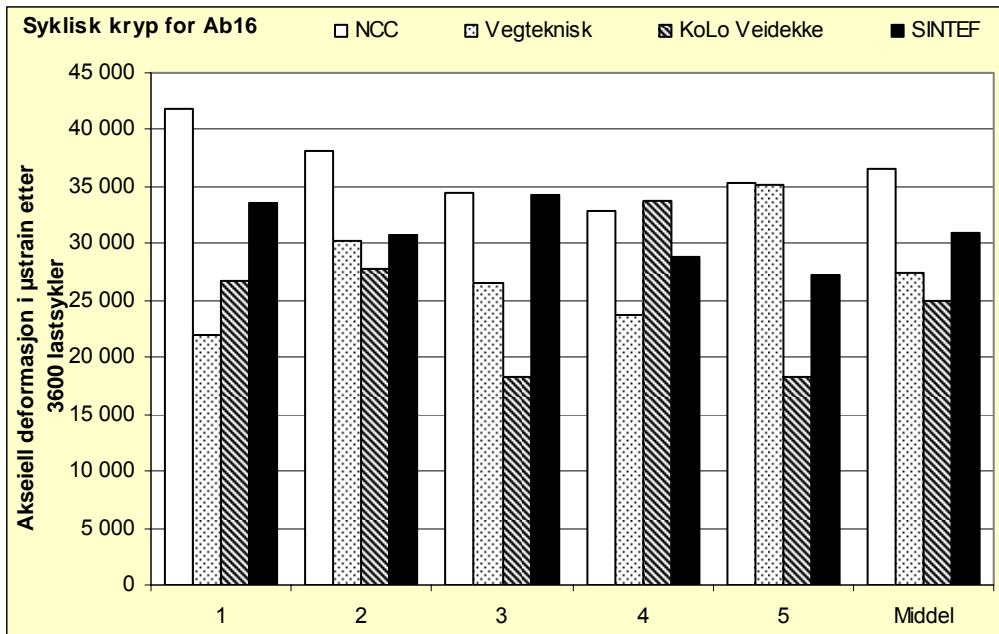
Laboratorium	Testutstyr	Kondisjoneringstemperatur
KoLo Veidekke	NAT Cooper 5 kN – 1992	-20°C til + 60°C
NCC Roads	NAT Cooper NU 10 – 2002	-20°C til + 60°C
Vegdirektoratet/Vegteknisk avd.	Trecks MTS 810 – 1992	0°C til + 100°C
SINTEF	NAT Cooper NU 10 – 2000	-20°C til + 150°C

Omfanget og innholdet i undersøkelsene ble endret en del underveis, da det viste seg nødvendig å foreta kalibrering av de testtrigge som inngikk.

Fra felt ble det tatt ut borprøver av både 150 mm prøver til testing av deformasjonsegenskapene og 100 mm prøver til testing av elastisk stivhet (E-modul). Ved testing av syklisk krep ble to prøver med tykkelse 3 cm lagt oppå hverandre. E-modulprøvene ble sendt mellom laboratoriene for testing. Resultatene etter bestemmelse av E-modul er vist i figur 9 mens resultatene etter bestemmelse av deformasjonsegenskapene for Ab 16-massen er vist i figur 10.



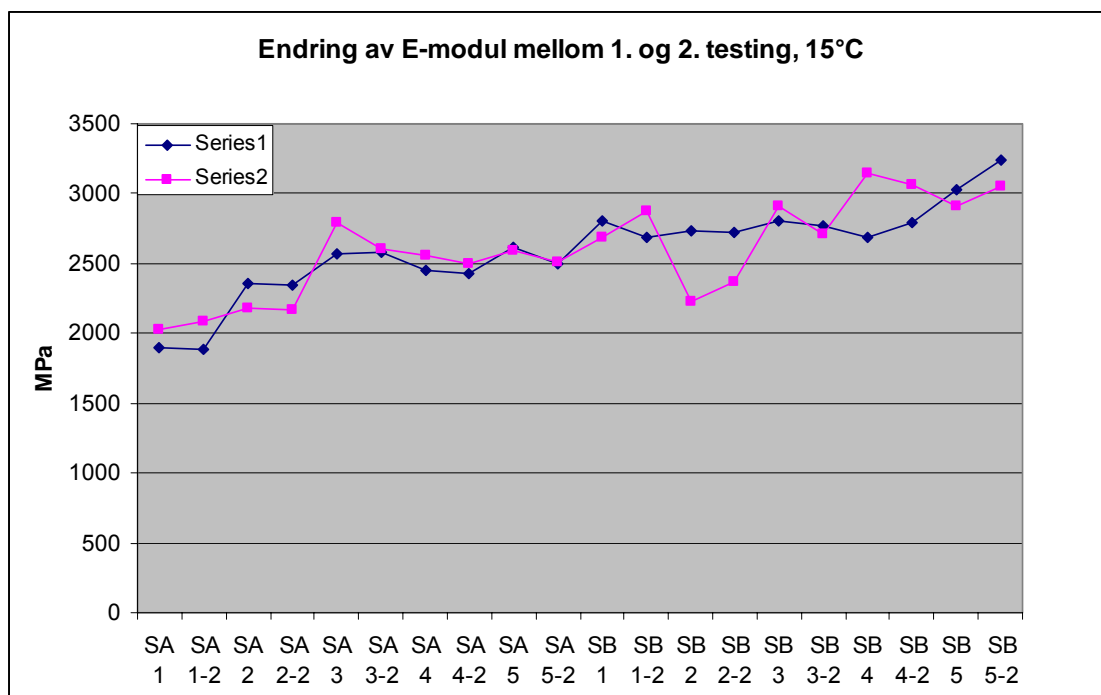
Figur 9 Middelverdier fra ulike laboratorier etter testing av elastisk stivhet (E-modul).



Figur 10 Aksial deformasjon etter 3600 lastsykler for Ab 16 (middelverdier av 5 prøver ved hvert laboratorium).

Som det framgår av figurene 9 og 10 er det variasjoner i resultatene mellom de ulike laboratoriene. KoLo Veidekke sine resultater i figur 10 er usikre da det ved kalibrering ble avdekket feil på utstyret.

For å se om prøvenes E-modul endret seg gjennom denne undersøkelsen, ble prøvene avslutningsvis testet på nytt ved laboratoriet som testet 1. gang (NCC Roads). Resultatene fra testingene hos NCC Roads er gitt i figur 11 ved 15 °C. (Nummereringen av prøvene er etter følgende mønster; SA 1 er testing av prøve SA 1 langs første akse, SA 1-2 er testing av prøve SA 1 langs andre akse, osv.)



Figur 11 Sammenstilling av resultater ved 15 °C hos NCC Roads før (serie 1) og etter (serie 2) at alle laboratorier hadde gjennomført testing av elastisk stivhet.

Som det framgår av figur 11, så er det litt større variasjoner i resultatene etter andre gangs kjøring. Men det er ingen klare indikasjoner på at prøvene generelt har endret egenskaper.

### 3.3.2.3 Undersøkelse av variasjoner i materialegenskaper for asfaltdekker i felt ved bruk av Nottingham Asphalt Tester (NAT).

Undersøkelsen tok utgangspunkt i ulike asfaltdekker utlagt sesongen 2003. Det ble tatt ut prøver til både testing av elastisk stivhet og syklisk kryp, dvs. at det ble tatt ut prøver med diameter på både 10 og 15 cm. Det var en målsetting at dekketykkelsen skulle være **minimum 3,5 cm** og helst minst 4,0 cm, da prøvene skulle kappes i begge endeflater før testing.

En oversikt over planlagt omfang av undersøkelsen er gitt i tabell 12.

Tabell 12 Oversikt over planlagt omfang av undersøkelsen.

Prøve nr. <sup>*)</sup>	Dekketype	Entreprenør	Sted
1 – 20, A, B, C	Ab 11	KoLo Veidekke	Værnes flyplass
21 – 25 A, B, C	Ab 16	Oslo Vei	E6 Klemetsrud
26 – 30 A, B, C	Ska 11	Oslo Vei	Fagerheimsgata
31 – 35 A, B, C	Ska 16	Nordasfalt	Narviktunnelen
36 – 40 A, B, C	Ab 11 L <sup>***)</sup>	Lemminkäinen	Tønsberg
41 – 45 A, B, C	Agb 11	Lemminkäinen	Fv 353
46 – 50 A, B, C	Ma 11	MESTA	Fornes
<sup>**)</sup> 51 – 55 A, B, C	Ma 16	MESTA	Anfinnslett
56 – 60 A, B, C	Agb 11 m/Gja	MESTA	Støren
61 – 65 A, B, C	Ab 11 m /Gja	MESTA	Støren
66 – 70 A, B, C	Ab 16	MESTA	Støren

<sup>\*)</sup> Prøver merket A ble benyttet ved testing av elastisk stivhet, mens prøver merket B og C ble benyttet ved testing av syklisk kryp.

<sup>\*\*)</sup> Prøver fra Anfinnslett utgikk fra undersøkelsen.

<sup>\*\*\*)</sup> L angir at det er benyttet 20 % Edelsplitt som er en lys steinsort og dermed gir en noe lysere asfaltmasse.

Omfanget av undersøkelsen ble endret noe i forhold til opprinnelige planer. Dette skyldes i hovedsak at enkelte av prøvene ikke lot seg preparere slik at de kunne testes. Et eksempel på dette er vist i figur 12.





Figur 12 Eksempel på tynn og deformert prøve (uegnet for videre testing).

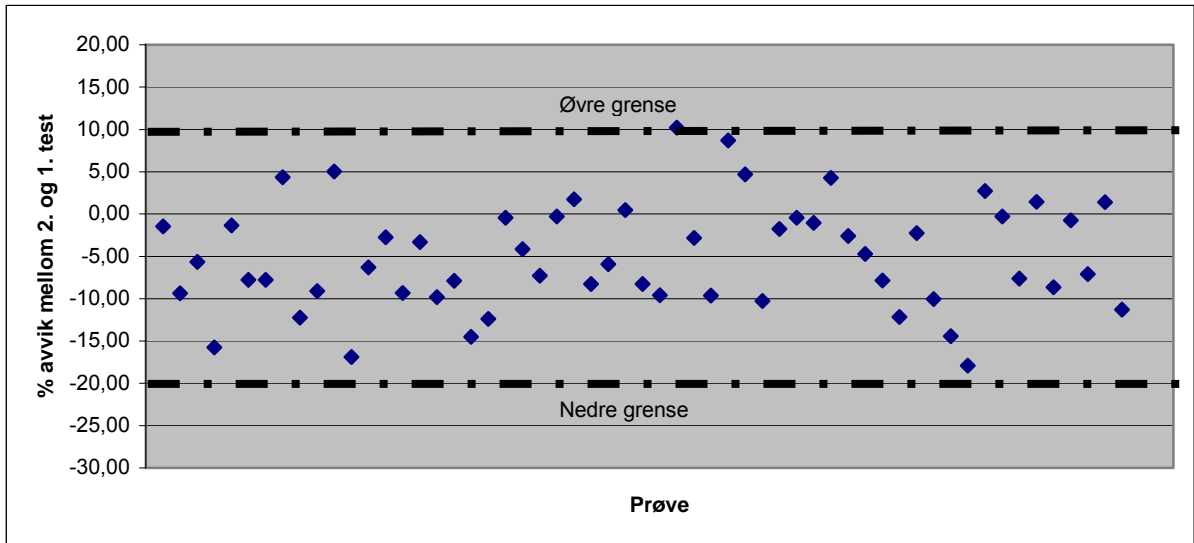
De prøver som lot seg preparere for bestemmelse av E-modul er gitt i tabell 13.

Tabell 13 Data for feltprøver analysert mhp elastisk stivhet (E-modul).

Prøve nr.	Dekketype	Bindemiddeltipe	Bindemiddelmengde (tilsiktet i %)
1A – 20A	Ab 11	160/220 (B180)	5,5
21A – 25A	Ab 16	70/100 (B85)	5,1
26A – 30A	Ska 11	70/100 (B85)	5,8
31A – 35A	Ska 16	70/100 (B85)	5,9
36A – 40A	Ab 11 L	70/100 (B85)	5,5
41A – 45A	Agb 11	160/220 (B180)	5,7
56A – 60A <sup>*)</sup>	Agb 11 m/Gja	160/220 (B180)	5,8
61A – 65A	Ab 11 m /Gja	70/100 (B85)	5,7
66A – 70A	Ab 16	70/100 (B85)	5,7

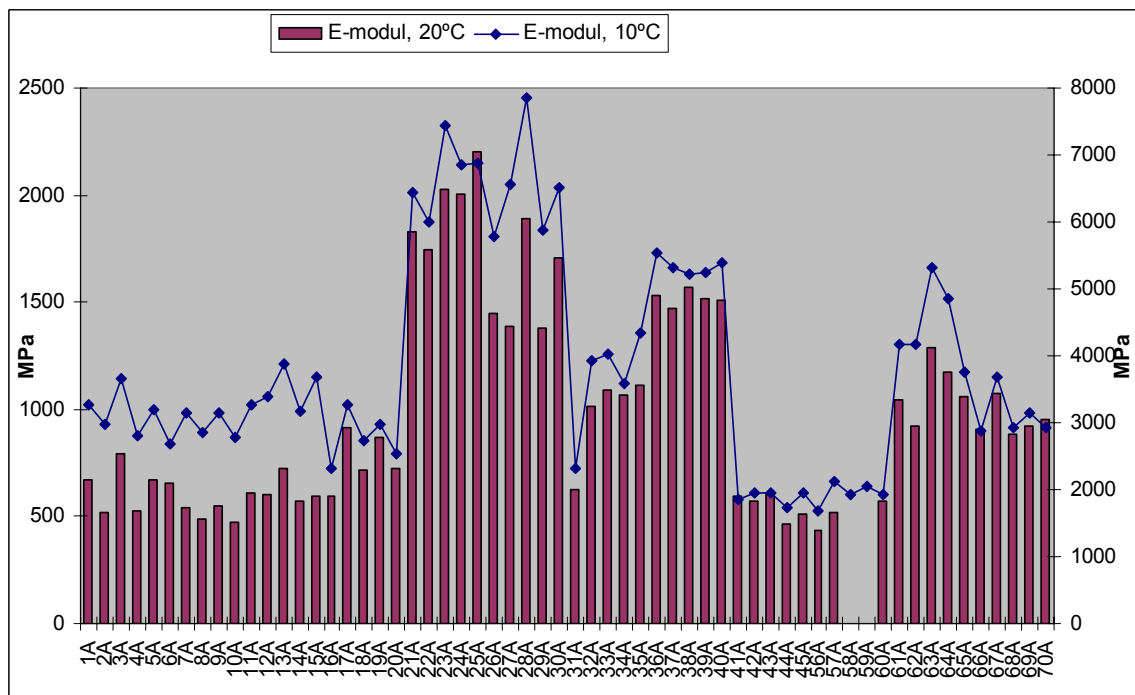
<sup>\*)</sup> Prøve 58 og 59 var for smale for testing ved 20 °C. Utstyret ble senere modifisert slik at de kunne testes ved 10 °C.

Ved testing av elastisk stivhet skal det foretas to testinger på hvert prøvestykke. Etter at prøven er testet én gang skal prøven roteres 90° og testes på nytt. Verdien etter 2. test skal være mellom +10 % og -20 % av verdien fra 1. test. I figur 13 ser vi at samtlige prøver ligger innenfor disse grenser ved testing ved 10 °C. Vi ser også at 2. testing i de fleste tilfeller gir en noe lavere E-modul enn ved 1. testing (differansen er < 0).



Figur 13 Differanse mellom 2. og 1. testing av E-modul ved 10 °C.

Resultater fra testing av E-modul er vist i figur 14.



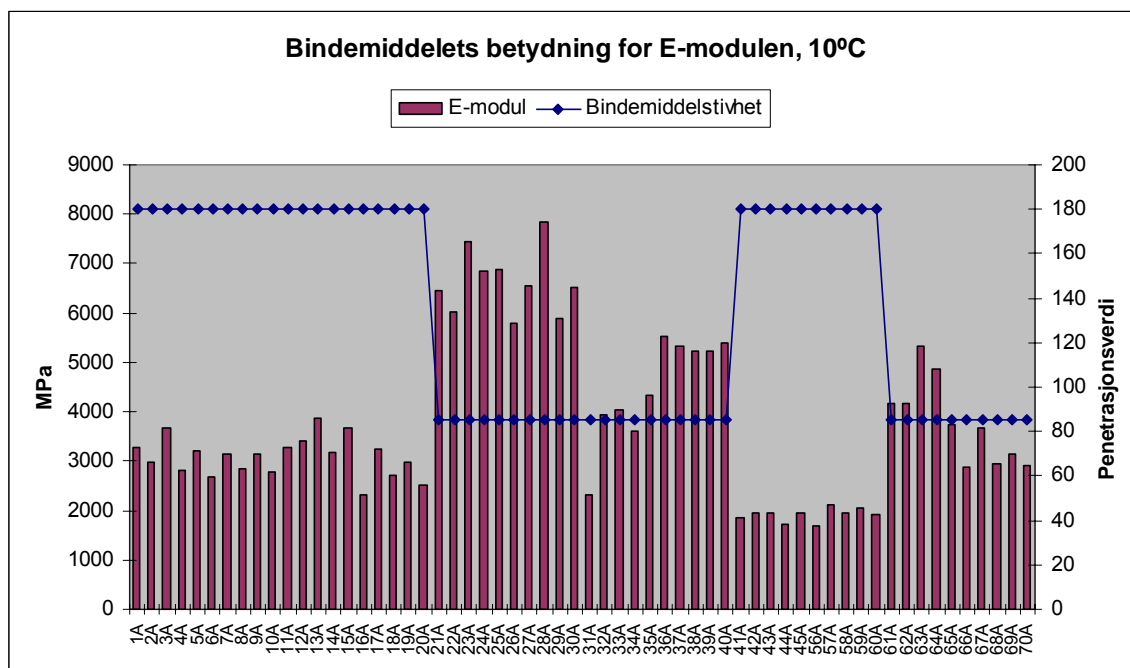
Figur 14 E-modul for hver enkelt prøve ved 10 °C og 20 °C.

Statistiske vurderinger fra analysen av de ulike masser er vist i tabell 14.

Tabell 14 Statistiske verdier etter bestemmelse av elastisk stivhet ved 10 °C.

Prøve nr.	1-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	56-60	61-65	66-70
Massetype	Ab 11	Ab 16	Ska 11	Ska16	Ab11L	Agb 11	Agb 11 m/gja	Ab 11 m/gja	Ab16
Middelverdi	3090	6726	6516	3639	5340	1881	1941	4454	3109
St.avvik	397	537	825	790	130	96	167	627	329

Det ble foretatt en vurdering av hvilke faktorer som kunne ha betydning for E-modulen. Av de faktorer som viste en klar sammenheng med E-modulen var bindemiddelstivheten. Dette går fram av figur 15. Stivere bindemiddel gir høyere E-modul.



Figur 15 Bindemiddelstivhetens betydning for E-modulen.

Andre faktorer som er vurdert å kunne ha betydning for den målte E-modulen er **prøvens høyde** og **hulrom**. Følgende kom fram i undersøkelsen:

- Det er vanskelig å påvise noen sammenheng mellom prøvens høyde og E-modulen. Prøveserier som har jevntykkere prøver synes imidlertid å gi jevnere resultater. Ellers er alle prøvene i denne undersøkelsen relativt tynne og det er relativt små forskjeller i tykkelse mellom prøvene.
- Det er heller ingen entydig sammenheng mellom hulrommet i prøven og E-modulen. Det er imidlertid en tendens til at høyt hulrom gir en lavere E-modul.

De prøver som lot seg preparere for testing av syklisk krep er vist i tabell 15.

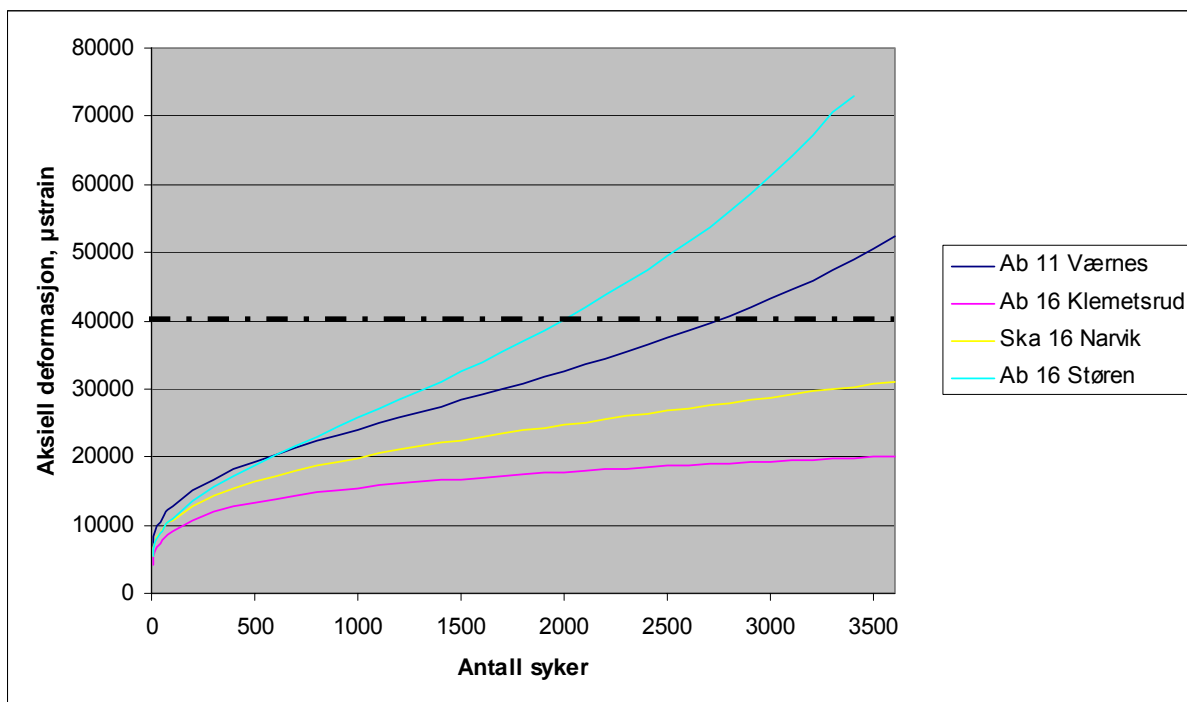
Tabell 15 Data for massetyper analysert mhp syklisk krep (deformasjonegenskaper).

Prøve nr.	Dekketype	Bindemiddelttype	Bindemiddelmengde (tilsiktet i %)
1A – 20A <sup>*)</sup>	Ab 11	160/220 (B180)	5,5
21A – 25A	Ab 16	70/100 (B85)	5,1
31A – 35A	Ska 16	70/100 (B85)	5,9
66A – 69A <sup>**)</sup>	Ab 16	70/100 (B85)	5,7

<sup>\*)</sup> Prøve 12 inngår ikke i resultatene, da det oppsto feil under testing.

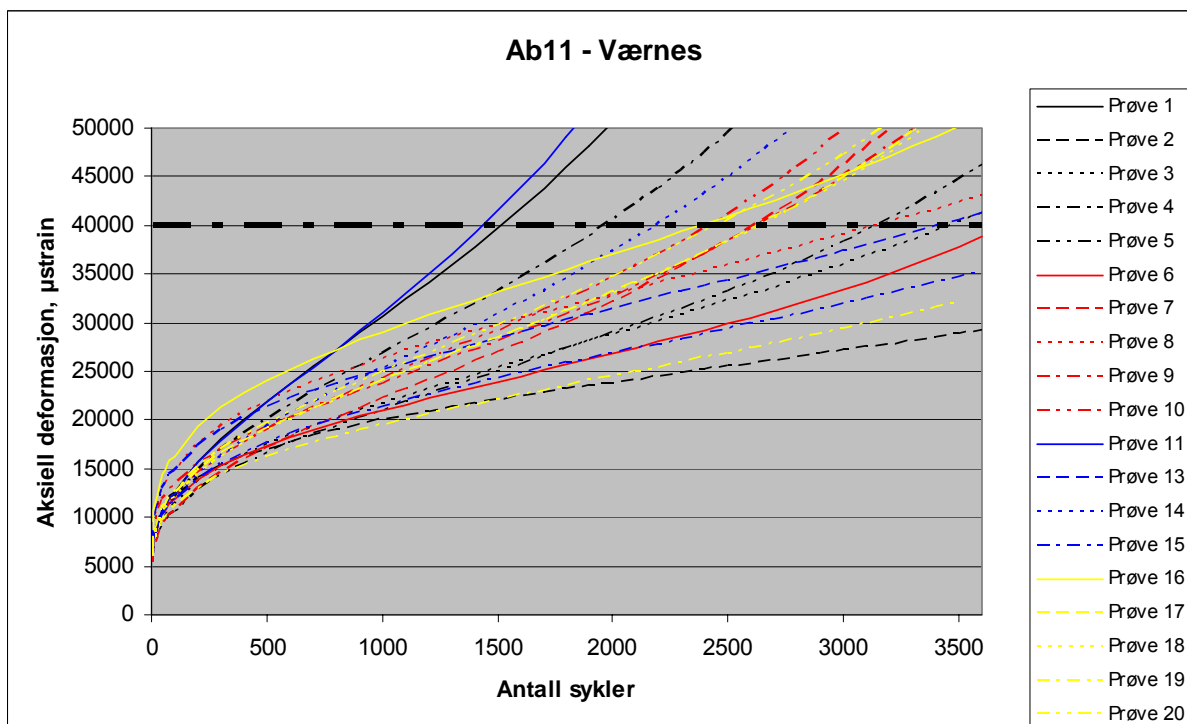
<sup>\*\*)</sup> Prøve nummer 70 var for tynn for testing.

I figur 16 er midlere deformasjonsegenskaper for de ulike massetyper framstilt.



Figur 16 Testing av syklisk kryp – sammenstilling av middelveier for feltprøver.

Det man spesielt merker seg er den store forskjellen i midlere aksial deformasjon mellom de to Ab 16-massene, selv om det er brukt samme bindemiddelklasse (70/100). Massene har imidlertid relativt store forskjeller i bindemiddelinhold (5,1 % i massen fra Klemetsrud mot 5,7 % i massen fra Støren). Det var også store forskjeller mellom parallellprøver fra samme dekketyper som vist i figur 17.



Figur 17 Testing av syklisk kryp – Ab 11 Værnes.

### 3.3.2.4 Bindemiddelets betydning for deformasjons- og stivhetsegenskaper. Laboratorieundersøkelser av Ab 11-masse på NAT.

Undersøkelsen hadde som målsetting å vurdere bindemiddelets betydning for deformasjons- og stivhetsegenskapene. I denne undersøkelsen ble prøvene produsert ved gyratorisk komprimering og det ble gjennomført dynamisk kryptest og syklisk stivhetstest på NAT. Undersøkelsen ble foretatt på en Ab 11-masse. Under produksjon av denne massen i laboratoriet ble det benyttet samme steinmateriale som fra legging av massen på Værnes flyplass i 2003. Følgende bindemiddelklasser inngikk i undersøkelsen:

- B 35/50
- B 50/70
- B 70/100
- B 160/220
- B 330/430
- V12000

Resultatene fra undersøkelsen viser at bruk av gyratorisk kompaktering gir mulighet for tillaging av prøver med tilnærmet lik densitet. Densiteten bestemt i gyratoren og etter metode 14.5623 i håndbok 014 [12] vil avvike avhengig blant annet av prøvestørrelse, massetype og steinstørrelse. For den aktuelle Ab11-massen var midlere hulrom som angitt i tabell 16.

*Tabell 16 Midlere verdi for hulrom beregnet i gyrator og etter bestemmelse av densitet etter metode 14.5623 i håndbok 014.*

Prøvekloss	Hulrom i gyrator, %	Målt hulrom i hel prøve, %	Målt hulrom i preparert prøve (6 cm), %
E-modul (d=10 cm, h= 6cm)	3,5	1,65	
Deformasjon (d=15 cm, h=10 og 6 cm)	4,0	2,5	1,8

Resultatene fra testing av elastisk stivhet er vist i tabell 17 og 18.

*Tabell 17 Testing av elastisk stivhet ved 10 °C, statistiske parametere.*

Prøve nr.	B11-B15	B21-B25	B31-B35	B41-B45	B51-B55	B61-B65
Bindemiddel	35/50	50/70	70/100	160/220	330/430	V12000
Middelverdi	13655	9221	6150	3463	1633	734
St. avvik	526	1010	297	259	96	38

*Tabell 18 Testing av elastisk stivhet ved 20 °C, statistiske parametere.*

Prøve nr.	B11-B15	B21-B25	B31-B35	B41-B45	B51-B55	B61-B65
Bindemiddel	35/50	50/70	70/100	160/220	330/430	V12000
Middelverdi	6720	3625	2437	1100	561	293
St. avvik	400	264	162	56	52	22

Tabell 17 og 18 viser at det er relativt små variasjoner mellom enkeltprøver i samme prøveserie.

Resultatene etter testing av laboratorieprøver er sammenlignet med feltprøver i tabell 19.

Tabell 19 E-modul for prøver fra felt og prøver produsert i laboratoriet, Ab 11 med bindemiddelklasse 160/220 (middelverdier).

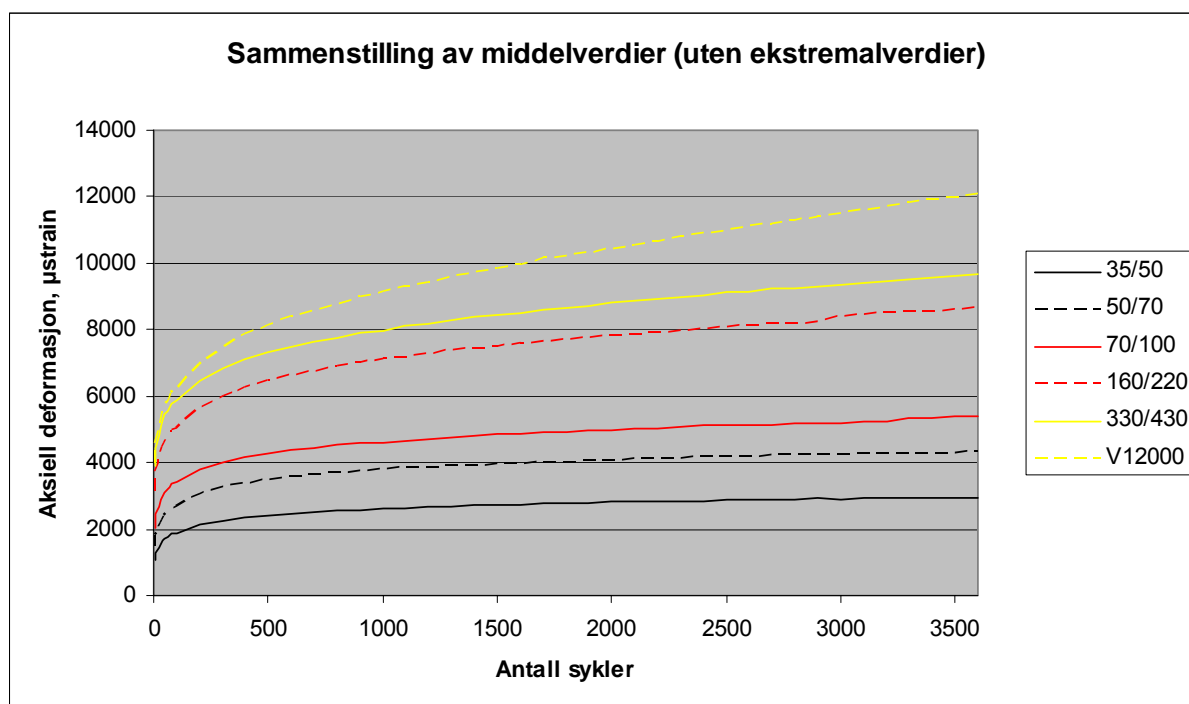
Prøver	E-modul ved 10 °C, MPa	E-modul ved 20 °C, MPa
Feltprøver	3090	641
Lab-prøver	3463	1100

Testing av deformasjonsegenskapene er utført ved 40 °C. En sammenstilling av resultatene er vist i tabell 20. Her framgår også hvordan resultatene blir dersom avvikende enkeltprøver er utelatt. I figur 18 er vist deformasjonsforløpet for prøveseriene når avvikende enkeltprøver er utelatt.

Tabell 20 Testing av deformasjonsegenskaper ved 40 °C, statistiske parametere. Middelerdien angir aksial tøyning i  $\mu\text{strain}$  etter 3600 lastsykler.

Prøveserie <sup>*)</sup>	A1		A2	A3		A4		A5	A6	
	Alle	Uten A11	Alle	Alle	Uten A35	Alle	Uten A41	Alle	Alle	Uten A64
Middelerdi	3175	2964	4318	5084	5390	7884	8646	9649	13043	12094
St. avvik	503	203	577	709	441	1721	981	629	2148	386

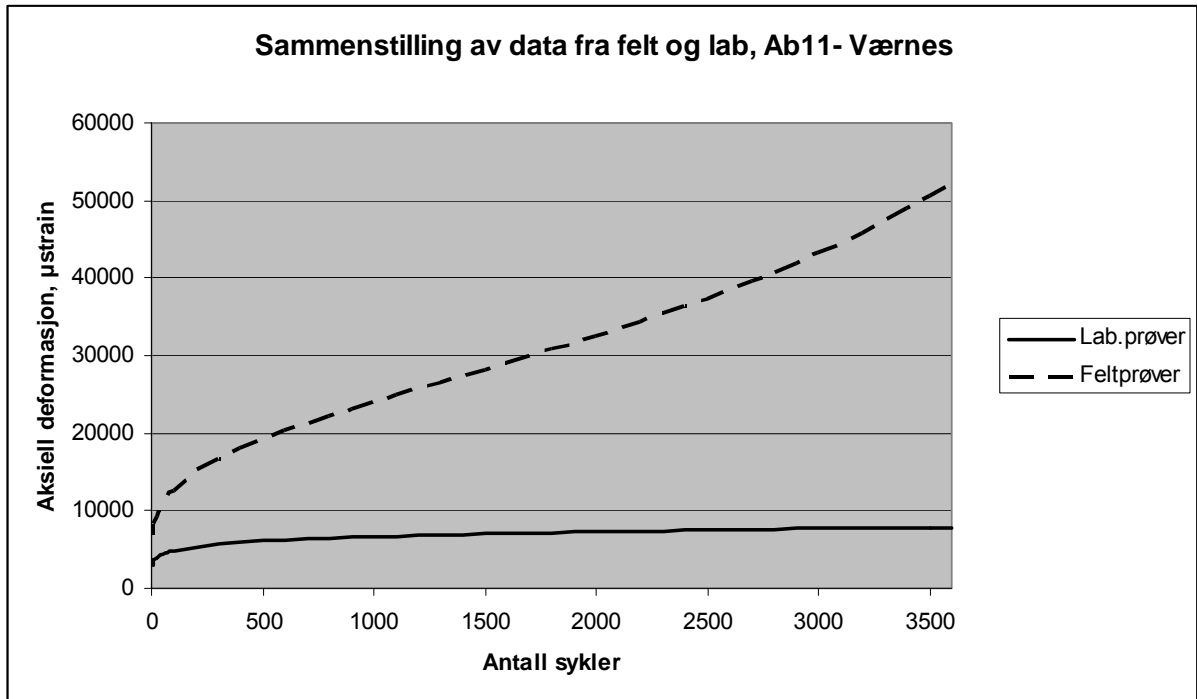
<sup>\*)</sup> I hver prøveserie er statistiske parametere angitt for alle prøvene og når enkeltprøver med avvikende resultater er utelatt.



Figur 18 Syklisk kryp – middelverdier, avvikende enkeltprøver utelatt (40 °C).

Figur 19 viser sammenstilling av laboratorieprøver og borprøver fra felt (Værnes) for den sammenlignbare massetyper Ab 11 med bindemiddel 160/220 (B180).

Som figuren viser er det store forskjeller i deformasjonsegenskapene mellom laboratorieproduserte prøver og borprøver tatt ut i felt.



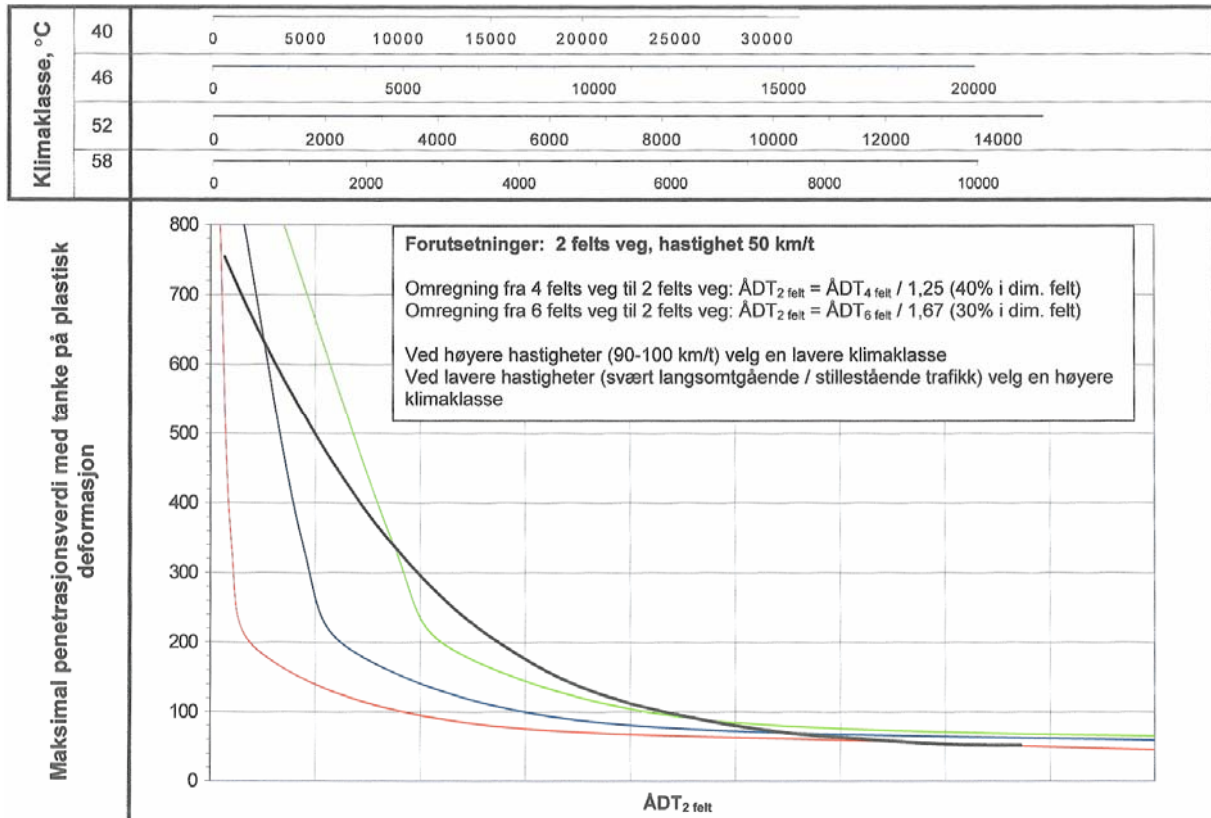
*Figur 19 Deformasjonsegenskaper til laboratorieproduserte prøver og borprøver fra felt for Ab 11 fra Værnes med bindemiddel 160/220 (40 °C). Midlere kurveforløp er angitt for begge seriene.*

Disse deformasjonsundersøkelsene gir også grunnlag for å evaluere systemet for valg av bindemiddel etter klima og trafikk, jfr kap 3.1.2. Dette systemet ble opprinnelig utviklet i samarbeidsprosjektet "Ny asfaltteknologi".

Følgende framgangsmåte er lagt til grunn:

- Bruker ÅDT-skalaen for 40 °C.
- Setter likhetstegn mellom ÅDT og antall lastsykler.
- Bruker eksakte penetrasjonsverdier (etterkontrollerte).
- Plotter penetrasjon mot ÅDT (= antall lastsykler).
- Benytter middelverdier uten ekstremalverdier fra deformasjonsmålingene (figur 18).
- Plotter data for aksial deformasjon på 8000, 10000 og 12000 µstrain.
- Ekstrapolering av kurveforløpet i figur 18 (samme stigning som mellom 3000 og 3600 sykler).

I figur 20 er verdiene som framkommer med de angitte forutsetninger plottet sammen med den opprinnelige foreslåtte kurven for valg av bindemiddel (jfr. figur 1).



Rød kurve angir aksial deformasjon på 8000  $\mu$ strain, blå kurve angir aksial deformasjon på 10000  $\mu$ strain og grønn kurve angir aksial deformasjon på 12000  $\mu$ strain. Penetrasjonsverdi for V12000 er stipulert til 800.

Figur 20 Resultater fra testing av aksial deformasjon på Ab 11-prøver plottet inn i foreslått system for valg av bindemiddel.

### 3.3.3 Konklusjoner

For praktisk proporsjonering og kontroll av asfaltmasse er det nødvendig å kunne benytte relativt enkle testmetoder. På denne bakgrunn er det i PROKAS anbefalt å arbeide videre med Nottingham Asphalt Tester (NAT);

- rask og enkel metode
- kombinert utstyr som både kan bestemme asfaltprøvens stivhet og deformasjonsegenskaper
- kan bestemme egenskapene ved forskjellige temperaturer
- internasjonalt anerkjent metode med foreliggende forslag til CEN-prosedyrer

Etter å ha sammenlignet data fra ulike laboratorier på dynamisk stivhetstest og syklisk kryptest kan følgende framheves vedrørende variasjoner mellom utstyr:

- Tre laboratorier har gjennomført kalibrering og igangkjøring av NAT-utstyr.
- For aksial deformasjon (syklisk kryptest) på Ab 16 er midlere deformasjon ca. 12 % lavere hos SINTEF enn hos NCC Roads. For Ag16-massen nås bruddgrensen (aksial deformasjon på 40.000  $\mu$ strain) raskere hos SINTEF enn hos NCC Roads.
- For stivheten (E-modul) er resultatene for NCC Roads og SINTEFs utstyr relativt like (forskjeller i størrelsesorden 3-5 % for Ag 16-massen og 10-20 % for Ab 16-massen). Resultatene fra KoLo Veidekke ligger gjennomgående lavere for alle prøver.
- For å sammenligne data fra NAT og MTS-utrustning må det utarbeides et eget styringsprogram som gir samme lastform og frekvens som NAT-utrustningene gir.



- Ringanalyser i Sverige og Finland har også avdekket at det kan være store variasjoner mellom utstyr/laboratorier [17, 18].

Etter å ha undersøkt variasjoner i materialegenskaper for asfaltdekker i felt kan følgende framheves:

- Nøyaktighet ved uttak og håndtering av prøver fra felt er av vesentlig betydning.
- Asfaltdekker legges ofte for tynne til at man kan ta ut prøver som tilfredsstillende standardiserte krav til prøvegeometri.
- Dynamisk stivhetstest på NAT synes å gi en riktig rangering av de ulike massetyper mhp E-modul.
- Deformasjonsforsøk viser til dels store forskjeller mellom prøver i en og samme prøveserie.
- Deformasjonsmotstanden kan også være forskjellig for samme massetype tatt på forskjellige steder.
- Tendens til dårligere deformasjonsmotstand ved økende hulrom.
- Testing uten sidetrykk kan sannsynligvis ikke skille mellom masser med ulikt tilslagsmateriale.

Vedrørende bindemiddelets betydning for deformasjons- og stivhetsegenskaper kan følgende framheves:

- Metoden for bestemmelse av elastisk stivhet med NAT synes tilfredsstillende.
- Indentation test i NAT synes egnet til rangering av deformasjonsegenskapene til masser med varierende bindemiddelstivhet, **gitt samme steinmateriale**.
- Resultatene fra testing av deformasjonsegenskapene passer relativt bra med det foreslåtte systemet for valg av bindemiddel etter klima og trafikk. Det kan være behov for en mindre justering av kurven i figur 1. Det må imidlertid testes flere massetyper og ved flere temperaturer for endelig verifisering av systemet.

Resultatene fra undersøkelsene på deformasjon/stivhet har gitt et visst grunnlag for å evaluere NAT som ”ny testmetode”. Men det trengs mer testing av både laboratorieproduserte prøver og feltprøver. Når et slikt grunnlag er etablert kan det settes krav til norske dekketyper ved testing i NAT.

### 3.4 Densitet/hulrom

(Prosjektrapport nr 3, ref [19])

#### 3.4.1 Bakgrunn

Densitet og hulrom er svært viktige parametere i asfaltsammenheng og inngår i systemer for proporsjonering, utførelseskontroll og etterkontroll. Disse parametrene bør ideelt sett la seg måle absolutt, enten det er snakk om laboratorieprøver, borprøver fra felt eller direkte i felt. Problemet er at det finnes flere ulike metoder og utstyr for å bestemme densitet og hulrom, og disse gir til dels store forskjeller avhengig av hva slags type prøve eller asfaltmasse målingene foretas på.

Arbeidsgruppen for densitet og hulrom har utført følgende undersøkelser [19]:

- Vurdering av isotopmålere til måling av densitet / hulrom
- Sammenligning av ulike metoder for måling av densitet på borprøver,  $\rho_d$
- Sammenligning av ulike metoder for bestemmelse av maksimal (hulromsfri) densitet,  $\rho_s$

Det ble arrangert en felles måledag for isotopmålere ved Holmestrand den 30. september 1999. I målepunktene ble det også tatt ut borprøver. På disse borprøvene ble densitet ( $\rho_d$ ) målt etter ulike metoder. Til slutt ble det gjennomført en studie av ulike metoder for bestemmelse av maksimal (hulromsfri) densitet,  $\rho_s$ .

#### 3.4.2 Resultater

##### 3.4.2.1 Isotopmålinger

Isotopmålere brukes i Norge i dag i stort omfang av asfaltentreprenører og byggherrer både til driftskontroll og etterkontroll. Isotopmålerne er konstruert for å måle densitet, men brukes indirekte for å sjekke massens hulrom (som er den parameteren det stilles krav til).

Det har vært kjent i lang tid at isotopmålere kan gi svært ulike resultater seg i mellom og at de gir varierende grad av samsvar med densitet og hulrom målt på borprøver. Disse variasjonene kan skyldes at ulike målere er konstruert forskjellig og har ulike måleprinsipper. Det finnes også ulike måleprosedyrer og meninger om hvordan slike målinger skal utføres.

Totalt 12 isotopmålere av ulike fabrikater og modeller ble brukt på måledagen, der man målte i 10 felles punkter på både et Ab-dekke og et Ska-dekke, totalt 20 målepunkter.

Målinger ble utført:

- uten filler
- med filler
- med slurry (blanding av 25% vann og 75% kalksteinsfiller)

Videre ble det lagt opp til en vurdering av metoder for korreksjon av resultater som følge av overflatehulrom. Resultater ble korrigert på grunnlag av:

- sand-patch målinger
- målinger med filler
- målinger uten filler
- korrelasjon mot borprøver

Resultater fra isotopmålingene ble vurdert opp mot densitet på borprøver bestemt etter metoden *Veiing i luft og vann – hydrostatisk overflatetørr* [12]. Densiteten funnet på borprøver ble betraktet som "fasit" (jfr. kap 3.4.2.2).

Ved vurderingen av målenøyaktighet for isotopmålere ble følgende prinsipp benyttet:

For hver isotopmåler ble avvik i densitet (eller hulrom) mellom isotopmåler og borprøve kvadrert for hvert målepunkt. Kvadratet av avvik summert for alle målepunktene,  $\Sigma(\text{avvik})^2$ , beskriver nøyaktigheten til den enkelte isotopmåler for den aktuelle måleserien. Høye verdier for  $\Sigma(\text{avvik})^2$  betyr dårlig samsvar med borprøver og lave verdier betyr et godt samsvar. Metoden er forklart nærmere i prosjektrapport nr. 3 [19].

Tabell 21 og 22 gir en oppsummering av måleresultatene.



Figur 21 Fra gjennomføringen av isotopmålinger på Solum, Holmestrand.

Tabell 21  $\Sigma(\text{avvik})^2$  mellom hulrom fra ulike typer isotopmålinger og hulrom i borprøver for alle målepunkter på Ab16-dekket.

Type måling	A Troxler 4640B	B Troxler 4640	C Troxler 3450	D Troxler 4640B	E Troxler 4640B	H Troxler 4640B	I Troxler 3450	K Troxler 4640B	F HDM 5	J HDM 5	G Sea- man	L Sea- man
Uten filler	43	37	48	27	60	29	46	91	19	17	19	9
Med filler	22		9	9	29	10	21	168	18	29	11	18
Med slurry	12		17	28	10	36	16	336	100	98	22	33
Korrigert (sand-patch)	12		5	14	11	10	13				12	6
Korrigert (differanse med - uten filler)	24		15	27	16	14	24				13	6
Korrigert (korrelasjon isotopmålinger - borprøver)	15		8	9	11	10	16	12			10	6

Tabell 22  $\Sigma(\text{avvik})^2$  mellom hulrom fra ulike typer isotopmålinger og hulrom i borprøver for alle målepunkter på Ska16-dekket.

Type måling	A Troxler 4640B	B Troxler 4640	C Troxler 3450	D Troxler 4640B	E Troxler 4640B	H Troxler 4640B	I Troxler 3450	K Troxler 4640B	F HDM 5	J HDM 5	G Sea- man	L Sea- man
Uten filler	335	72	394	303	454	289	354	20	233	163	55	15
Med filler	97		152	63	125	84	196	49	11	11	4	9
Med slurry	14		6	10	18	10	59	185	68	74	68	76
Korrigert (sand-patch)	10		17	18	9	23	28				3	3
Korrigert (differanse med - uten filler)	14		45	26	18	53	93				3	3
Korrigert (korrelasjon isotopmålinger - borprøver)	18		25	15	15	97	20	16			4	4

Som det går frem av tabell 21 og 22, vil den optimale måleprosedyren variere for de ulike typene isotopmålere og hvilken dekketype man måler på.

På Ab-dekket ga Troxler-målerne omtrent samme nøyaktighet ved måling både med filler og med slurry. For HDM og Seaman-målerne syntes filler å gi best resultat. Nøyaktigheten til de fleste målerne ble forbedret ved korreksjon (ut fra sand-patch og borprøve korrelasjon).

På Ska-dekket ble det tydelig best resultat for Troxler-målerne ved bruk av slurry, mens HDM og Seaman-målerne fikk best resultater ved bruk av filler.

Det må imidlertid nevnes at bruk av slurry kan være problematisk for Troxler-målere på grunn av bevegelige deler på undersiden av enhetene. Som man ser av tabell 22, gir alle tre typer korreksjoner en vesentlig forbedring av resultatene hvis man sammenligner med fillermålingene (som er alternativet til bruk av slurry).

### 3.4.2.2 Bestemmelse av densitet, $\rho_d$ , og hulrom på borprøver

Borprøver ble tatt ut fra hvert enkelt målepunkt på både Ab16- og Ska16-dekket.

Borprøvene ble sendt på rundgang mellom 5 ulike laboratorier for bestemmelse av densitet  $\rho_d$  etter følgende metoder:

- Veiging og måling med skyvelære
- Veiging vått og tørt
- Veiging vått og tørt – hydrostatisk overflatetørr
- Voksing (kun utført ved Vegteknisk avdeling, Vegdirektoratet)

Tilslutt ble maksimum densitet,  $\rho_s$ , bestemt ved bruk av stålpyknometer, løsemiddel og vann. Disse verdiene ble så benyttet til utregning av hulrom.

Resultater fra undersøkelsen er vist i tabell 23.

Tabell 23 Hulrom i % basert på måling med skyvelære, ved veiging vått og tørt, ved hydrostatisk overflatetørr og ved voksing.

Masse- type	Måling med Skyvelære	Veiging vått og tørt	Hydrostatisk overflatetørr	Voksing
Ab16	10,2	6,4	7,5	7,8
Ska16	8,3	3,8	4,6	4,9

En har valgt å anta at densitet ved voksing er en slags fasit siden det er den metoden som håndbok 014 [12] angir som referansemetode for masser i det aktuelle hulromsområdet.

Resultatene viser at densitet ved voksing og ved hydrostatisk overflatetørr kan sidestilles for det aktuelle hulromsområdet. Metodene for bestemmelse av densitet med skyvelære og veiing vått og tørt gav som forventet dårligere samsvar med voksede prøver enn metoden hydrostatisk overflatetørr. Ved sammenligning av resultater oppnådd ved de 5 laboratoriene viste det seg også at sistnevnte metode hadde det laveste standardavviket og dermed den beste reproduserbarheten.

**Undersøkelsen viser klart at metoden hydrostatisk overflatetørr er å foretrekke som metode for bestemmelse av densitet,  $\rho_d$ .**

### 3.4.2.3 Måling av maksimal densitet, $\rho_s$ , med ulike metoder

Følgende metoder ble benyttet til bestemmelse av maksimal densitet,  $\rho_s$ :

- Stålpynometer, løsemiddel og vann
- Forbrenningsovn. Måling av densitet på stein etter forbrenning, påfølgende beregning av  $\rho_s$  på grunnlag av mengde stein og bitumen.
- Ekstraksjon. Måling av densitet på stein etter ekstraksjon, påfølgende beregning av  $\rho_s$  på grunnlag av mengde stein og bitumen.
- Ny metode, "Rice Density". Måling av  $\rho_s$  direkte på oppsmuldret asfaltmasse med pyknometer, vann og undertrykk.

Undersøkelsene ble gjort på borprøver fra de samme asfaltdekkene og målepunktene som ble benyttet til fellesmålingen for isotopmålere. På alle borprøver ble også prøvenes densitet,  $\rho_d$  (hydrostatisk overflatetørr), bestemt slik at hulrom kunne beregnes. Resultatene er gitt i tabell 24. Av metodene for bestemmelse av maksimal densitet ( $\rho_s$ ) anses metoden med bruk av stålpynometer som den sikreste, og her betraktet som "fasiten".

Som det går frem av tabell 24 er det best samsvar mellom stålpynometer og "Rice Density". I maksimal densitet er avviket i størrelsesorden 3-6 kg/m<sup>3</sup>, og hulrom 0,1 – 0,2 %. Dette må sies å være ubetydelige avvik. Samsvaret mellom de to metodene er forøvrig like godt for både Ab16-massen og Ska16-massen.

Tabell 24 Resultater fra måling av  $\rho_d$  og  $\rho_s$  samt beregning av hulrom.

Målepunkt/ prøve nr.	Masse- type	Densitet $\rho_d$	Maksimal densitet ( $\rho_s$ ) kg/m <sup>3</sup>				Beregnet hulrom, %			
			Rice density	Stålpyk- nometer	Ekstrak- sjon <sup>1</sup>	Forbren- ning <sup>2</sup>	Rice density	Stålpyk- nometer	Ekstrak- sjon <sup>1</sup>	Forbren- ning <sup>2</sup>
A2 / 1	Ab16	2328	2445	2439		4,79	4,55			
A2 / 2		2321	2438		2420	4,78		4,08		
A2 / 3		2310	2455			2459	5,90		6,04	
A6 / 1	Ab16	2189	2490	2495		12,08	12,26			
A6 / 2		2196	2477		2487	11,34		11,70		
A6 / 3		2175	2478			2484	12,23		12,45	
A8 / 1	Ab16	2282	2464	2467		7,37	7,48			
A8 / 2		2295	2462		2458	6,79		6,63		
A8 / 3		2279	2464			2489	7,53		8,44	
S7 / 1	Ska16	2391	2524	2530		5,28	5,51			
S7 / 2		2415	2542		2326	4,98		-3,85		
S7 / 3		2424	2544			2581	4,71		6,07	
S9 / 1	Ska16	2372	2550	2555		6,99	7,17			
S9 / 2		2400	2529		2461	5,09		2,47		
S9 / 3		2411	2520			2555	4,33		5,64	

Merknad 1: Ska-massen inneholdt fiber. Dette gav problemer med nøyaktig bestemmelse av steinmaterialets densitet i pyknometer. Resultatene her er feil (skravert).

Merknad 2: På Ska16-massen er bindemiddelinholdet som ble bestemt redusert med 0,4 % ut fra tidligere erfaringer. Bindemiddelinholdet bestemt på Ab16-massen ble ikke korrigert.

Både ekstraksjon og forbrenning ga akseptable resultater på Ab16-massen, men ikke tilfredsstillende resultater på Ska16-massen. Problemene her lå i bestemmelsen av steinmaterialets densitet etter ekstraksjon (innhold av fiber) og usikkerheten i korreksjon for bindemiddelinhold etter forbrenning. Begge disse metodene vil sannsynligvis være forbundet med noe usikkerhet på enkelte massetyper.

### 3.4.3 Konklusjoner

Voksing er den metoden som angis som referansem metode i håndbok 014 [12] for bestemmelse av densitet,  $\rho_d$ . Denne metoden er imidlertid tidkrevende og lite praktisk å utføre. I denne undersøkelsen ble det funnet et godt samsvar mellom metodene hydrostatisk overflatetørr og voksing. Metoden hydrostatisk overflatetørr ble dermed anbefalt som standard metode for densitetsbestemmelse i PROKAS. Denne metoden viste seg også å ha best reproduserbarhet (liten spredning i resultater mellom ulike laboratorier).

For densitet og hulrom bestemt med Troxler isotopmålere oppnådde man de beste resultatene ved bruk av slurry. Særlig tydelig var dette på Ska16. For HDM og Seaman-målerne oppnådde man de beste resultatene med bruk av filler.

Under gjennomføringen av målingene kom det imidlertid frem at slurry kan by på en del praktiske problemer. Slurryen hadde en tendens til å trenge inn i de bevegelige delene på undersiden av målerne og hindre fri bevegelse. Det er derfor noe usikkert hvorvidt slurry i det hele tatt bør benyttes.

Det ble utarbeidet korreksjonsfaktorer for overflatestruktur for å bedre samsvaret mellom borprøver og resultater fra isotopmålinger. Tre typer korreksjoner ble gjennomført:

- Korreksjon for overflatestruktur basert på sand-patch målinger (sandfleckmetoden)
- Korreksjon for overflatestruktur basert på differansen mellom isotopmålinger foretatt med og uten filler
- Korreksjon basert på regresjonsanalyse av resultatene fra et utvalg av borprøver og isotopmålinger

Denne type korreksjoner viste seg effektiv for isotopmålere med liten måledybde og spesielt på dekker med grov overflatestruktur.

Når det gjelder metoder for bestemmelse av maksimal (hulromsfri) densitet,  $\rho_s$ , er metoden med bruk av stålpyknometer, løsemiddel og vann den sikreste. Utpøvingen av en relativt ny metode i norsk sammenheng, Rice density, viser svært bra samsvar med stålpyknometermetoden og kan med fordel tas i bruk i Norge. Metoden involverer ikke bruk av løsemidler og er både rask og lett å utføre.

Bestemmelse av  $\rho_s$  ved ekstraksjon og ved forbrenning gav uakseptable avvik i denne undersøkelsen, og vurderes derfor som mer usikre metoder.

### 3.5 Bestandighet

(Prosjektrapport 5, 8, 14, ref [20, 21, 22])

#### 3.5.1 Bakgrunn

##### *Begrepet bestandighet*

Med bestandighet menes i hvilken grad asfaltmassens egenskaper beholdes i løpet av dekkets funksjonstid. Utover trafikken påkjenninger vil klima (temperatur, luft og vann) samt effekt av vegkjemikalier kunne ha betydning for asfaltens levetid. Dette gjelder både for slitelag og for bærelag. I et vått og kaldt klima vil dekket ha svake perioder både sommerstid og vinterstid. Spesielt vil piggdekk- og kjettingbruk gi harde påkjenninger vinterstid.

##### *Faktorer som påvirker bestandighet*

Det forutsettes at riktig dekketype og riktig dekketykkelse er valgt. Likeså at bæreevne og drenering er ivarettatt. For underdimensjonerte dekker vil alle svakheter synliggjøres raskere enn for veldimensjonerte dekker. En opplisting av mulige problemårsaker er gitt nedenfor [23]:

##### Materialegenskaper:

- Dårlig vedheft til grovtillaget (> 4 mm).
- Dårlig vedheftning/vannfølsomhet i finstoffdelen (0-4 mm)
- Manglende eller utilstrekkelig vedheftningsmiddel
- Lavt bindemiddelinhold
- Høyt hulrom i dekket

##### *Aldring:*

- Høyt hulrom og lavt bindemiddelinhold
- Bitumen-/filleregenskaper (reaktivitet?)

##### Produksjon og utførelse

- Feil behandling/lagring av råvarer
- Blandeverk (feil innstilling)
- Transport og utlegging (separasjoner, avkjølt masse, dårlige skjøter, dårlig klebing)
- Dårlig valsing (høyt hulrom, åpen struktur)

##### *Aldring:*

- For høy produksjonstemperatur?
- Dårlig valsing (høyt hulrom, åpen struktur)

##### Påkjenninger fra klima og vedlikehold

I områder med kystklima og mye nedbør må en ofte legge asfalt under ugunstige værforhold. Noe høyere bindemiddelinhold og bruk av vedheftningsmiddel (f.eks. amin) skal kompensere for dette. På høytrafikkerte veger med slitasje fra piggdekk og kjetting kan også dekker med lavt hulrom få vannskader, da slitasjen åpner for vanninntrengning i dekket og bidrar til å mykne opp/fjerne mørtel.

Det er ikke dokumentert at salting med natriumklorid virker oppløsende på asfalten. Mer bar asfalt og mer våt asfalt gjør at saltede veger slites noe mer enn usaltede. Smeltevann pga. salting som trenger ned i hulrom i asfalten kan bidra til frostsprengning og stein- eller mørtelslipp.

På flyplassdekker brukes andre typer avisningsmidler enn natriumklorid og noen av disse kan over tid virke oppløsende på bitumen. Til flyplassdekker stilles det ofte spesielle krav til motstandsevne både mot avisningsmidler og drivstoffsøl (fuel resistance).

### Aktiviteter i prosjektet

Arbeidsgruppe for bestandighet hadde som hovedmålsetning å finne egnede metoder for undersøkelse av *bestandighet* i betydningen vedheftning, vannfølsomhet og aldring/forvitring. Arbeidsgruppen valgte å prioritere aktiviteter innenfor vedheftning/vannfølsomhet.

De gjennomførte aktiviteter har vært:

- I. Ringanalyse for vedheftsmetodene rulleflaskemetoden og koketest [20].
- II. Undersøkelse av vannfølsomhet med indirekte strekkstyrke (spaltestrekkmetoden) og Cantabrottest [21].
- III. Sammenlignende undersøkelse av vannfølsomhet til tre steinmaterialer med Cantabrottest, vendskakmetoden og rulleflaskemetoden [22].

## 3.5.2 Resultater

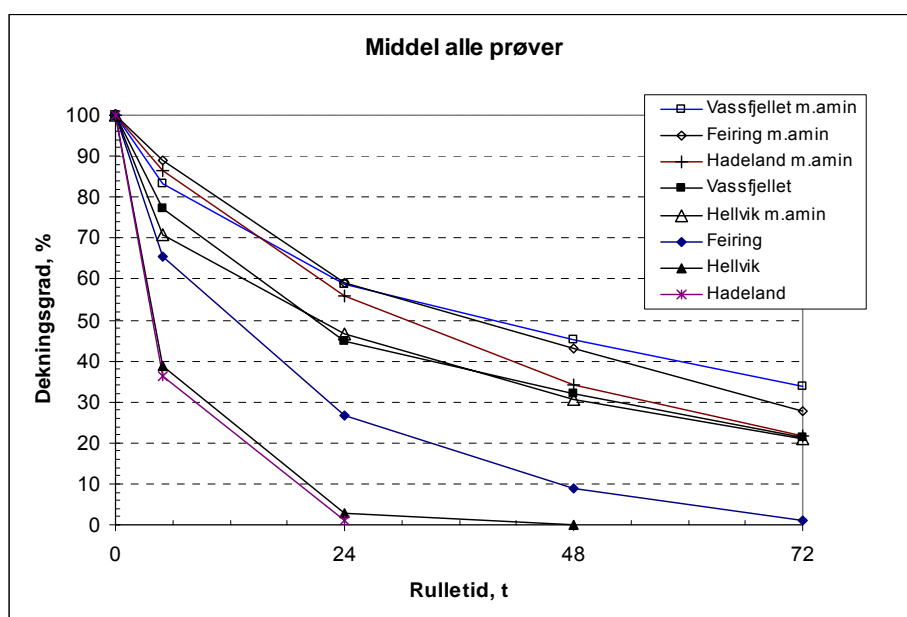
### 3.5.2.1 Ringanalyse vedheftningsmetoder

Det ble gjennomført en ringanalyse på *Koketest* og *Rulleflaskemetoden* [20]. Metodene er beskrevet i vegvesenets håndbok 014 [12]. Rulleflaskemetoden foreligger som europeisk standard. Målet med ringanalysen var å undersøke reproduserbarheten til metodene samt effekt av amin på steinmaterialer med antatt god og dårlig vedheftning. Det deltok 7 laboratorier på hver av metodene. De benyttede tilslagene var: Feiring (*basalt*), Hellvik (*anorthositt/labradoritt*), Hadeland pukkverk (*porfyr*) og Vassfjellet (*gabbro*). Det ble brukt bitumen 160/220 med/uten amin.

Resultatene fra ringanalysen viser at begge prøvingsmetodene sorterer noenlunde likt etter grad av vedheftning. Prøver med klart god eller dårlig vedheftning kan bestemmes med bedre presisjon enn prøver med middels god vedheftning. Figur 22 viser middelerverdier for rulleflaskeprøving med og uten amin.

Koketesten ga ikke tilfredsstillende presisjon for alle dekningsgrader. Metoden kan brukes til enkel driftskontroll, f.eks. til å påvise dårlig vedheftning. Antydnet reproduserbarhet er ca. 40 %.

Rulleflaskemetoden ga betydelig bedre presisjon i forhold til koketesten og til en tidligere ringanalyse. Hvis en ser bort fra 5 t -avlesningene anslås reproduserbarheten til ca. 13 %.



Figur 22 Rulleflaskemetoden: Laboratoriens middelerverdier for de åtte prøvene i ringanalysen.



### 3.5.2.2 Vannfølsomhet med indirekte strekkstyrke (spaltestrekkprøving)

Blandinger av asfaltgrusbetong Agb 11 med forskjellig tilslag (Feiring og Hadeland) ble undersøkt mhp. vannfølsomhet med indirekte strekkprøving (spaltestrekkmetoden). Ulike parametere ble undersøkt [21]:

- Hulrom: 3 % og 8 %
- Amintilsetning i bitumen: uten og med 0,4 %
- Korttidsaldring av massen 4 t 140 °C
- Vannlagringstid: 3 døgn og 7 døgn ved 40 °C

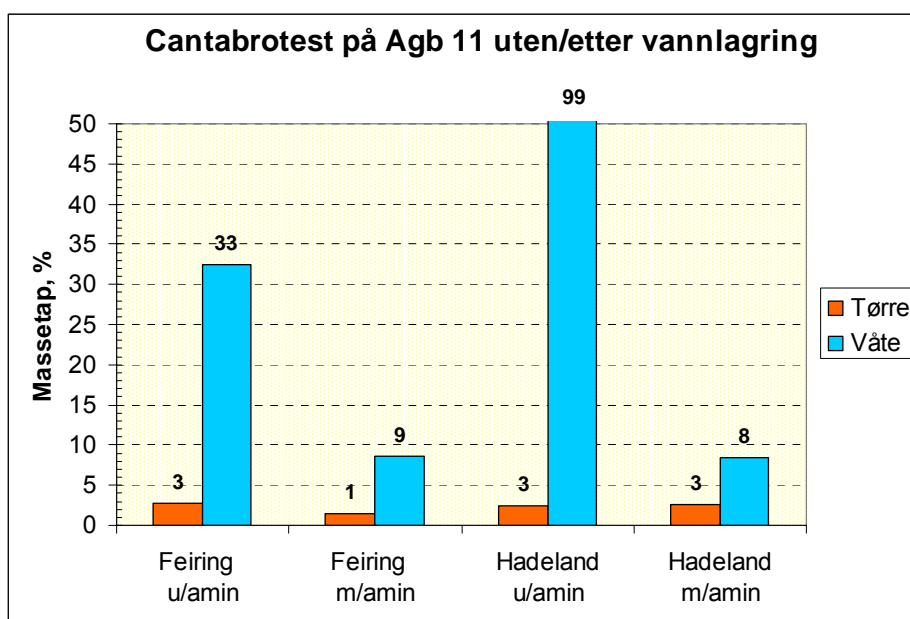
Undersøkelsen ga bedre vedheftningstall enn forventet etter praktiske erfaringer og tidligere resultater med rulleflaskemetoden. Det var liten forskjell mellom prøver med lavt og høyt hulrom. Problemer ved gjennomføringen forklarer ikke avvik fra forventede verdier. De ”gode” verdiene må tilskrives at blandingene hadde en god mørtel (bl.a. tilsetning av kalkfiller) samt at korttidsaldring i varmeskap og langtidslagring i kjølerom må ha gitt en gunstig effekt.

Undersøkelsen viste at korttidsaldring trolig kan utgå da massen likevel får en ”normal” oppherding i løpet av laboratorieprøvingen.

### 3.5.2.3 Vannfølsomhet med Cantabrotest

Cantabrotest ble utført på blandinger av Agb 11 med Feiring- og Hadeland-tilslag uten tilsetning av kalkfiller, uten og med 0,4 % amintilsetning [21]. Det ble laget prøver med ca. 8 % hulrom, der halvparten ble tørrlagret og halvparten ble vannlagret i 7 døgn ved 40 °C. Asfaltprøvene legges enkeltvis i Los Angeles trommelen (uten stålkuler) og etter 300 omdreininger måles massetapet (partikkeltapet).

Prøvingen viste at alle tørrlagrede asfaltklosser hadde lavt massetap. Våtlagrede klosser uten amintilsetning hadde betydelig massetap for Feiring-masse og kollapset helt for Hadeland-masse. Med amintilsetning hadde både Feiring-masse og Hadeland-masse lave vekttap, se figur 23. Det ble konkludert med at Cantabrotest etter vannlagring kan skille mellom god og dårlig vedheft på asfaltprøver med relativt høyt hulrom.



Figur 23 Cantabrotest på tørre og våtlagrede prøver av Agb11.

### 3.5.2.4 Vannfølsomhet med Cantabrottest, vendskakmetoden og rulleflaskemetoden.

Det ble undersøkt hvordan tre tilslag (Lierskogen, Steinskogen og Svingen) klarte seg i ulike vannfølsomhetstester [22]:

- ved prøving av grovtilslaget i rulleflaskemetoden
- ved prøving av mørtelen i vendskakmetoden
- ved prøving av asfaltblandingen i Cantabrottest

I tillegg ble effekt av ulike tilsetninger på vannfølsomheten undersøkt:

- amintilsetning
- bruk av kalkfiller
- bruk av hydratkalk
- kombinasjon av amin og kalkfiller eller amin og hydratkalk

Vendskakmetoden ble utviklet av NCC i Sverige og brukes til å undersøke vannbestandighet til mørteldelen i varmblendet asfalt [24]. NCC Roads i Lier har et vendskakapparat som ble benyttet i undersøkelsen, se figur 24. Det kan kjøres 12 prøvelegemer samtidig i apparatet.



Figur 24 Vendskakapparat og prøver til benkelagring.

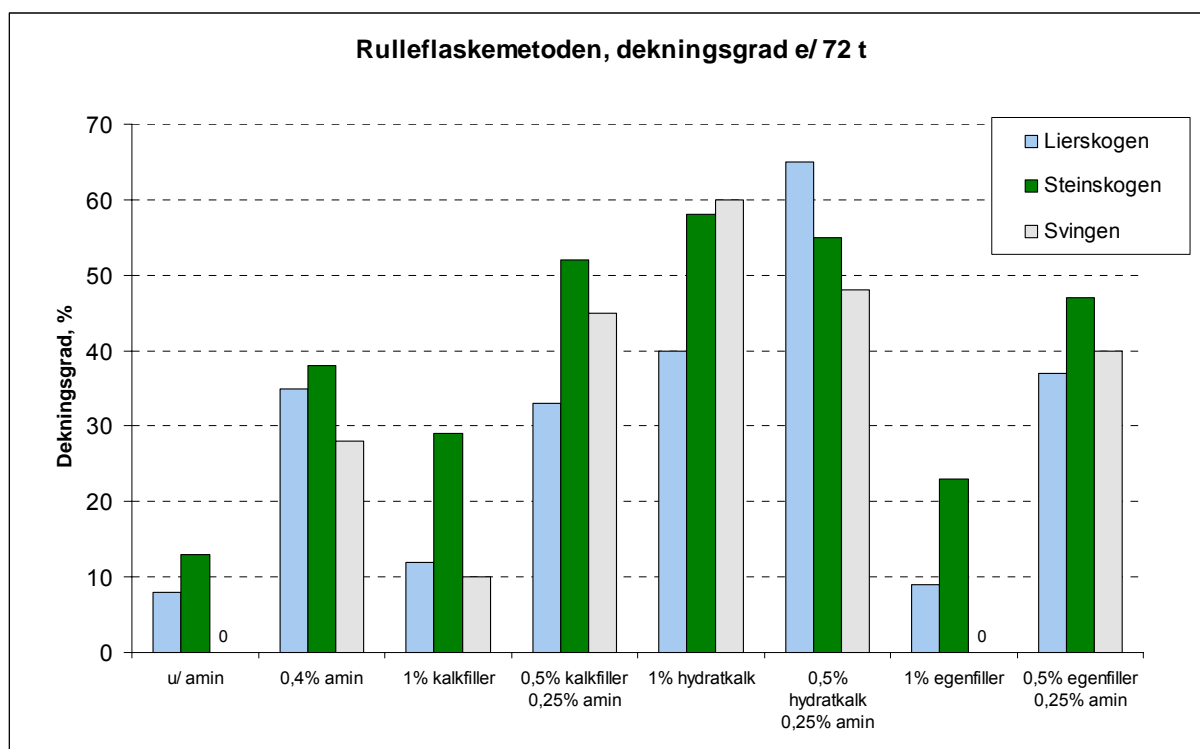
Ved prøving lages 9 prøvelegemer av en finkornet asfaltblanding (0-2 mm) med diameter 30 mm og høyde ca. 27 mm. Korngraderingen er nøye definert i metoden. Det tilsettes 7,0 % bitumen i massen. Hver prøve presses i en sylindrisk prøveform i en statisk presse, og benkelagres 5-14 dager før testing. Det velges ut 3 klosser med "likt" hulrom til videre testing.

De tre klossene vannmettes i eksikator og vannlagres ved 40 °C i 2 døgn. Prøvene veies, høyde og diameter måles og svelling beregnes. Vendskacrørene fylles med 750 ml romtemperert vann og en kloss legges i hvert rør. Løkkene settes på og det utføres 3600 omdreininger (20 omdr./min). Deretter tømmer rørene forsiktig og prøvelegemene veies og massetapet beregnes.

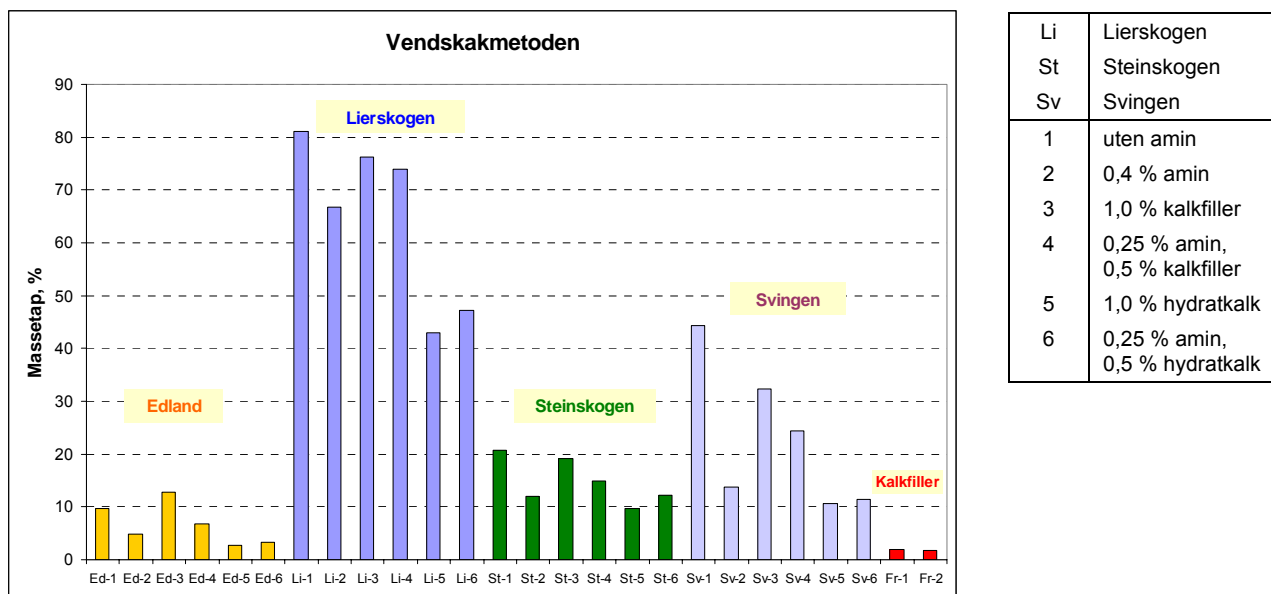
Resultatene fra rulleflaskemetoden (fig 25) var som forventet for de tre steinmaterialene. For vendskakmetoden (fig 26) og Cantabrottest (fig 27) var resultatene som forventet for Steinskogen- og Svingen-materialene. For Lierskogen-materialet var det ingen materialkombinasjon som ga godt resultat. Erfaringsvis finnes det andre materialkombinasjoner som gir bedre resultat for Lierskogen.

Det var en viss korrelasjon mellom vendskakmetode og Cantabrottest ( $R^2 = 0,71$ ), mens det ikke var korrelasjon mellom rulleflaskemetode og vendskakmetode eller Cantabrottest.

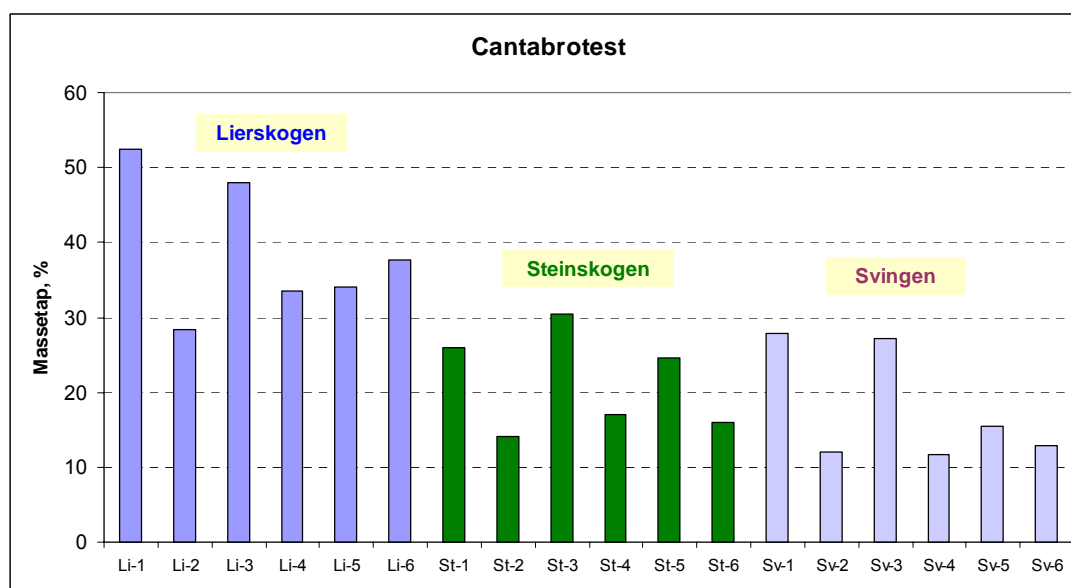
Det ble funnet en betydelig oppherding av bindemiddelet på Svingen-blandinger med 1 % kalkfiller.



Figur 25 Oversikt rulleflaskeforsøk (72 t avlesning).



Figur 26 Resultater vendskakmetoden.



Figur 27 Resultater Cantabrottest etter vannlagring – massetap i %.

### 3.5.3 Konklusjoner

Arbeidsgruppen for bestandighet ønsket å få svar på:

- Hva er godt - middels - dårlig resultat?
- Hvordan oppnå god reproduserbarhet på metoden.
- Hvordan finne riktig skadeårsak i felt.

Under proporsjoneringen ønsker man å teste på en blanding som er mest mulig lik/representativ aktuell produksjon, både med hensyn på sammensetning og tillaging/komprimering. Det kan i visse sammenhenger likevel være mer rasjonelt å teste råmaterialene pga. raskere gjennomføring, lavere kostnader eller for å vurdere tiltak på et tidlig tidspunkt.

For kontroll/driftskontroll bør man ha rimelige og raske metoder som minimum kan påvise dårlig eller tilfredsstillende bestandighet.

Bestandighetsgruppen prioriterte å undersøke vedheft/vannfølsomhet da det ikke var nok ressurser i prosjektet til å undersøke aldring, kjemikalibestandighet eller feltefaringer.

De utførte undersøkelsene gir grunnlag til å foreslå mulige metoder og mulige krav til vedheft/vannfølsomhet til asfaltblandinger. Med ”krav” ser man også for seg interne krav hos entreprenøren (driftskontroll).

Det som kompliserer bildet er kommende europeiske standarder på asfalt (prEN 13108-serien) som forutsetter at vannfølsomhet testes med indirekte strekkprøving (NS-EN 12697-12). Metoden har ikke gitt overbevisende resultater i PROKAS.

Tabell 25 viser forslag til prøvingsmetoder og krav fra PROKAS-arbeidet.

Tabell 25 Forslag til prøvingsmetoder og bruksområder for prøving av bestandighet.

Metode	Referanse	Kommentar/forslag til krav
<b>Vedheft/vannfølsomhet</b>		
Rulleflaskemetoden	NS-EN 12697-11 Håndb. 014.573	Til undersøkelse av grovtilslag, bitumentyper, vedheftningsmidler, bitumen-/fillerblandinger. Forslag til krav for bitumen uten filler (dekningsgrad): min. 25 % (48 t) og min. 15 % (72 t)
Vendskakmetoden	NCC Roads metode	Til undersøkelse av finstoffdel (mørtel) i asfalten. Kan vurdere effekt av tilsetninger. Forslag til krav til massetap: maks. 15 %
Cantabrotest	NS-EN 12697-17 Håndb. 014.555	Til undersøkelse av 10 cm asfaltprøver, både laboratorieprøver og feltprøver. Kan vurdere effekt av tilsetninger i asfalten. Forslag til krav til massetap: maks. 25 %
Indirekte strekkprøving	NS-EN 12697-12 Håndb. 014.575	”Obligatorisk” metode fra CEN. Risiko for usikre eller villedende resultater på masser med lavt hulrom, bør suppleres med annen metode. Veiledende krav til vedheftstall i Asfaltveiledning: min. 70 %
Koketest	Håndb. 014.574	Til driftskontroll av enten fin- eller grovfraksjonen i massen, eller hele massen. Er mer usikker enn de andre metodene, men kan påvise dårlig vedheft. Ikke foreslått krav.
<b>Aldring</b>		
PAV (Pressure Aging Vessel)	prEN 14769	På bindemiddel. Kan også benyttes på filler-/bitumenblandinger. Ikke benyttet i PROKAS.
<b>Kjemikalibestandighet</b>		
Motstand mot avisningsmidler	prEN 12697-41	Kohesjonstest (heftfasthet) etter kondisjonering, samt mykningspunkt på bindemiddel etter lagring i avisningsmiddel. Ikke benyttet i PROKAS.
Motstand mot drivstoff	prEN 12697-43	Lagring i drivstoff – måling av massetap, børstetest etter lagring i drivstoff. Ikke benyttet i PROKAS.
Annet		Avventer resultater fra nordisk prosjekt for flyplassdekker der Avinor deltar.

I Håndbok 018 - Vegbygging (2004) står det: ”Relevante tekniske egenskaper skal garanteres”. Bestandighet relatert til klima (temperatur, nedbør etc.) er en av de gitte egenskapene.

I Asfalt – Veiledning, håndbok nr. 246 (2004) blir det gitt veiledende krav for vedheftning/vannfølsomhet med ulike prøvingsmetoder.

Vendskakmetoden ser ut til å være en god metode for å vurdere mørtelkvalitet. Foreløpig benyttes metoden bare av ett laboratorium i Norge. En vil avvente svenske erfaringer i tilfelle metoden skulle bli modifisert. Metoden bør foreslås som europeisk standard for å få videre utbredelse. Utstyret er allerede beskrevet i prEN 12274-7 (metode for slamasfalt).

Cantabrotest på vannlagrede prøver ser ut til å være en nyttig metode til proporsjonering, driftskontroll, samt byggherrekontroll (inkludert borprøver). Cantabrotest foreligger som europeisk standard, men må tilpasses testing av vannfølsomhet. Utstyret (Los Angeles maskin) finnes allerede på større asfaltlaboratorier.

Undersøkelsene i PROKAS viser at Cantabrotest kan skille mellom asfaltprøver med antatt god og dårlig vannfølsomhet/vedheft. Metoden kan være et supplement til indirekte strekkprøving (evt. dynamisk E-modul og dynamisk kryp). Det kan være en fordel å ha en prøvingsmetode som også tester prøvens slagseighet.

Trolig er metoden best egnet til prøving av asfalt til lavtrafikkerte veier, dvs. massetyper med noe lavt bindemiddelinhold og noe høyt hulromsinhold. Metoden er også aktuell ved prøving av drengasfalt.

Følgende aktiviteter er aktuelle å følge opp i nye prosjekter etter PROKAS:

- Validering av metodene, dokumentere sammenhenger med felt. Hvilke massetyper er de egnet til. Vurdering mot trafikkmengder og klimatyper. Forslag til veiledende krav.
- Undersøke presisjon til vendskakmetoden og Cantabrotest ved ringanalyser. Metodene bør da være noenlunde etablerte.
- Hypotesen om at jo hardere (sterkere) stein jo dårligere resultat i vendskak bør undersøkes nærmere.
- Effekt av ulike fillertyper og tilsetninger på bindemiddelaldring. I to av undersøkelsene i PROKAS ble det funnet en betydelig oppherding av bitumen.
- Undersøkelse av overgang fra 250 ml til 500 ml flasker i rulleflaskemetoden - påvirkes resultatene?
- Bruk av hydrat kalk i asfalten. Vil høy pH i vannet, f.eks. ved piggdekkslitasje av asfaltdekket få betydning (miljø, korrosjon, friksjon mv.)?
- Undersøkelser av aldring.
- Undersøkelser av kjemikaliebestandighet.

### 3.6 Kontroll i felt

#### 3.6.1 Bakgrunn

Arbeidet har blitt initiert av PROKAS, men har i hovedsak blitt utført i egenregi av Avinor, delvis i samarbeid med ATI.

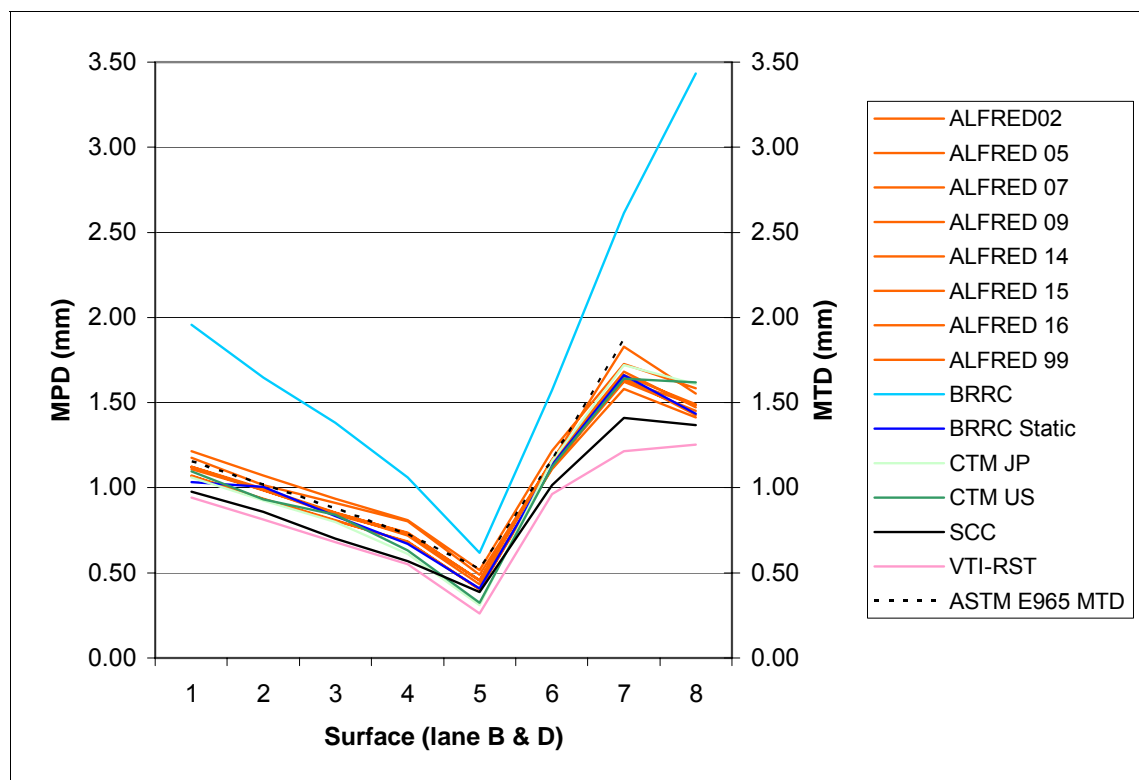
Avinor har i flere år jobbet med problemer relatert til overflateegenskaper på rullebaner.

Bakgrunnen for arbeidet til Avinor har hatt følgende to hensikter:

- I. Rapportering av overflateegenskaper på rullebaner i henhold til internasjonale regelverk.
- II. Etablere en metode for kontroll av asfaltdekker i kontraktssammenheng.

#### 3.6.2 Resultater

En rekke målinger er utført på testbanen ved Oslo lufthavn Gardermoen. Denne banen har 9 ulike dekkeoverflater (opprinnelig 8 dekketyper fra 1997 men supplert med en ny dekketype i 2003). I perioden 2000-2001 ble det gjort en serie teksturmålinger med lasermålebil og korrelert med manuell metode, "glassfleck-metoden" (ASTM- standard E965). Resultatene viste svært god sammenheng mellom manuelle målinger og bruk av laser. For å sjekke disse resultatene ble det i juni 2003 gjennomført en "workshop" hvor flere lasermålere ble benyttet sammen med apparater for måling av mikrotekstur og pendelverdi. Målingene viste at bilene gav tilnærmet samme resultat og dermed kan brukes om hverandre til måling av tekstur. Sammenstilling av makroteksturmålinger er vist i figur 28.

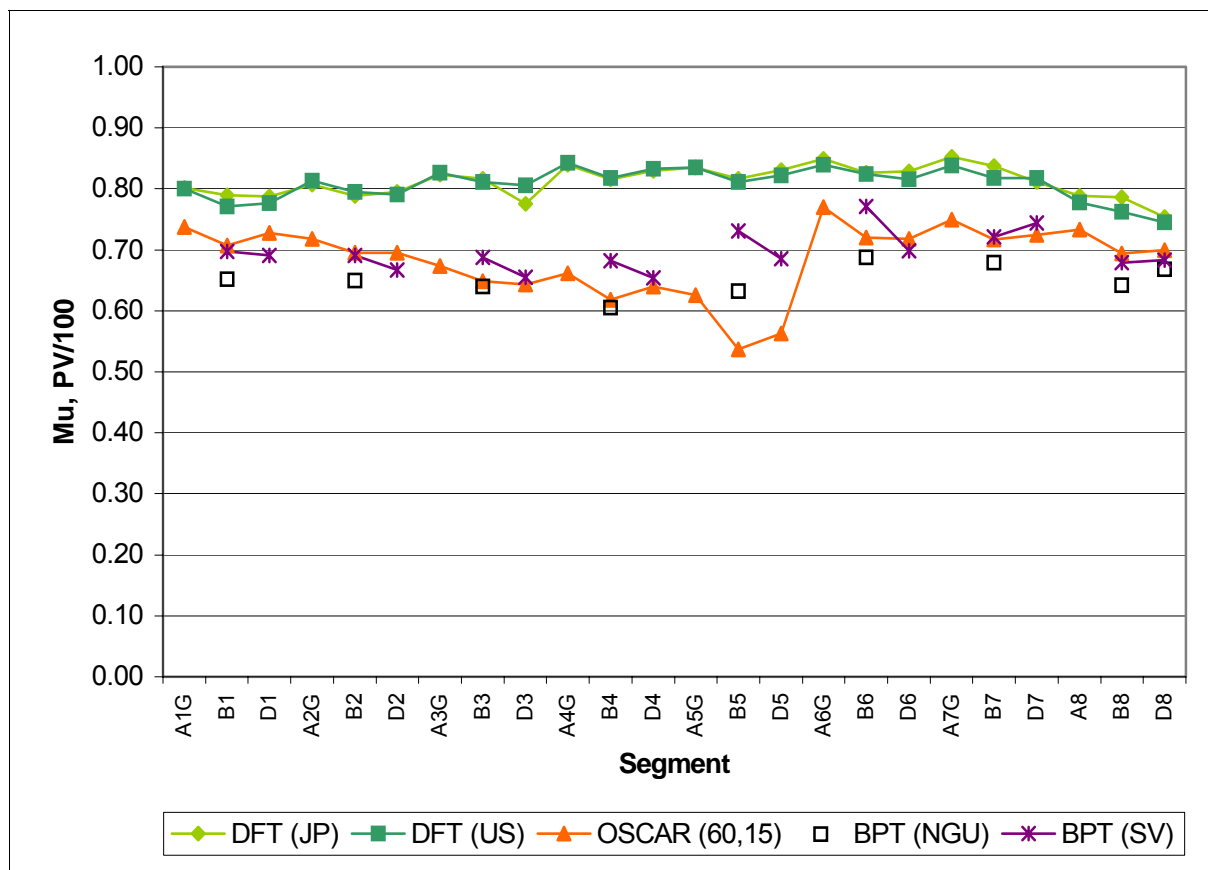


Figur 28 Sammenstilling av makroteksturmålinger (MTD = manuelle målinger, MPD = lasermålinger) [25].

Den blå kurven i figur 28 er fra en måler hvor det oppsto en feil i beregningene.



Friksjonsegenskapene til et dekke kan ikke bestemmes bare ut fra makrotekstur, også mikroteksturen betyr mye. De første resultatene fra testbanen viste imidlertid en sammenheng mellom makrotekstur og friksjonsverdi. Under workshopen i 2003 ble også mikroteksturen målt for å sjekke om dette faktisk var tilfelle. I figur 29 er resultatene fra denne undersøkelsen vist.



Figur 29 Mikrotekstur, pendelverdi og friksjon [25].

På dette grunnlaget har Avinor dokumentasjon på at teksturmåling gir bedre og sikrere resultater enn våtfriksjonsmålinger.

Avinor har stilt funksjonskrav til asfaltdekker i sine kontrakter de siste årene, og raskere og enklere metoder for kontroll og oppgjør har vært en målsetting.

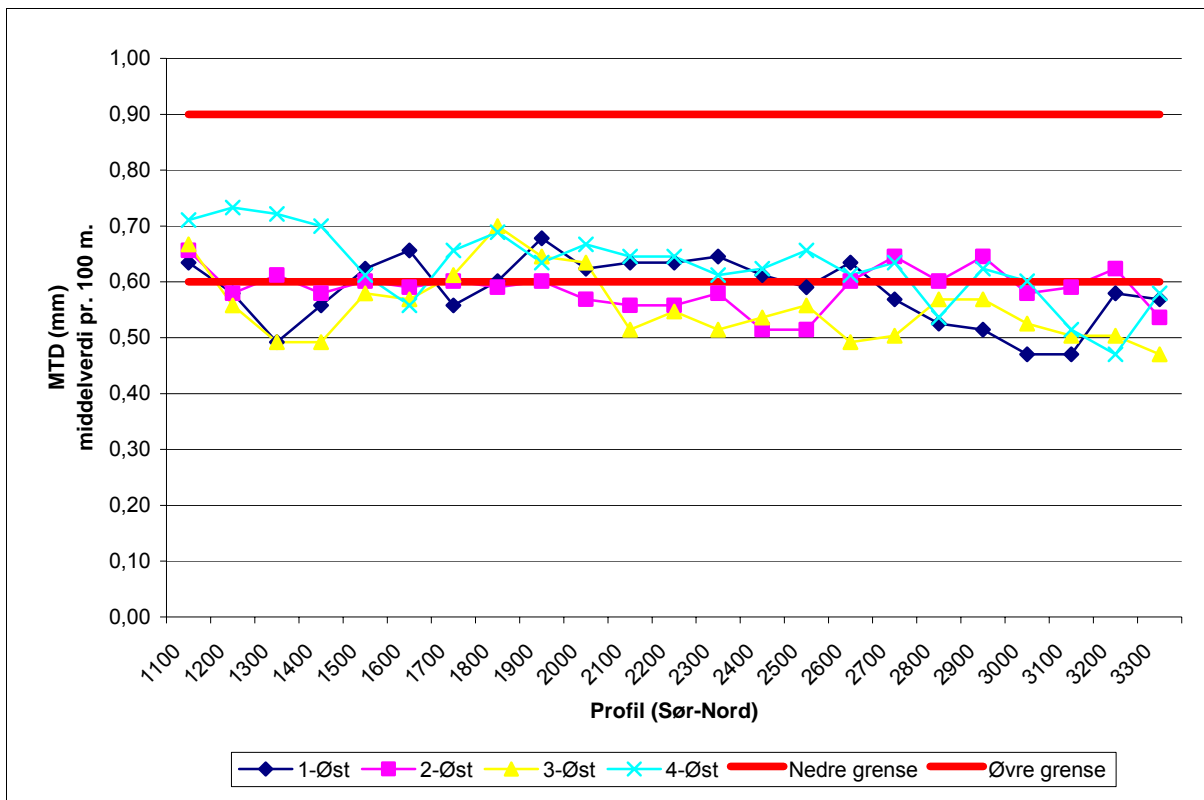
Avinor har søkt å kartlegge følgende parametere ved hjelp av målebil:

- Tekstur
- Separasjon
- Jevnhet, 3 meter rettholt
- Jevnhet, 45 meter rettholt
- Tverrfall

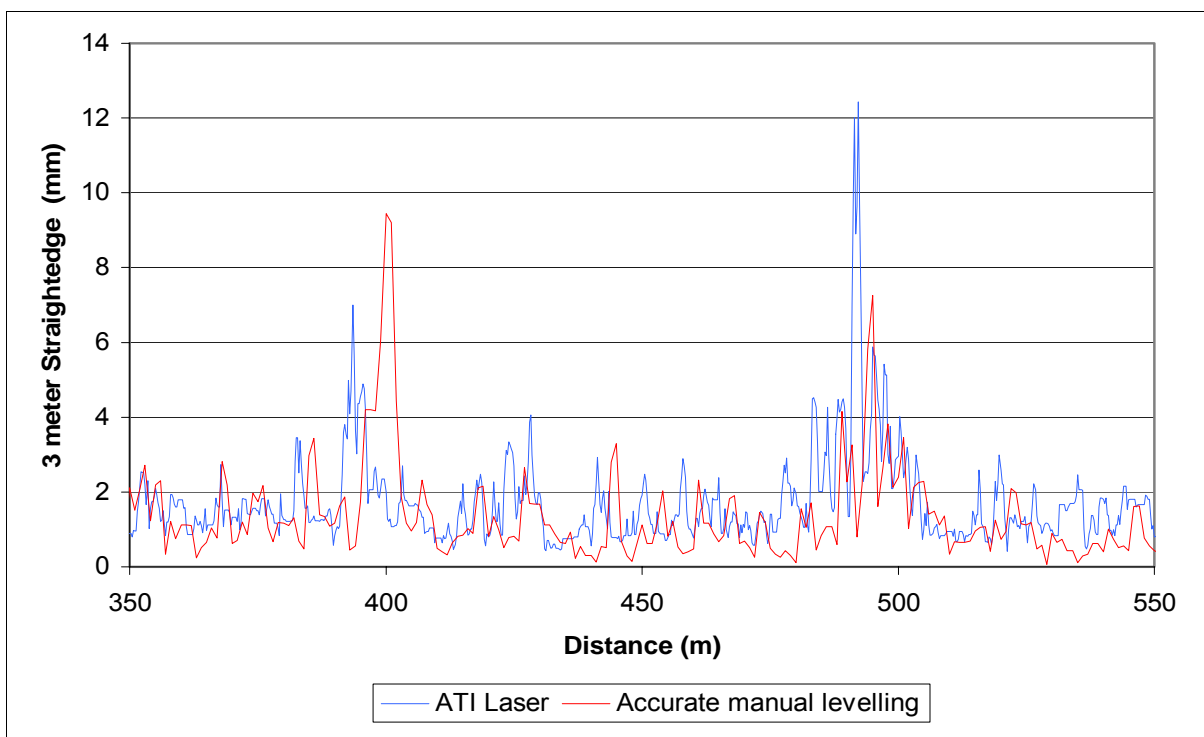
Avinor og ATI har gjennom arbeidet på testbanen kommet fram til metoder for å kontrollere disse parameterne opp mot gitte krav.

Oppgjør i Avinors asfaltkontrakter for rullebaner skjer nå etter dokumentasjon gitt av Alfredmålinger. I figur 30 og figur 31 er det vist resultater etter kontroll av henholdsvis tekstur og jevnhet, 3 meter rettholt.





Figur 30 Tekstur i hver utleggerbredde på Flesland (øst for senterlinjen)[25].



Figur 31 Sammenligning målebil og nivellement- Testbanen Oslo lufthavn [25].

### **3.6.3 Konklusjoner**

Avinor har ved reasfaltering av rullebaner satt krav til teksturverdi som et funksjonskrav til dekket. Målebil med lasermåling er benyttet til måling av tverrfall, tekstur og jevnhet.

Det vil være behov for videreutvikling av måleutstyret slik at måling kan skje i hele kjørefeltbredden eventuelt hele vegbredden. Dette kan gjøres ved å montere flere lasere på bilen. I Tyskland er det montert lasere som også "ser" ut til siden slik at hele vegbredden kan måles ved én overfart.

Avinor anbefaler at målemetoden tas i bruk av andre byggherrer og av entreprenører for kontroll og dokumentasjon av utførte arbeider.

#### 4 Sammendrag og hovedkonklusjoner

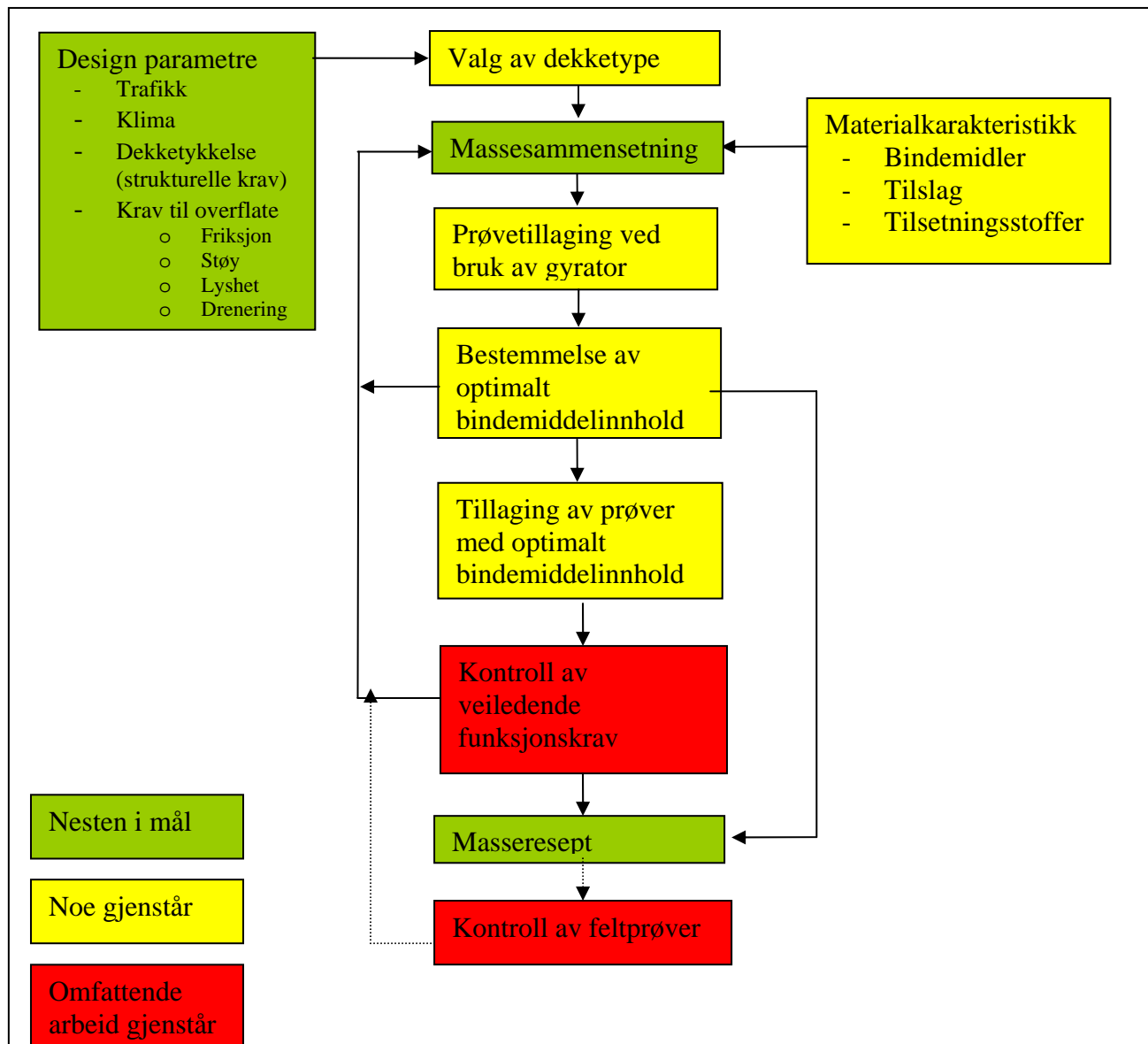
PROKAS hadde i utgangspunktet en hovedmålsetting om å komme fram til nye og forbedrede metoder for proporsjonering og kontroll av asfaltdekker. I prosjektet er det utført et omfattende utviklingsarbeid. Funksjonsegenskapene er satt i fokus, noe som er nødvendig i en tid med stadig utvikling av nye materialer og dekketyper. Nye testmetoder er tatt i bruk gjennom prosjektet og det er opparbeidet noe erfaringer med bruk av disse.

Følgende resultater kan framheves fra det arbeidet som er utført i PROKAS:

- Det er satt fokus på de funksjonelle egenskapene til et asfaltdekke.
- Det er laget et utkast til nytt system for valg av bindemidler.
- Nye metoder til testing av dynamisk stivhet (E-modul) og deformasjonsegenskaper (syklisk kryp) er tatt i bruk. Flere laboratorier i Norge har fått kalibrert sitt utstyr og det er høstet erfaringer i bruken av utstyret.
- Det er utviklet en metode for tillaging av prøver på gyrtor. Denne metoden er tatt inn i Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser (metode 14.5533). Asfaltmiljøet i Norge har også opparbeidet seg erfaringer i bruk av gyrtor.
- Ulike måter å måle densitet og hulrom i asfaltprøver er vurdert. Metode 14.5623 i Håndbok 014 er anbefalt til framtidig bruk.
- For bestemmelse av maksimal densitet anbefales metoden *Rice Density*. Denne viser bra samsvar med stålpyknometermetoden, er både rask og lett å utføre og krever ikke bruk av løsemidler.
- Det er høstet erfaringer med ulike prosedyrer og ulike typer isotopmålere ved kontroll av dekker i felt.
- Avinor har i samarbeid med ATI videreutviklet vegvesenets målebil ALFRED for kontroll i felt, og fått gode resultater. Følgende parametere er kontrollert; tekstur, separasjon, jevnhet og tverrfall. Avinor anbefaler at målemetoden tas i bruk av andre byggherrer og entreprenører for kontroll og dokumentasjon av utførte arbeider.

Det gjenstår imidlertid en del arbeid før et nytt proporsjoneringsystem kan erstatte Marshallmetoden.

I figur 33 er det forsøkt visualisert hvordan vi nå står i forhold til et nytt proporsjoneringsystem, basert på de erfaringer og resultater som er oppnådd i PROKAS.



Figur 32 Status i utviklingen av et nytt proporsjoneringsystem [26].

Figur 32 viser at det gjenstår noe arbeid før et nytt norsk system for volumetrisk proporsjonering er utviklet. Dersom man mener at volumetrisk proporsjonering er riktig veg å gå, bør det prioriteres å jobbe videre med dette. Det å kunne måle/forutsi funksjonsegenskapene til ulike dekker vil bli stadig viktigere. Her kan bare nevnes deformasjonsegenskaper på høytrafikkerte veier, friksjonsegenskaper mht trafikksikkerhet og generelt ønske om mer bestandige dekker. Det vil derfor være viktig (og nødvendig) å fastsette aktuelle funksjonskrav for ulike dekketyper (både for borprøver fra felt og lab-prøver).

På denne bakgrunn kan følgende framheves som viktige oppgaver framover:

- Verifisere og implementere nytt system for valg av bindemidler hvor det tas hensyn til trafikk og klimatiske forhold.
- Utvikle fullstendige prosedyrer for bruk av gyrator ved proporsjonering.
- Etablere kriterier for bestemmelse av optimalt bindemiddelinhold.
- Opparbeide mer erfaringer (både på felt- og lab-prøver) slik at krav kan settes til ulike funksjonsegenskaper (deformasjon, stivhet, friksjon, etc.).
- Utvikle "datablad" for ulike massetyper.

## 5 Referanser

- [1] Asphalt Institute, Superpave Series No. 2 (SP-2): *Superpave Level 1 Mix Design*.
- [2] Federal Highway Administration Office of Technology Applications Washington, DC/Asphalt Institute Research Center Lexington, KY: *Superpave Asphalt Mixture Design & Analysis*. 1994.
- [3] Austroads, AAPA, ARRB Transport Research: *Selection & design of asphalt mixes: Australian provisional guide*. APRG Report No. 18, 1998.
- [4] PROKAS Prosjektrapport nr. 1, *Ulike proporsjoneringsystemer - Statusrapport*, 1999. SINTEF Rapport STF22 A99452.
- [5] PROKAS Prosjektrapport nr. 12, *Valg av råmaterialer ved asfaltproporsjonering*, 2004. SINTEF Rapport STF22 A04343.
- [6] Statens vegvesen, Håndbok 018 *Vegbygging* 2004.
- [7] *Tilslag til vegbygging*. Tekst til veiledningshefte til Håndbok 018 Vegbygging om bruk av tilslag. Intern rapport 2355, Teknologiavdelingen/Vegdirektoratet 2004.
- [8] PROKAS Prosjektrapport nr. 2, *Ringanalyse I – Gyratorisk kompaktor*, 2000. Icopal.
- [9] PROKAS Prosjektrapport nr. 4, *Ringanalyse II – Gyratorisk kompaktor*, 2000. Icopal.
- [10] PROKAS Prosjektrapport nr. 6, *Hulromsfordeling i Gyratorprøver*, 2002. Lemminkäinen.
- [11] PROKAS Prosjektrapport nr. 13, *Bruk av gyratorisk kompaktor til volumetrisk proporsjonering*, 2004. ATI.
- [12] Statens vegvesen, Håndbok 014 *Laboratorieundersøkelser* 2004.
- [13] PROKAS Prosjektrapport nr. 7, *Deformasjon og stivhet, sammenligning av metoder*, 2002. SINTEF Rapport STF22 A02311.
- [14] PROKAS Prosjektrapport nr. 9, *Sammenligning av utstyr for bestemmelse av deformasjonsmotstand (syklisk kryp) og elastisk stivhet (E-modul)*, 2004. SINTEF Rapport STF22 A04322.
- [15] PROKAS Prosjektrapport nr. 10, *Undersøkelse av variasjoner i materialeegenskaper for asfaltdekker i felt*, 2004. SINTEF Rapport STF22 A04341.
- [16] PROKAS Prosjektrapport nr. 11, *Bindemiddelets betydning for deformasjons- og stivhetsegenskaper. Laboratorie-undersøkelser av Ab 11-masse på NAT*, 2004. SINTEF Rapport STF22 A04342.
- [17] NCC Industri, Rapport 96-2 asfalt, Nils Ulmgren: *Dynamisk kryptest, Ringanalyse*.
- [18] VTI meddelande 808-1998: *Styvhetmodul genom pressdragprovning, Jämförande provning*. Safwat F. Said och Leif Viman.
- [19] PROKAS Prosjektrapport nr 3; *Metode for måling av densitet og hulrom i laboratoriet og i felt*, 2000. SINTEF Rapport nr. STF22 A00458.
- [20] PROKAS Prosjektrapport nr. 5, *Bestandighet: Ringanalyse vedheft*, Vegteknisk avdeling, intern rapport nr 2198, 2001.
- [21] PROKAS Prosjektrapport nr. 8: *Vannfølsomhet med spaltestrekkmetoden og Cantabrotest. En undersøkelse av to steinmaterialer*. Teknologiavdelingen Vegdirektoratet, intern rapport nr 2335, 2003.
- [22] PROKAS Prosjektrapport nr. 14: *Undersøkelse av vannfølsomhet med Cantabrotest, Vendskakmetoden og Rulleflaskemetoden*. Teknologiavdelingen Vegdirektoratet, intern rapport nr 2367, 2004.
- [23] *Beständighet hos asfaltbeläggningar. State-of-the-art*. Nordisk Industrifond. Faglig sluttrapport – forprosjekt, prosjekt nr. 03014, 2004.
- [24] N. Ulmgren, *The influence of the mastic on the durability of asphalt pavements as studied by the shaking abrasion test*. 3<sup>rd</sup> Euroasphalt and Eurobitume Congress, Vienna 2004.
- [25] Avinor, *Funksjonskrav og kontroll av asfaltkontrakter for rullebaner. Bruk av ALFRED*. Notat 5:2003.

- [26] SINTEF Notat; *Nytt "mix-design-system". Hvor står vi og hvor går vi ?* Datert 13.10.2004.

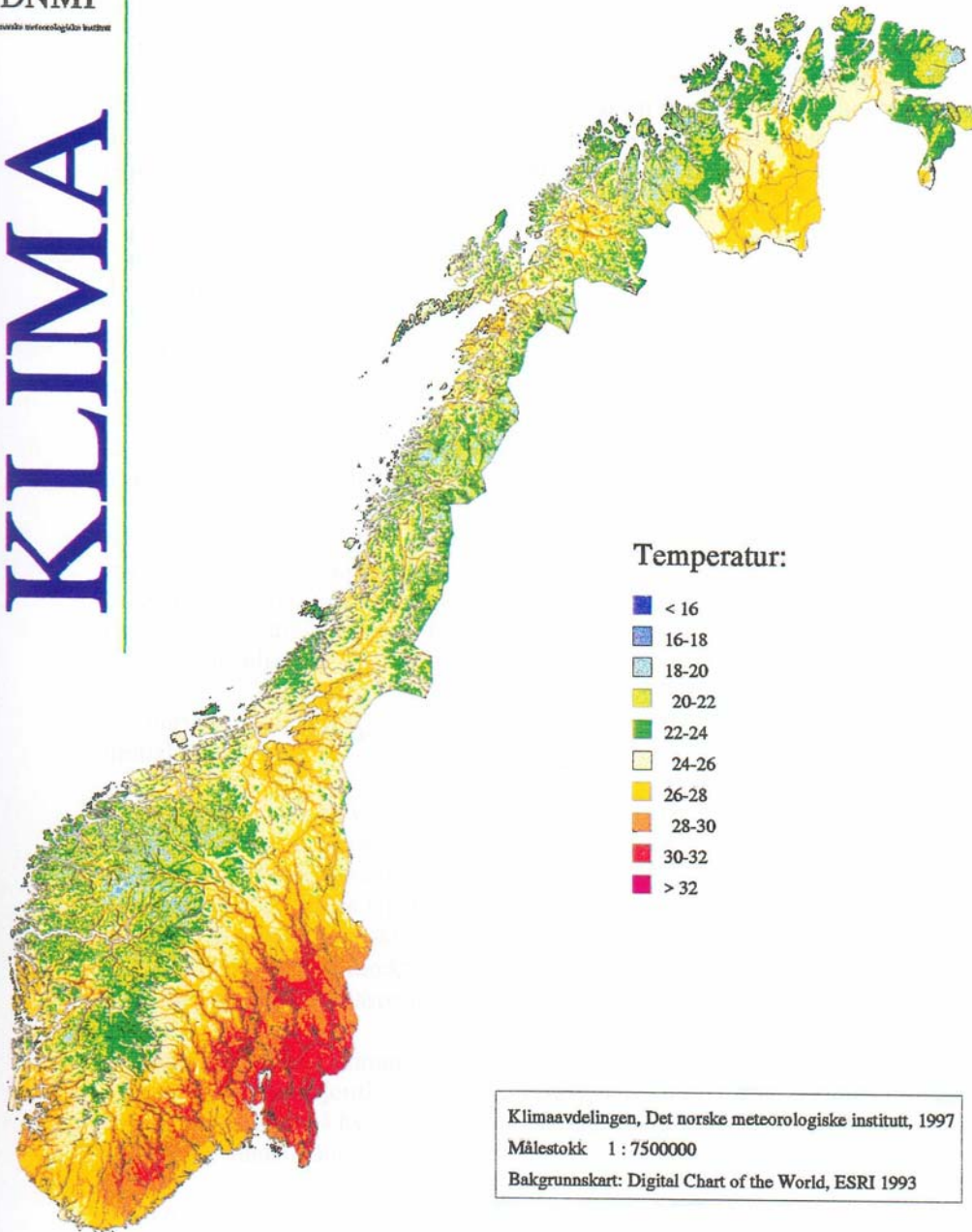


DNMI  
Det norske meteorologiske institutt

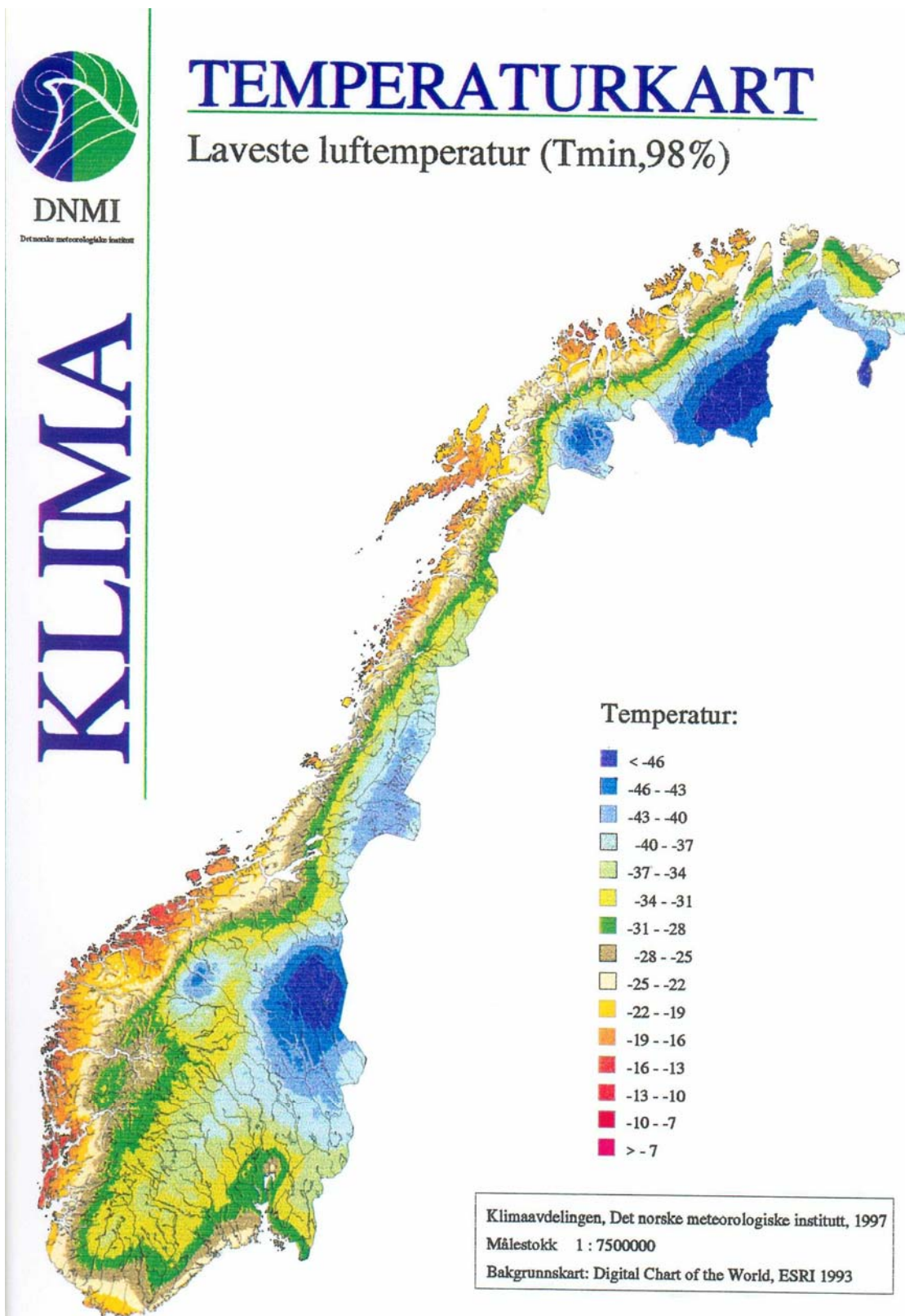
KLIMA

# TEMPERATURKART

Høyeste lufttemperatur (7 døgn, T<sub>max</sub>,98%)



Fordeling av høyeste lufttemperatur  $T_{maks}$  i ulike deler av Norge (midlere maksimal 7-døgns temperatur, 98 % sikkerhet).



Fordeling av laveste lufttemperatur T<sub>min</sub> i ulike deler av Norge (98 % sikkerhet).



**VEDLEGG 2****PROKAS Rapportoversikt**

- Prosjektrapport nr. 1: (SINTEF 1999)  
Ulike proporsjoneringsystemer – Statusrapport
- Prosjektrapport nr. 2: (Icopal 2000)  
Ringanalyse I – Gyratorisk kompaktor
- Prosjektrapport nr. 3: (SINTEF 2000)  
Metoder for måling av densitet og hulrom i laboratoriet og felt
- Prosjektrapport nr. 4: (Icopal 2000)  
Ringanalyse II – Gyratorisk kompaktor
- Prosjektrapport nr. 5: (Vegdirektoratet 2001)  
Bestandighet – Ringanalyse vedheft
- Prosjektrapport nr. 6: (Lemminkäinen 2002)  
Hulromsfordeling i Gyratorprøver
- Prosjektrapport nr. 7: (SINTEF 2002)  
Deformasjon og stivhet, sammenligning av metoder
- Prosjektrapport nr. 8: (Vegdirektoratet 2003)  
Vannfølsomhet med spaltestrekkmetoden og Cantabro-test. En undersøkelse av to steinmaterialer
- Prosjektrapport nr. 9: (SINTEF 2004)  
Sammenligning av utstyr for bestemmelse av deformasjonsmotstand (syklisk kryp) og elastisk stivhet (E-modul)
- Prosjektrapport nr. 10: (SINTEF 2004)  
Undersøkelse av variasjoner i materialegenskaper for asfaltdekker i felt
- Prosjektrapport nr. 11: (SINTEF 2004)  
Bindemiddelets betydning for deformasjons- og stivhetsegenskaper.  
Laboratorie-undersøkelser av Ab 11-masse på NAT
- Prosjektrapport nr 12: (SINTEF 2004)  
Valg av råmaterialer ved asfaltproporsjonering
- Prosjektrapport nr 13: (ATI 2004)  
Bruk av gyratorisk kompaktor til volumetrisk proporsjonering
- Prosjektrapport nr 14: (Vegdirektoratet 2004)  
Prøving av vannfølsomhet til asfalt med Cantabrotest, Vendskakmetode og Rulleflaskemetode
- Prosjektrapport nr 15: (SINTEF 2004)  
Sluttrapport