

Intern rapport nr. 1403

Grusmaterialers
vannømfintlighet
Hovedfagsoppgave for U10

April 1989

Veglaboratoriet

Intern rapport

nr. 1403

Gruppe: C

GRUSMATERIALERS VANNØMFINTLIGHET

HOVEDFAGSOPPGAVE FOR UIO

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 6390 Etterstad, Oslo 6 Tlf. (02) 63 99 00



Veglaboratoriets Interne rapporter omfatter utredninger, forskningsresultater, studiebesøk, forslag til retningslinjer, foredrag og kùrskompendier.

Rapportene er delt i to grupper:

- B: For bruk innen Statens vegvesen
- C: For fri distribusjon

Innholdet eller deler av det må ikke publiseres videre uten tillatelse fra Veglaboratoriet.

prosjekt/oppdrag:

seksjon: 48 - Bærelag

saksbehandler: Christine Hauck

/JFB

dato: April 1989

111	A	Rapportstatus*) N	seksjon/fylke 48	Prosjekt	Gruppe: C	nr. 1403
-----	---	----------------------	---------------------	----------	--------------	-------------

1 2 3 4 5 121 131 141 151 161 171

TITTEL	212	A	Grusmaterialers vannømfintlighet. Hovedfagsoppgave for UiO			
--------	-----	---	--	--	--	--

SAKS-BEHANDLER	221	A	Navn Christine Hauck	Institusjon Veglaboratoriet
	B			
	C			

RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) FoU	Dato April 1989	Erstatter rapport nr:	
	B		Totalt sidetall 106		Språk Norsk	
	C		Antall fotos 14	Ant. figurer 48	Ant. tabeller 11	Ant. litt.henv. 38
	D		Sammendrag i andre språk			

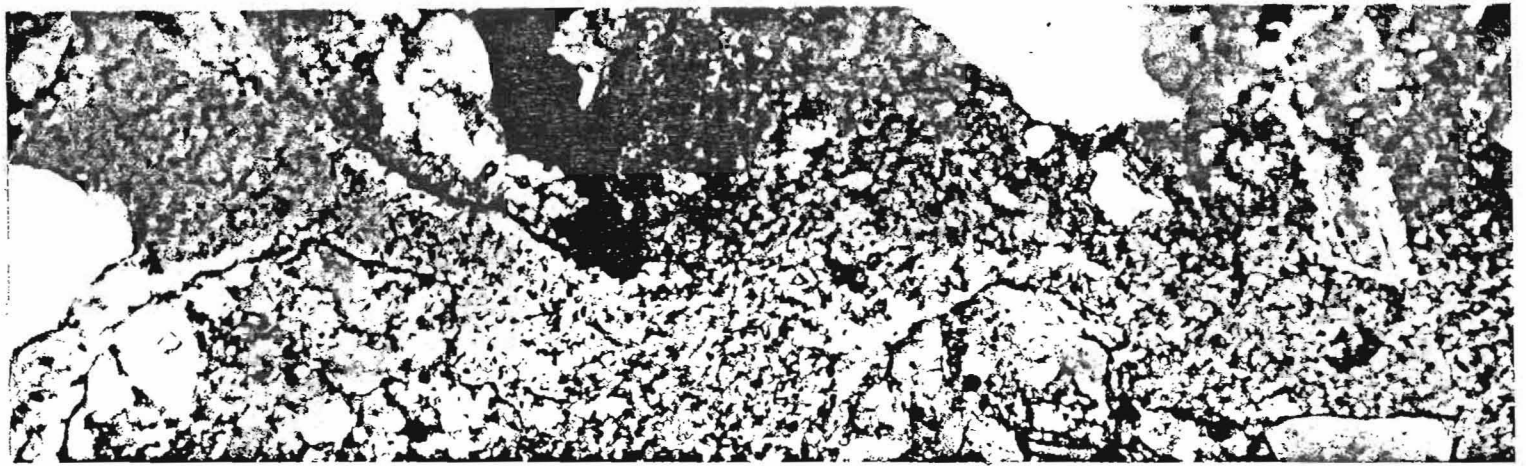
SAMMENDRAG	511	A	<p>Vegvesenets normaler sier at grusmaterialene i en vegoverbygning ikke skal være telefarlige, dvs. at andelen av finstoff/finmateriale under 0,020 mm ikke skal være høyere enn 3 %. Telefarlighetskriteriet er trolig for strengt for de fleste slitesterke bergarter i Norge, og det burde heller legges mer vekt på bergartenes petrografi enn kun grusmaterialers finstoffinnhold.</p> <p>I denne oppgaven er det utført følgende undersøkelser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Undersøkelse av grus- og finmaterialets materialegenskaper - Forsøk med deformasjoner i et bærelagsmateriale forårsaket av vibrerende last - Studium av kornskjelettstruktur på tynnslip. <p>Resultatet av undersøkelsene er at dersom en ønsker å ta vare på grusmaterialers vannømfintlighet bør en benytte gjennomgangen på 0,075 mm (av materiale <19 mm).</p> <p>Grusmaterialer uten skiferbergarter eller plastisk finstoff kan inneholde opptil 9 % finstoff <0,075 mm, uten at det skjer deformasjoner i bærelagsmaterialet.</p>			
------------	-----	---	---	--	--	--

FAG-OMR.	611	A	Steinmaterialer	IRRD kode 36
	B			
	C			

NØKKELOD	621	A	Grus	4575
	B		Følsomhet	5928
	C		Vann	4355
	D		Bærelag	2961
	E		Vegoverbygning	2955
	F		Frost	2585
	G			
	H			

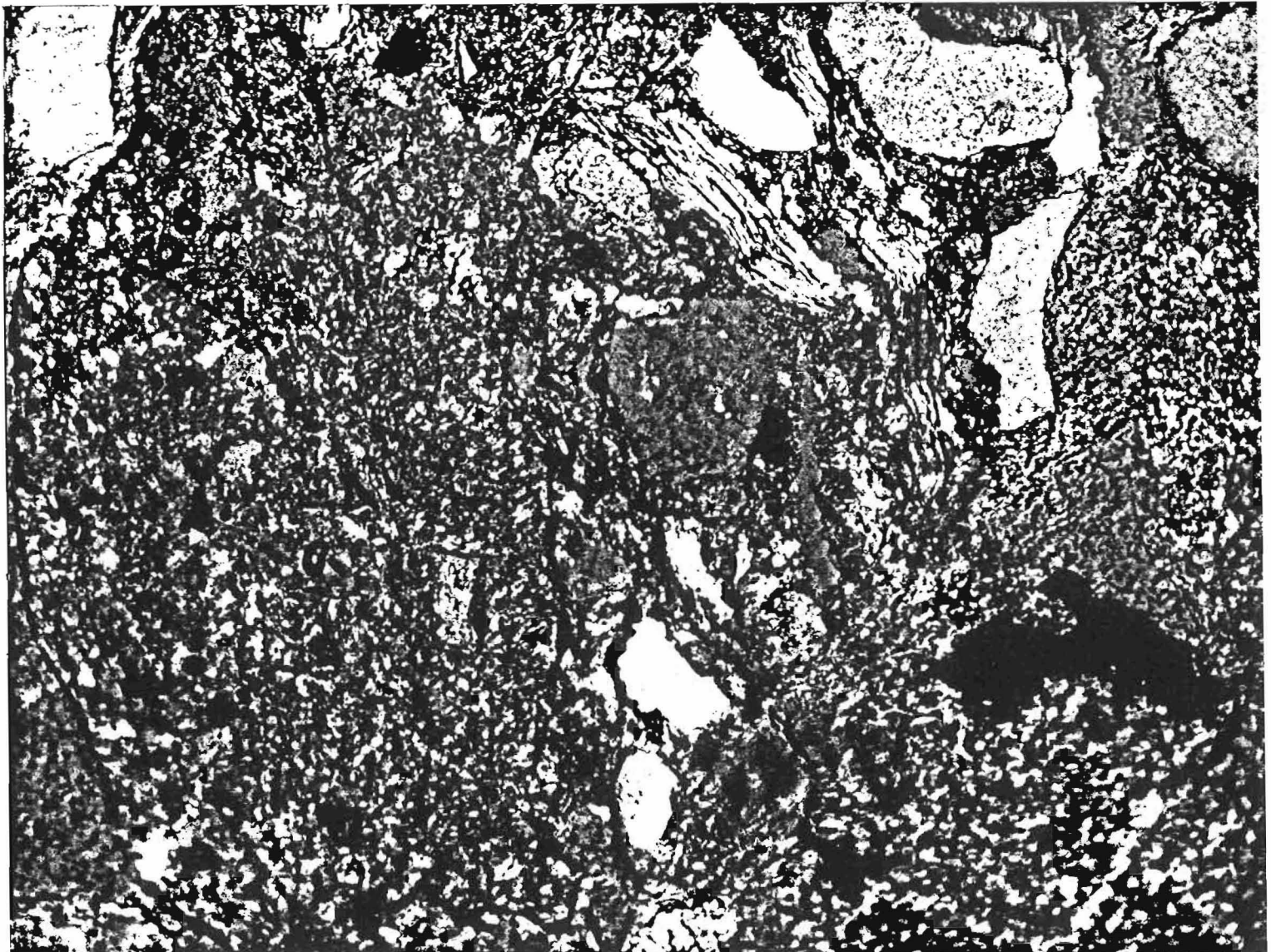
*) 111A: N = ny O = oppdatert
 **) 421A: FoU = forskning og utvikling K = konferansebidrag A = artikkel F = forskrifter/normaler O = oppdrag

11-86



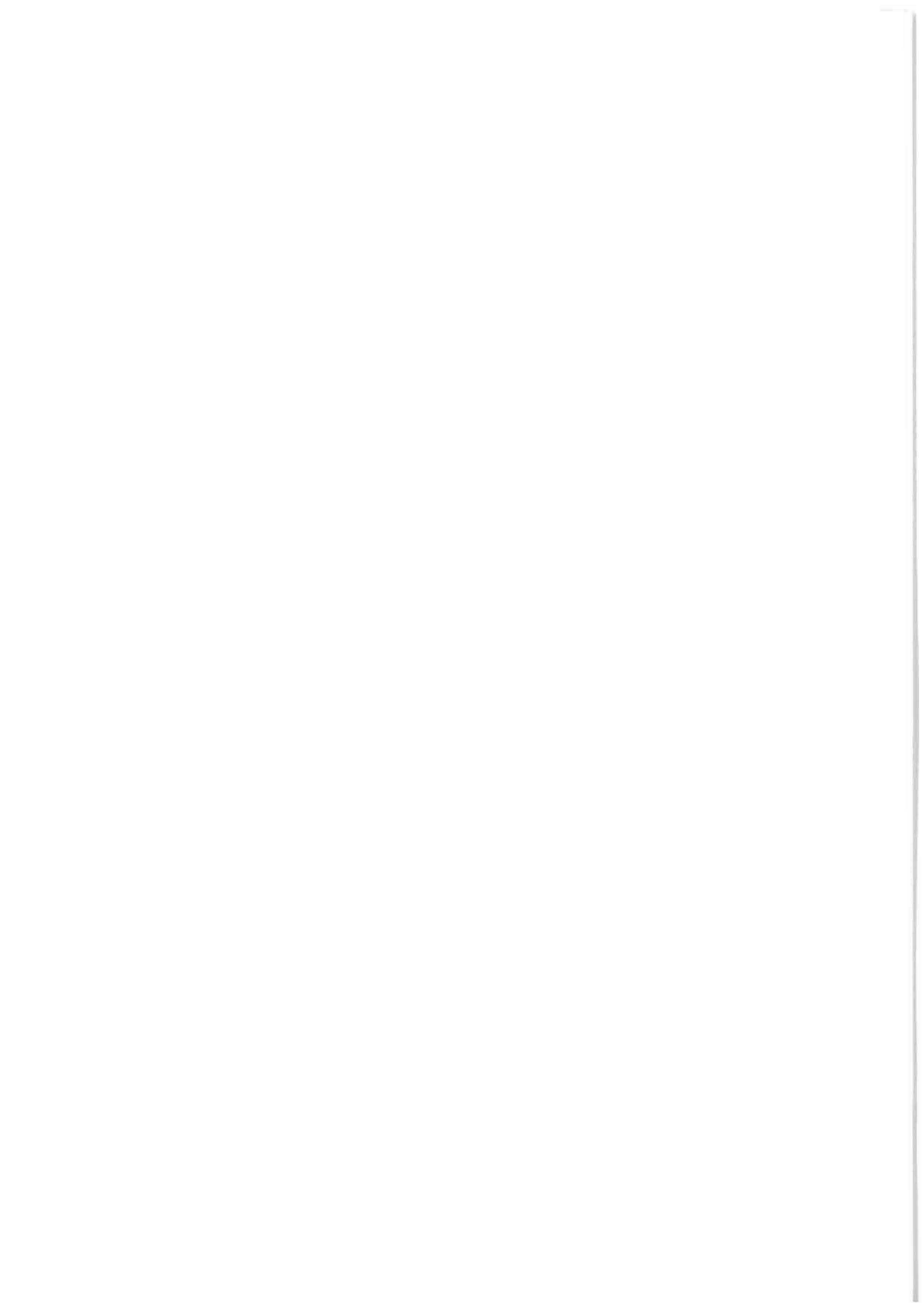
Grusmaterialers vannømfintlighet

Cand. scient. oppgave v/Institutt for Geologi,
Universitetet i Oslo



Desember 1988

CHRISTINE HAUCK



F O R O R D

Dette er en hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo under tilsyn av studieretningskoordinator Elen Roaldset og dir. Kaare Høeg (Norges Geotekniske Institutt), som ble utført ved Statens vegvesen, Veglaboratoriet under veiledning av seksjonsleder o.ing. Geir Refsdal.

Hovedfagsoppgaven ble påbegynt med et 6 måneders studieopphold ved Christian-Albrechts-Universitet i Kiel i Vest-Tyskland, hvor jeg bl.a. utarbeidet teknikken for stabilisering av grusprøver med epoksy. Dette tillater fremstilling av tynnslip for kornskjeléttundersøkelser på en måte som tidligere ikke var mulig.

En invitasjon til Statens Veglaboratorium i Roskilde, Danmark, sommeren 1988, var til stor nytte i forbindelse med tynnsliptolkning og bruk av ultrafiolett lys ved mikroskopering . I den forbindelse vil jeg takke Universitetet i Kiel og Statens Veglaboratorium for deres bistand.

Spesielt vil jeg takke o.ing. Geir Refsdal for hans faglige veiledning under hovedfagsarbeidet, og underdirektør T. Thurmann-Moe v/Veglaboratoriet som har stilt kontorplass og alle hjelpemidler til min disposisjon.

Jeg vil også takke alle som har vært til hjelp ved laboratoriearbeidet, som har ytet veiledning i ulike faser av arbeidet og som ellers har gitt impulser til oppgaven. Ikke minst er jeg takknemlig for den hjelp medarbeiderne i Veglaboratoriets sekretariat, bibliotek og Bærelagsseksjon har ytet, samt mine medstudenter som har bidratt med en kritisk diskusjon av resultatene.

Oslo, Desember 1988

Christine Hauck

S A M M E N D R A G

Statens vegvesens normaler for vegbygging sier at grusmaterialene i en vegoverbygning ikke skal være telefarlige, dvs. at andelen av finstoff/finmateriale under 0,020 mm ikke skal være høyere enn 3 %. Statens vegvesens telefarlighetskriterium er antagelig alt for strengt for de fleste slitesterke bergarter i Norge, og det burde heller legges noe mere vekt på bergartenes petrografi enn kun grusmaterialenes finstoffinnhold.

Vegvesenet har vurdert å innføre begrepet vannømfintlighet i vegnormalene til erstatning for telefarlighet i forbindelse med grusmaterialer som skal brukes i vegoverbygningen. Dette forutsetter imidlertid at man får bedre kunnskap om hvilke faktorer som innvirker på denne egenskapen.

Sammenhengen mellom grus- og finmaterialets egenskaper, poretrykkoppbygning, deformasjon under belastning og grusmaterialets kornskjelettstruktur er vesentlig for å kunne vurdere bærelagets stabilitet i teleløsningen.

I denne oppgaven er det utført følgende undersøkelser:

- Undersøkelse av grus- og finmaterialets materialeegenskaper
- Forsøk med deformasjoner i et bærelagsmaterial forårsaket av vibrerende last
- Studium av kornskjelettstruktur på tynnslip

Grusmaterialets vannømfintlighet bør klassifiseres på grunnlag av materialenes kornfordeling, der gjennomgang tilsvarende korndiameter på 0,075 mm av materialet <19 mm er utslagsgivende. Prosentandel materiale <0,020 mm kan variere mellom 50 og 90 % av materiale <0,075 mm, uten at det har noe innvirkning på grusmaterialets stabilitet. En slik klassifisering gjør også undersøkelsen vesentlig enklere og mindre tidkrevende, fordi bruk av hydrometeranalyse til kornkurvebestemmelse bortfaller.

Grusmaterialer uten skiferbergarter eller plastisk finstoff kan inneholde opptil 9 % finstoff <0,075 mm uten at det skjer deformasjoner i bærelagsmaterialet. Et leirrikt finstoff eller et høyt innhold av glimmermineraler i siltfraksjonen kan føre til oppbygning av poreovertrykk og reduksjon av grusmaterialets stabilitet. Mengde finstoff <0,075 mm bør derfor ikke overskride 7 % .

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

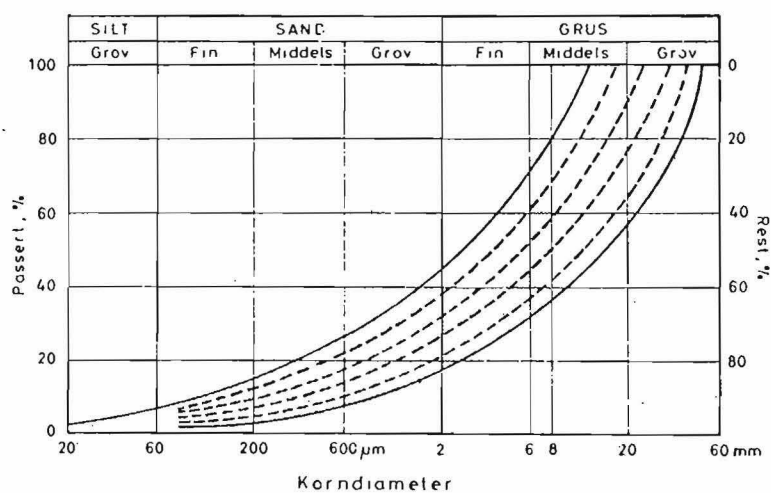
FORORD	I
SAMMENDRAG	II
INNHALDSFORTEGNELSE	III
1. INNLEDNING.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Oppgavens mål.....	2
1.3 Belastninger og spenningsfordeling i en vegoverbygning.....	3
1.4 Styrkeegenskaper til grusmaterialer. Resultater fra en litteraturundersøkelse.....	5
1.4.1 Elastisitetsmodul (E-modul).....	5
1.4.2 California Bearing Ratio (CBR).....	6
1.4.3 Kornfordeling.....	6
1.4.4 Petrografi/mineralogi.....	9
1.4.5 Plastisitetsindeks og kornstørrelse.....	9
1.5 Vurdering og valg av forsøksmetoder.....	10
1.6 Valg av forsøksmaterialer.....	12
1.6.1 Hovinmoen grustak, Ullensaker kommune i Akershus.....	13
1.6.2 Hjera grustak, Eidsvoll kommune i Akershus.....	14
1.6.3 Glomstad grustak, Gjøvik kommune i Oppland.....	15
1.6.4 Kjellerholen, Skedsmo kommune i Akershus.....	16
2. GLASIFLUVIALE ISRANDAVSETNINGER I AKERSHUS.....	17
2.1 Isavsmeltningsforløpet på Romerike.....	17
2.2 Hauer seter sandur.....	18
2.2.1 Beskrivelse av avsetningen.....	18
2.2.2 Løsmasse- og berggrunnsbeskrivelse.....	21
3. GRUS- OG FINMATERIALETS EGENSKAPER.....	25
3.1 Beskrivelse av undersøkelsesmetoder.....	25
3.1.1 Analysene for jordartsklassifisering.....	25
3.1.2 Flyte- og utrullingsgrense.....	26
3.1.3 Petrografisk/mineralogisk undersøkelse.....	27
3.1.4 Røntgendiffraktometri (XRD).....	27
3.1.5 Sveipe-elektronmikroskopi (SEM).....	30
3.2 Resultater.....	30
3.2.1 Jordartsklassifisering.....	30
3.2.2 Beregning av plastisitetsindeks.....	34
3.2.3 Petrografisk/mineralogisk beskrivelse.....	34
3.2.4 Røntgendiffraktometri (XRD).....	35
3.2.5 Sveipe-elektronmikroskopi (SEM).....	39
3.3 Diskusjon.....	43

4. FORSØK MED VIBRERENDE BELASTNING.....	45
4.1 Metodebeskrivelse.....	46
4.2 Resultater.....	46
4.2.1 Hovinmoen grusprøver med finstoff fra Hovinmoen.....	47
4.2.2 Hovinmoen grusprøver med finstoff fra Glomstad.....	48
4.2.3 Hovinmoen grusprøver med finstoff fra Kjellerholen.....	49
4.3 Diskusjon.....	50
4.3.1 Forsøksmetoden.....	50
4.3.2 Optimalt vanninnhold og komprimering.....	50
4.3.3 Deformasjonsforløp og poreovertrykk.....	51
5. UNDERSØKELSE AV KORNSKJELETTSTRUKTUREN FOR GRUSPRØVER.....	53
5.1 Metodebeskrivelse for stabilisering av grusprøver.....	53
5.1.1 Stabilisering av grusprøver med polyetylenglykol.....	54
5.1.2 Stabilisering av grusprøver med epoksy Bir-1 og XW 396/397.....	55
5.2 Resultater.....	57
5.2.1 Stabilisering av grusprøver med polyetylenglykol.....	57
5.2.2 Stabilisering av grusprøver med epoksy Bir-1 og XW 396/397.....	57
5.2.3 Tolking av tynnslipmikroskopering under Ultrafiolet- og polarisert lys.....	58
5.2.4 Beskrivelse av tynnslip med grus og finstoff fra Hovinmoen.....	59
5.2.5 Beskrivelse av tynnslip med grus fra Hovinmoen og finstoff fra Hjera.....	63
5.3 Diskusjon.....	69
6. SAMLET VURDERING OG DISKUSJON AV DET GJELDENDE TELEFARLIGHETS- KRITERIUM.....	71
6.1 Statens vegvesens telefarlighetskriterium.....	71
6.2 Materialeegenskapenes innvirkning på grusmaterialalets stabilitet.....	71
6.2.1 Andel finstoff <0,020mm og <0,075 mm.....	71
6.2.2 Kornform og plastisitet.....	72
6.2.3 Petrografi/mineralogi.....	72
6.3 Sammenheng mellom materialeegenskapene, kornskjelett og grusmaterialenes stabilitet.....	73
7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER TIL VIDERE ARBEID.....	75
7.1 Konklusjon.....	75
7.2 Anbefalinger til videre arbeid.....	75
LITTERATURLISTE.....	76
FIGURER.....	80
TABELLER.....	84
SYMBOLER.....	85
ORDLISTE.....	86
Vedlegg	

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

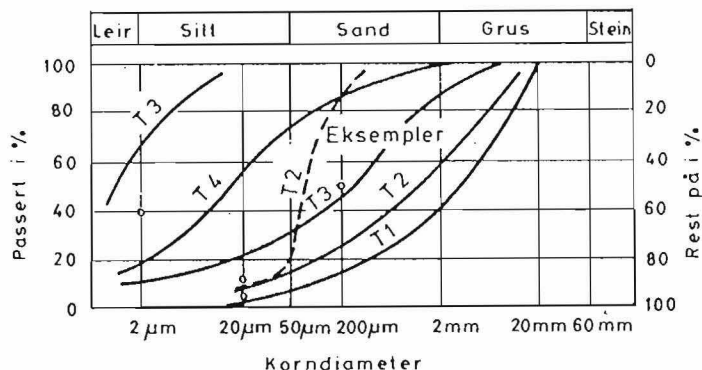
Vegvesenets normaler for vegbygging (Statens vegvesen, 1981) sier at grusmaterialer som brukes i en vegoverbygging ikke skal være telefarlige, dvs. at andelen av finstoff under 0,020 mm i forsterknings- og bærelagsmaterialer (figur 1) ikke skal være høyere enn 3 % (figur 2). Bak kravet til telefarlighet ligger et ønske om at materialet ikke skal kunne trekke opp vann kapillært og miste sin stabilitet pga. vannoverskudd, når det utsettes for belastning (Statens vegvesen, 1981).



Figur 1: Krav til korngradering for bærelag av velgraderte materialer (Statens vegvesen, 1981)

Telegruppe	Av materiale ≤ 19 mm		
	Materiale, masse - %		
	$< 2 \mu\text{m}$	$< 20 \mu\text{m}$	$< 200 \mu\text{m}$
Ikke telefarlig T1		< 3	
Litt telefarlig T2		3-12	
Middels telefarlig T3	*	> 12	< 50
Meget telefarlig T4	< 40	> 12	> 50

* Jordarter med mer enn 40% $< 2 \mu\text{m}$ regnes som middels telefarlig T3.



Figur 2: Telefarlighetsklassifisering (Statens vegvesen, 1981)

I en vegoverbygning vil frostnedtrengningen, særlig i bærelaget og i den øvre delen av forsterkningslaget, normalt skje så fort at kapillært opptrekk av vann i noe omfang ikke er mulig. I teleløsningsperioden vil imidlertid dreneringsforholdene ofte være problematiske, og et bærelag vil kunne få overskudd av vann ved tilførsel fra sidene, og evt. gjennom vegdekket.

For grusmaterialer i vegoverbygningen bør det derfor settes et krav til vannømfintlighet i stedet for til telefarlighet. Særlig gjelder dette bærelaget, der lastpåkjenningene er størst. Det er sannsynlig at et telefarlig materiale også til en viss grad vil være vannømfintlig, men det kan være forbindelser her som ikke nødvendigvis har sammenheng med finstoffinnhold $<0,020$ mm.

Vegvesenet har vurdert å innføre begrepet vannømfintlighet i vegnormalene til erstatning for telefarlighet i forbindelse med grusmaterialer som skal brukes i vegoverbygningen. Dette forutsetter imidlertid at man får bedre kunnskap om hvilke faktorer som innvirker på denne egenskapen. Hverken i Norge eller i utlandet er det utført forskningsarbeider på dette området av noe omfang, idet de fleste land benytter seg av telefarlighetskriteriet i forbindelse med krav til grusmaterialer i vegoverbygningen.

1.2 Oppgavens mål

På bakgrunn av litteraturundersøkelser og egne laboratorieforsøk skal muligheten for å komme lenger i en vurdering av et materiales vannømfintlighet undersøkes. Målet er å finne noen enkle, målbare parametre som både er lette å bestemme og som kan definere overgangen der et grusmateriale begynner å bli vannømfintlig.

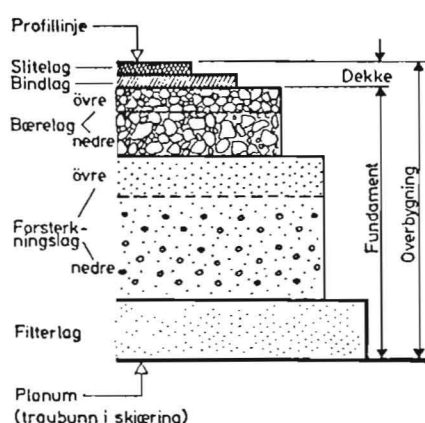
De målbare parametrene som skal undersøkes er:

- kornfordeling og finstoffinnhold $<0,020$ mm
- graderingstall
- petrologi og mineralogi
- plastisitet
- kornform

Det er særlig viktig å studere forhold som antas å ha innvirkning på mulighetene for oppbygning av poreovertrykk i et grusbærelag.

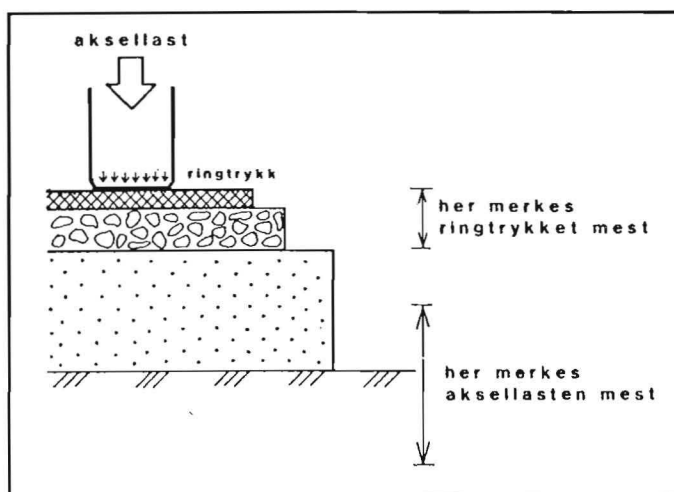
1.3 Belastninger og spenningsfordeling i en vegoverbygning

Overbygningen (figur 3) skal fordele trafikbelastningene, slik at ikke undergrunnen overbelastes. Overbygningen dimensjoneres normalt for å sikre bæreevnen i den mest kritiske perioden, vanligvis teleløsningen (Statens vegvesen, 1981). Når 20-30 cm av overbygningen er tint på vårparten vil bærelaget ofte bli stående vannmettet, enten fordi vann trenger ned i bærelaget gjennom sprekker i asfalten eller fordi vann renner inn fra sidegrøfter som ikke virker. Vannet i bærelaget har vanskeligheter med å slippe raskt nok unna så lenge massene under er frosset.



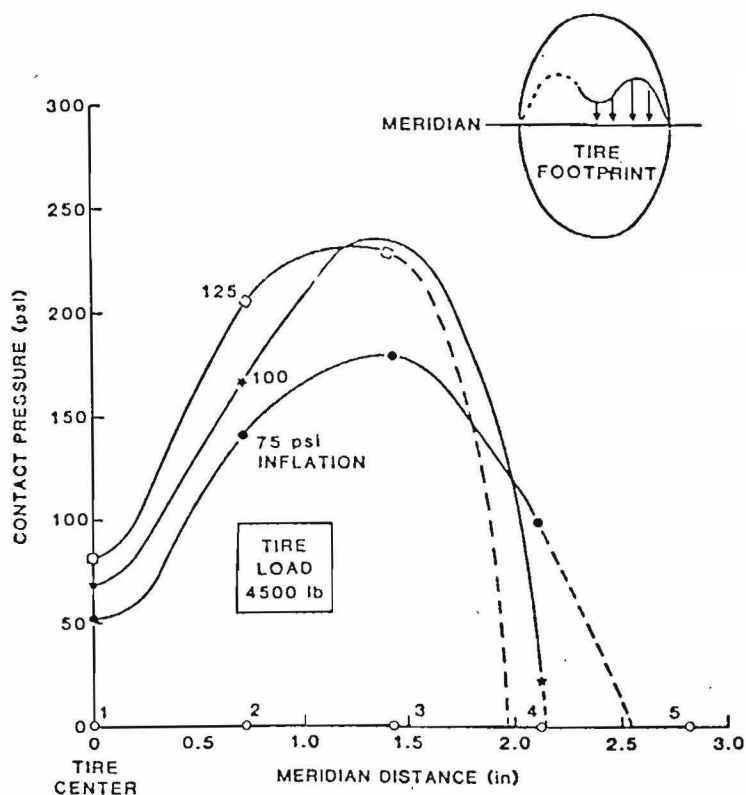
Figur 3: Overbygning med asfaltdekke (Statens vegvesen, 1981)

Et slikt vannmettet grusbærelag kan få bæreevnen (effektivspenningene) redusert betydelig dersom det settes opp poreovertrykk i grusen som følge av kontaktrykket mellom bildekk og vegbane når et bilhjul passerer (figur 4). Erfaringen tilsier at dersom grusen inneholder mye finstoff, kan det ta lang tid å få utlignet og redusert poretrykket (Refsdal, 1987).



Figur 4: Fordeling av ringtrykk og aksellast i vegens over- og underbygning

Ved beregning av dimensjonerende trafikkbelastning brukes årsgjennomsnittlig trafikkbetlastning av tunge kjøretøyer (ADT-T), dvs. kjøretøyer med totalvekt $\geq 3,5$ t (Statens vegvesen, 1981). Roberts (1985) beskriver virkningen av ringtrykket fra tunge kjøretøyer på fleksible vegdekker. For en frittrullende gitt dekktype er kontakttrykket mot vegdekket bestemt av ringtrykk og aksellast. En forandring i aksellasten fører til en forandring i dekkets form og kontaktflatens størrelse, med ubetydelig variasjon i ringtrykket (figur 5). Økes derimot ringtrykket ved konstant aksellast, reduseres kontaktflatens størrelse betraktelig (Roberts et al., 1985).



Figur 5: Innvirkning av ringtrykk på kontakttrykk (utregnet for 10.00 x 20.00 lastebilhjul) (Roberts, 1985)

Så lenge undergrunnen er frossen, er det ringtrykket som er avgjørende for vegens nedbrytning.

Norge er i dag et av de få land som opererer med bestemmelser om maksimalt tillatt ringtrykk (9 kg/cm^2). Vanlige ringtrykk på tunge kjøretøyer er i dag $7\text{--}9 \text{ kg/cm}^2$ ($100\text{--}128 \text{ psi}$). I 1979 ble tillatt ringtrykk øket fra $6,5$ til 7 kg/cm^2 . I USA er det allerede registrert ringtrykk på 14 kg/cm^2 (Refsdal, 1987).

1.4 Styrkeegenskaper til grusmaterialer. Resultater fra en litteraturundersøkelse

Litteraturstudier om innvirkning av grusmaterialets egenskaper på vegens bæreevne i telegøsningen (Hauck, 1986 og Chamberlain, 1981), har vist at de fleste laboratorieundersøkelser gjort på dette området er statiske forsøk, for å vurdere den relative styrke mellom forskjellige grusmaterialer (f.eks. E-modul og CBR-forsøk).

Ifølge Sandven (1981) er resultater fra statiske forsøk ikke representative for den styrken materialet vil ha i vegkroppen, der man vil ha dynamiske effekter i tillegg. All trafikkbelastning er i virkeligheten dynamisk og fører til utmatning, knusing, etterkomprimering, pumping og strukturendringer i bærelaget. Noen få forskere har undersøkt innvirkning av dynamisk belastning på grusmaterialers styrkeegenskaper (f.eks. E-modul ved gjentatt belastning, treaksialforsøk), og påvist stor forskjell mellom statisk og dynamisk bruddtøyning. Forsøkene viste at elastisk tøyning ved brudd, som følge av dynamisk belastning, var langt mindre enn tilsvarende bruddtøyning ved statisk belastning (Sandven, 1981). Aktuelle referanser i denne sammenheng er Chan & Seed (1961) og Alkire & Morrison (1981).

Kornfordeling, mineralogi, plastisitetindeks og kornstørrelse innvirker på grusmaterialets styrkeegenskaper og er blitt inngående undersøkt av bl.a. Esch & Mc Hattie, Yoder & Woods, Chamberlain og Makdisi-Ilyas (se litteraturliste).

1.4.1 Elastisitetsmodul (E-modul)

Elastisitetsmodulen er forholdet mellom belastning og tilhørende elastisk deformasjon i et materiale.

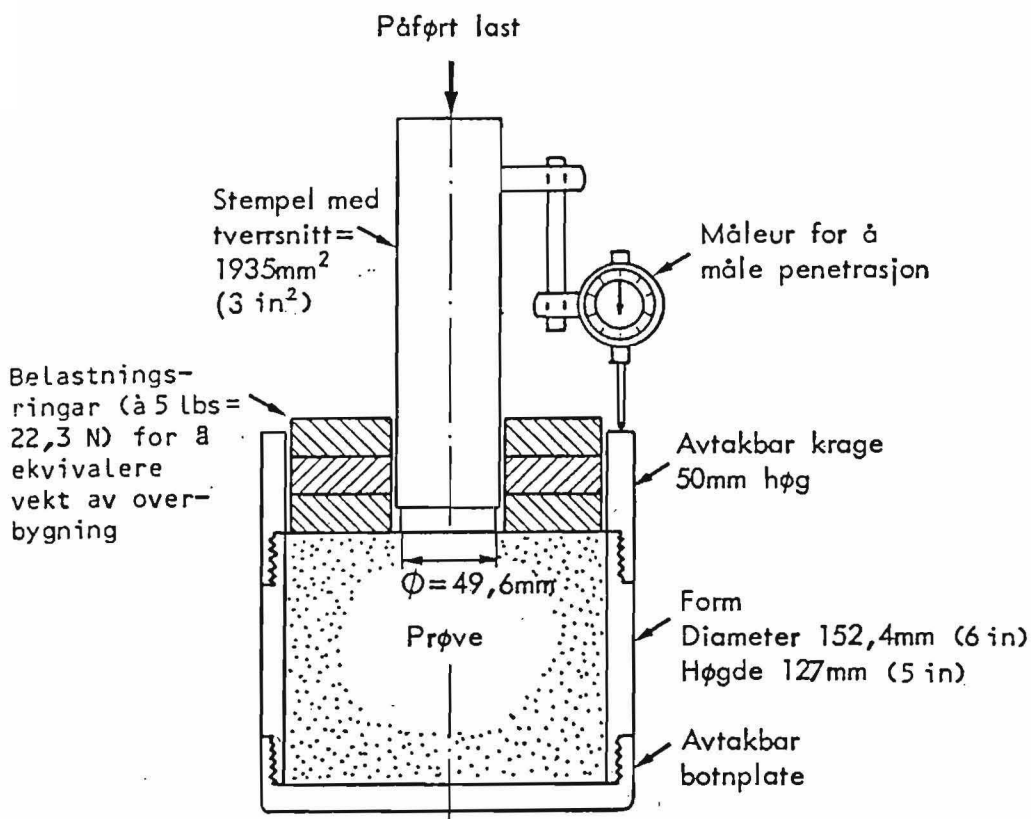
E-modulen er svært avhengig av horisontalspenningen, som i praksis varierer med bærelagets komprimeringsgrad og eventuell mangel på sidestøtte mot grøften. Dette gjelder særlig i den øvre del av bærelaget, ifølge Kalcheff (Höboda 1985).

Ifølge Höboda & Bunsow gir den mineralogiske sammensetning av et grusmateriale lite utslag i E-modulen. Höboda og Bunsow viste i 1973 at bærelagsgrus fremstilt av forvitrede bergarter fra en forkastningsone, eller av leirholdig kalkstein, kan ha høy E-modul ved lave vannmetningsgrader som følge av kohesjonskreftene i leiren (Höboda 1985).

Chamberlain og Fynboe har utført treaksialforsøk under gjentatt belastning. Ifølge Chamberlain (1978) kan E-modulen etter tining uttrykkes som funksjon av forandringen i vanninnhold under konsolidering. En økning i deviatorspenning gir en reduksjon i E-modul, mens en økning i konsolideringsspenning og tørrdensitet fører til en økning i E-modulen. I likhet med Fynboe (1982) viste Chamberlains undersøkelser (1978) at vanninnholdet er den faktor som gir størst utslag mht. E-modulen. Modulen øker med en faktor på 7-8 når vanninnholdet avtar fra 40 til 32 %. Ifølge Fynboe (1982) har oppfukning fra optimalt vanninnhold liten betydning for E-modulen. Ved uttørking av prøvene økte imidlertid E-modulen betraktelig. Likeledes vil lavere romvekt også føre til en lavere E-modul. Fynboe har også vist at E-modulen ved optimalt vanninnhold er lik for alle grusprøver, på tross av økning i plastisk deformasjon pga. av finstoffinnhold.

1.4.2 California Bearing Ratio (CBR)

CBR-metoden (figur 6) er en semiempirisk metode for dimensjonering av overbygning med fleksibelt dekke på vegger og flyplasser. Metoden bygger på et enkelt belastningsforsøk, som hovedsakelig måler skjærstyrken for materialet i grunnen (Nordal, 1987).



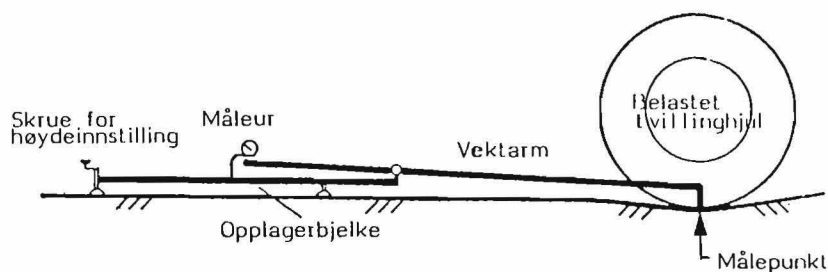
Figur 6: Apparat for CBR-forsøk (Nordal, 1987)

En undersøkelse foretatt av Sogn og Fjordane vegkontor (1987) i samarbeid med SINTEF og Veglaboratoriet viste at det er dårlig sammenheng mellom målt CBR-verdi for vannlagrede prøver i laboratoriet og dekketilstanden på vegen. Gaskin (1981) fikk like CBR-verdier for både vannlagrede prøver og prøver med optimalt vanninnhold. Normalt regner man med lavere CBR-verdier for vannlagrede prøver. Vannmetningsproblemer og målefeil er nok de største feilkildene. Ifølge Sandven (1981) er det vanskelig å måle den reelle CBR-verdi som et materiale får i en kritisk teleløsningsperiode, og derfor passer CBR-metoden stort sett ikke for dimensjonering av veger der det kan oppstå teleproblemer på vegnettet.

1.4.3 Kornfordeling

Klassifiseringsmetoder basert på kornstørrelse er den mest benyttede undersøkelsesmetode for å fastslå om en jordart er telefarlig. Mest brukt er Casagrandes kriterium som begrenser finstoffinnholdet $<0,020$ mm i velgraderte bære- og forsterkningslagsmaterialer til maksimalt 3 %. Slike materialer er ikke telefarlige ifølge Casagrande. Bestemmelsen av mengde finstoff $<0,020$ mm foretas ved hydrometeranalyse.

Esch & Mc Hattie (1983) foretok nedbøyningsmålinger med Benkelmanbjelke (figur 7) på 120 vegseksjoner i Alaska i 1980, og fant at andelen av finmateriale $<0,075$ mm i bære- og forsterkningslag var av størst betydning med hensyn til stabilitetsegenskaper i teleløsningen. Nyere undersøkelser foretatt i Alaska (Braley, 1988) har gitt det samme resultat.



Figur 7: Prinsipp for Benkelmanbjelke (Statens vegvesen, 1982)

Brandl foreslo i 1980 en metode til å unngå hydrometeranalyse. Denne går ut på å finne sammenhengen mellom prosentandel finmateriale $<0,06$ mm og $<0,02$ mm for en bestemt jordart (Chamberlain, 1981). Mengde materiale $<0,02$ mm kan derved bestemmes ut fra mengde materiale $<0,06$ mm, som igjen er beregnet ved sikteanalyse. Esch & Mc Hattie (1983) undersøkte bærelagsmateriale på 120 vegseksjoner i Alaska og fant et gjennomsnittlig finstoffforhold $<0,020$ mm/ $<0,075$ mm på 0,6 for alle prøver. Eirum (1973) sammenlignet en del norske grusforekomster og fant en viss sammenheng med mengde finstoff $<0,075$ mm og $<0,020$ mm. I

gjennomsnitt var 50 % av materialet $<0,075$ mm også finere enn 0,020 mm. Hauck undersøkte i 1988 ca. 160 grusprøver fra til sammen 12 fylker i Norge. Finstoffforholdet $<0,020$ mm/ $<0,075$ mm var i gjennomsnitt (\bar{x}) 0,41 med et standardavvik (σ) på 0,17. Med andre ord vil finstoffforholdet 0,020 mm/0,075 mm ligge mellom 0,24 og 0,58 i 68 % av tilfellene. Forholdstallet hadde ingen sammenheng med hverken graderingstall eller med inndelingen i telegrupper.

Yoder & Woods påviste i 1959 ved komprimerings- og CBR-forsøk at grusmaterialets styrke er avhengig av mengde finstoff $<0,075$ mm. Maksimal densitet (Standard Proctor) oppnådde grusprøvene med et finstoffinnhold $<0,075$ mm på 8-9 %. Maksimal styrke (CBR-forsøk) oppnådde derimot grusprøvene med et finstoffinnhold $<0,075$ mm på 7 % (Yoder & Woods, 1959).

Jessberger kritiserte i 1976 Casagrandes kriterium for ikke å ta hensyn til viktige faktorer som grunnvannstand, klimavariasjon, materialtype og svikt i bæreevnen i teleløsningsperioden. Men han sa seg enig i at Casagrandes kriterium er et viktig tillegg, da det aldri har inntruffet at et velgradert grusmateriale med mindre enn eller lik 3 % finmateriale $<0,020$ mm har vært telefarlig (Chamberlain, 1981). Gaskin (1981) kommer til samme konklusjon. Telefarlighetskriteriet virker bra i praksis, dvs. ingen skader opptrer når bærelaget har mindre enn eller lik 3 % finmateriale. Men i en del tilfeller har finstoffinnholdet i bærelaget vært opptil 4-5 %, uten at det har oppstått skader i overbygningen.

Det vest-tyske telefarlighetskriteriet av 1979 bygger på Jessbergers CBR-forsøk på opptint materiale, jordartsklassifisering og tillatt mengde materiale $<0,063$ mm (tabell 1).

Tabell 1: Det vest-tyske telefarlighetskriteriet fra 1979
(Chamberlain, 1981)

Frost susceptibility	Thaw CBR	Soil classification* (West German Standards)	Allowable amount (%) finer than 0.063 mm
None	>20	GW, GI, GE, SW, SI, SE	5
Low-medium	4-20	TA	—
		OT, OH	—
		TM	—
		ST, GT	5 if $C_u \geq 15$; 15 if $C_u < 6t$
		SU, GU	5 if $C_u \geq 15t$; 15 if $C_u < 6t$
High	<4	TL	—
		UL, UM	—
		ST, GT	—
		SU, GU	—

*Listed in order of increasing frost susceptibility: G = gravel, S = sand, U = silt, T = clay, O = organic, H = peat, A = high plasticity, M = medium plasticity, W = well-graded, I = intermediate gradation, E = poorly graded, T = very clayey, U = very silty.

† If $6 < C_u < 15$, then the allowable amount finer than 0.063 mm should be linearly interpreted between 5 and 15%.

Etter det vest-tyske telefarlighetskriterium kan ikke-telefarlig grus innholde opptil 5 % finstoff <0,063 mm, og lite til middels telefarlig grus opptil 15 % finstoff <0,063 mm, avhengig av graderings-tallet. Kriteriet er mindre strengt enn Casagrandes og U.S. Corps of Engineers kriterium (Chamberlain, 1981).

1.4.4 Petrografi/mineralogi

Østerrike har et telefarlighetskriterium som baserer seg på finstoffets mineralsammensetning (Chamberlain, 1981). Avhengig av mineralsammensetningen og mineralenes vektprosentfordeling, endres den tillatte mengde finstoff <0,020 mm (tabell 2).

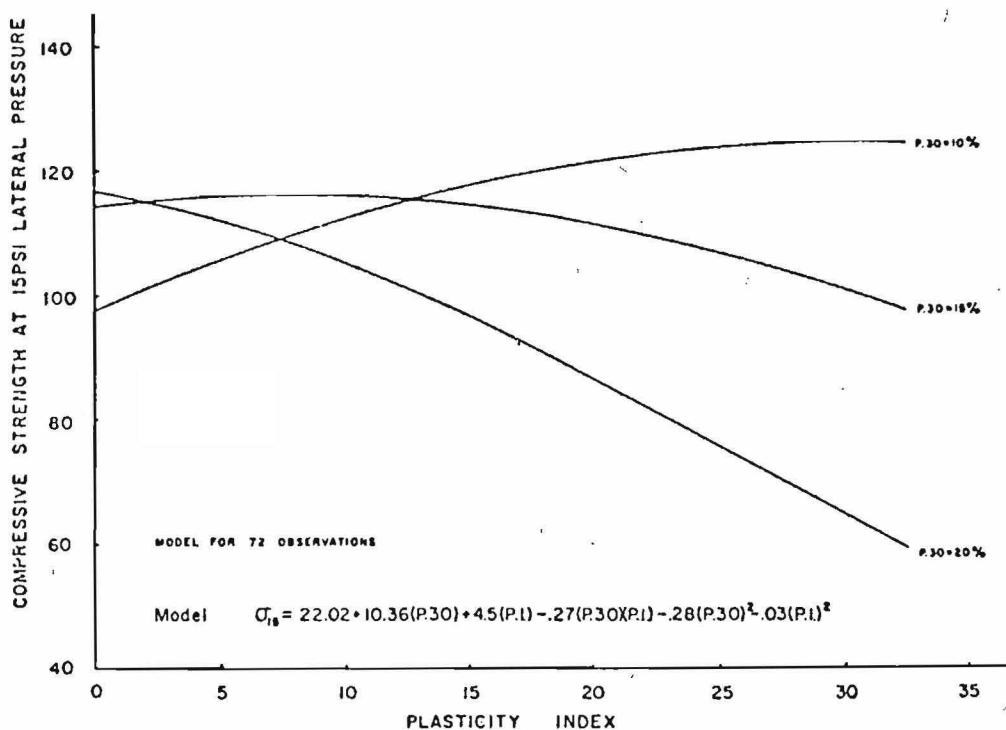
Tabell 2: Det østerrikske telefarlighetskriteriet for grusmaterialer fra 1980 (Chamberlain, 1981)

<i>Maximum percentage of grains <0.02 mm</i>	<i>Allowable mineral composition of non-frost-susceptible soils</i>
3	Non-frost-susceptible, no mineral type determination necessary.
5	Normally, if heave properties are known from field or laboratory observations, no mineral type determination is necessary. If frost heave properties are not known, the gravel is non-frost-susceptible if <ol style="list-style-type: none"> 1) the minerals are inactive or 2) there is a mixture of the inactive minerals and a maximum of <ol style="list-style-type: none"> a) 10% kaolinite b) 30% chlorite c) 30% vermiculite d) 40% montmorillonite, and/or e) 50% mica, with boundary conditions of <ol style="list-style-type: none"> a) 60% mica and chlorite b) 50% mica, chlorite and kaolinite c) 50% mica and kaolinite d) 40% mica, chlorite, kaolinite and montmorillonite. In addition, up to 40% complex silicate is allowable. <ol style="list-style-type: none"> 3) If evidence of iron hydroxide, frost heave tests are required.
8	Inactive minerals with 1% \leq 0.002 mm.

1.4.5 Plastisitetsindeks og kornstørrelse

Makdisi-Ilyas (1972) innførte begrepet støvforhold, som beskriver kornstørrelsesforholdet <0,075 mm/<0,6 mm på den delen av grusmaterialet som er finere enn 16 mm. Innflytelsen av plastisitetsindeks og støvforhold på stabiliteten varierer med mengde materiale <0,6 mm. Ved \leq 10 % materiale <0,6 mm, betyr støvforholdet mest for

stabiliteten. En økning i støvforholdet (dvs. skjev spredning) medfører økt stabilitet. Ved ca. 20 % materiale <0,6 mm, er derimot plastisitetsindeksen avgjørende for stabiliteten. Prøver med ca. 15 % materiale <0,6 mm står i en slags mellomstilling, her blir stabiliteten bestemt av både plastisitetsindeks og støvforhold (figur 8), (Makdisi-Ilyas, 1972).



Figur 8: Variasjon av trykkspenning (ved 15 psi, dvs. 103,42 kPa sidetrykk) ved forskjellig plastisitetsindeks og støvforhold (Makdisi-Ilyas, 1972)

1.5 Vurdering og valg av forsøksmetoder

Valg av metoder er skjedd på bakgrunn av litteraturstudiet "Grusmaterialers vannømfintlighet" (Hauck, 1986).

Det gamle kriteriet til Casagrande skal forhindre telefarlighet, dvs. kapillær oppsuging av vann og påfølgende skadevirkninger. Forsøk ved Veglaboratoriet på å finne en bedre registrering av bærelagsmaterialers stabilitetstap i laboratoriet har foreløpig ikke ført til resultater.

- Hvordan oppfører et bærelagsmateriale seg under en vibrerende last?
- Kan det danne seg høye poretrykk idet lasten blir påført, dersom bærelaget er vannmettet?

- Hva skjer med finstoffet under slike trykkvariasjoner?
- Hvilken rolle spiller mineralsammensetning og kornstørrelsesforhold?
- Er kornskjelettets struktur avhengig av mengden finstoff og i så fall, hvilken kornstørrelse er av betydning?

Det er mange spørsmål, og kun noen av disse er til nå diskutert i litteraturen.

For å få svar på en del av spørsmålene er det her lagt vekt på:

1. En geologisk undersøkelse av bærelagsmateriale som skal brukes i forsøkene.
2. Forsøk med deformasjoner i et bærelagsmateriale forårsaket av vibrerende last.
3. Studium av kornskjelettstruktur på tynnslip.

Den geologiske undersøkelse skal omfatte undersøkelser som jordarts-klassifisering (kornstørrelse <19 mm), plastisitet (kornstørrelse <0,5 mm), kornform vha. sveipe-elektronmikroskopi (SEM) (kornstørrelse <0,075 mm), petrografi og mineralogi vha. binokular (kornstørrelse 0,125-19 mm) og mineralogi vha. røntgendiffraktometri (XRD)/sveipe-elektronmikroskopi (SEM-EDS) (kornstørrelse <0,075 mm).

Forsøk der et bærelagsmateriale utsettes for vibrerende belastning, utføres på grusprøver <19 mm tilsatt varierende mengde finstoff <0,075 mm med forskjellig kornfordeling, mineralogi og plastisitet. Sammenhengen mellom poretrykksoppbygning under vibrasjon, deformasjon av bærelagsmaterialet og finstoffets egenskaper er vesentlig for å kunne vurdere bærelagets stabilitet i teledøsningen.

Studiet av kornskjelettet tenkes utført på grusprøver <8 mm med tilnærmet identisk mineralogi, men forskjellig kornfordeling innenfor fraksjonen 0-0,075 mm. Forskjellen i finstoffmengde og kornkurvenes forløp ellers kan forhåpentligvis avspeile seg i kornskjelettets struktur. Kornskjelettundersøkelsene må skje på en fast (stabilisert) grusprøve. Overflaten til tynnslip undersøkes ved hjelp av polarisasjons-mikroskop.

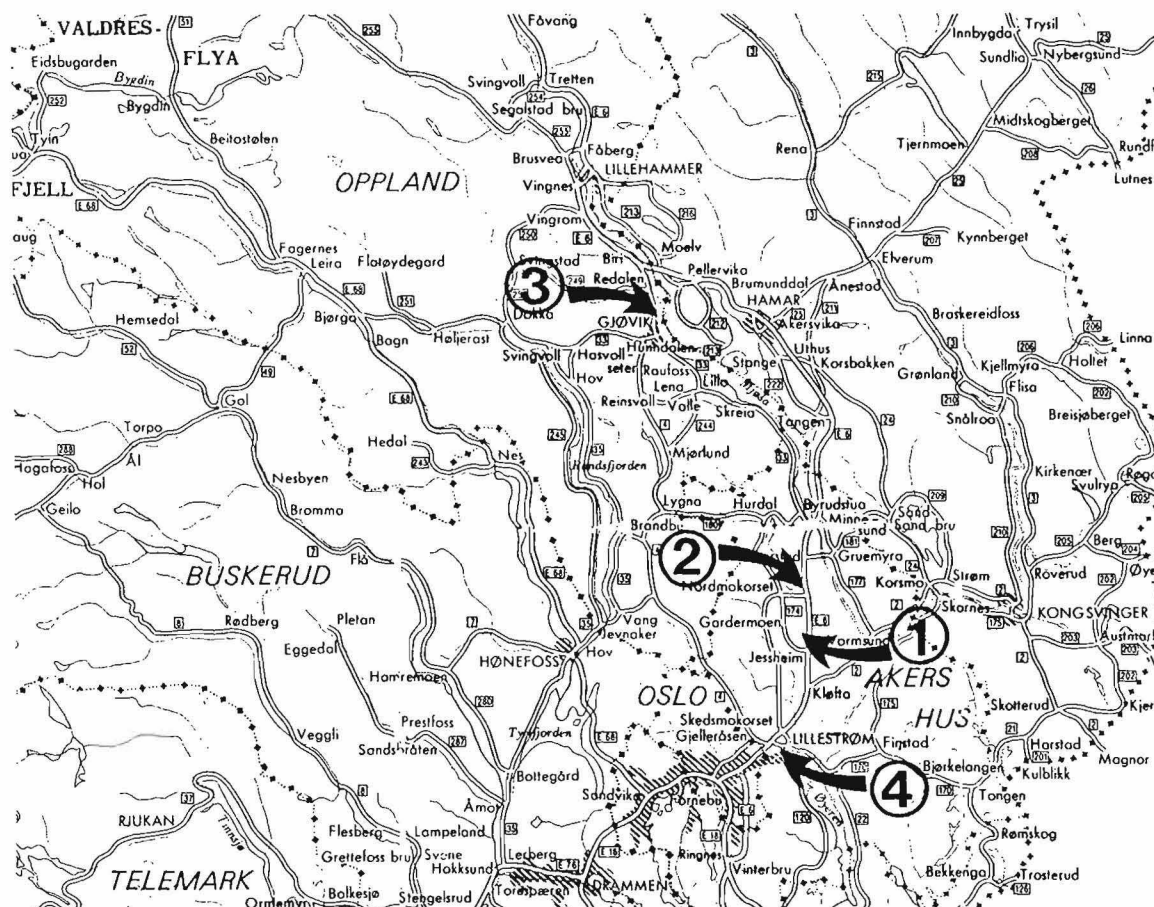
1.6 Valg av forsøksmaterialer

Grusmateriale større enn 0,075 mm og mindre enn 19 mm er tatt fra Statens vegvesens grustak, Hovinmoen grustak. Hovinmoen grustak ligger i de sentrale deler av Li-deltaet i Hauerseier-israndavsetningen, som representerer Romerikes største sand-/grus ressurs (Østmo, 1975). Grusmateriale fra Hovinmoen grustak ble bl.a. brukt i forbindelse med utbygning av Europaveg 6 i de senere år, og velges av denne grunn som grovmaterialebestanddel $\geq 0,075$ mm i samtlige grusprøver.

Grusprøvene består dermed av et grovmateriale $\geq 0,075$ mm fra Hovinmoen grustak og en finstoffandel $< 0,075$ mm fra fire forskjellige lokaliteter i Akershus og Oppland (figur 9), for å få frem en variasjon i finstoffandelens kornkurve, kornstørrelse, graderingstall, mineralogi og plastisitet.

Lokalitetene er:

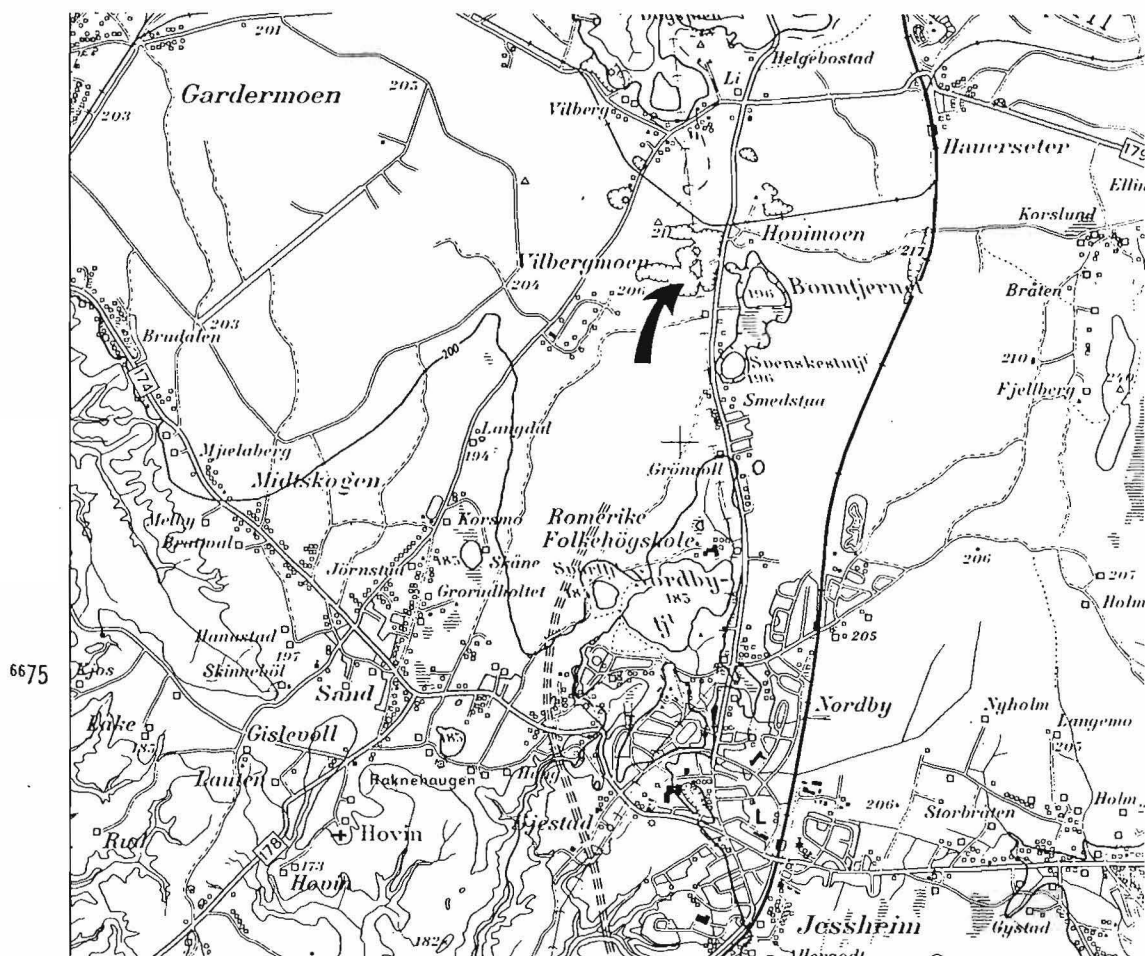
- Hovinmoen grustak
- Hjera grustak
- Glomstad grustak
- Kjellerholen



Figur 9: Oversiktskart over lokalitetene Hovinmoen grustak (1), Hjera grustak (2), Glomstad grustak (3) og Kjellerholen (4)

1.6.1 Hovinmoen grustak Ullensaker kommune i Akershus.

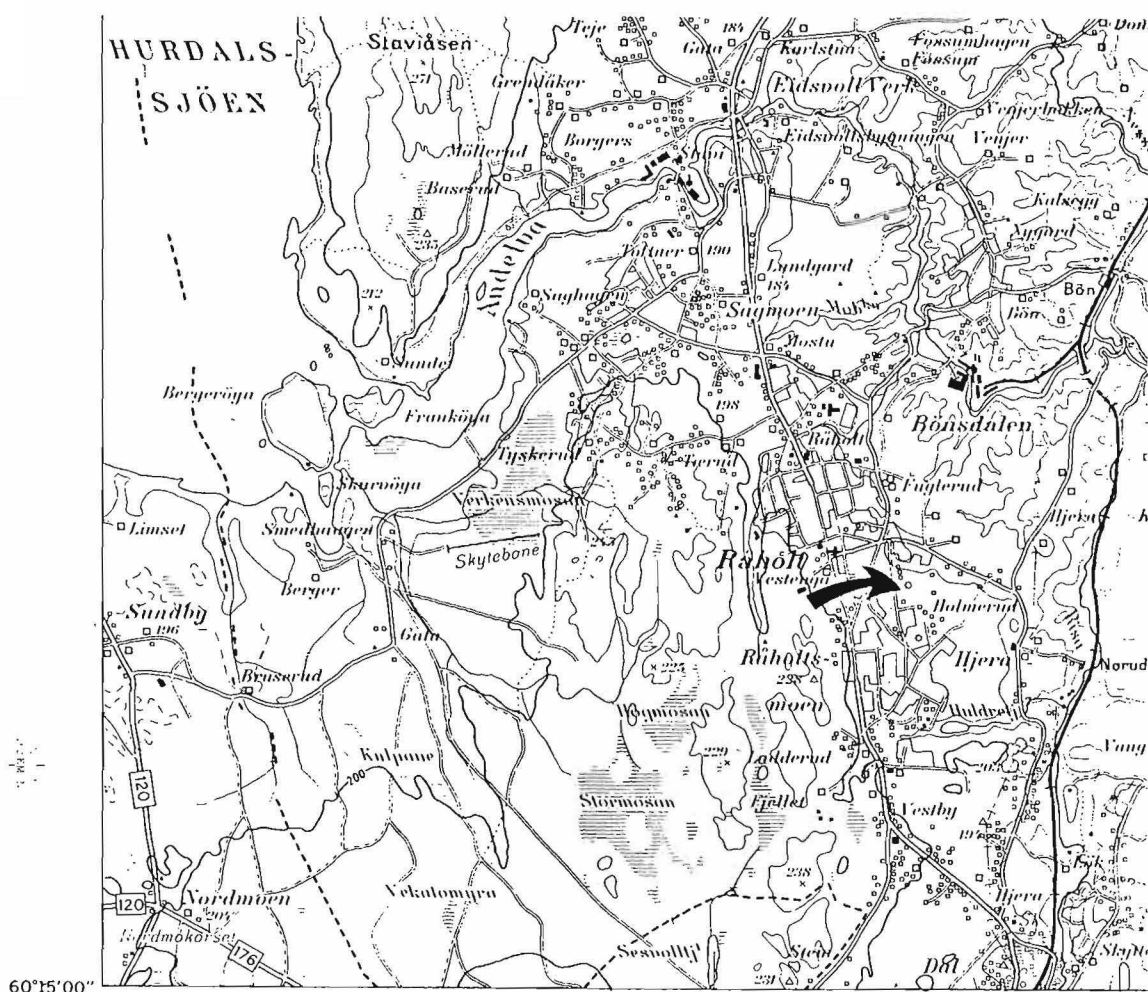
Hovinmoen grustak ligger på vestsiden av E6, ca. 2 km nord for Jessheim, syd for vegkrysset til Hauer seter, 220 m o.h. (figur 10). Grustaket ligger i en glasifluvial israndavsetning, den såkalte Hauer setersandur (se kapittel 2.2). Materialet i avsetningen representerer nærmest alle kornstørrelser fra de minste leirpartikler opp mot steinstørrelse. Øverst i grustaket ligger et steinførende gruslag som i veksling med sandlag går ned til 7-8 m dybde. Under ligger sand, til dels med siltige lag. Hauer setersandurens oppbygning tyder på at tilførselskanalene har kommet fra Mjøsa gjennom Dal. Grusmaterialet består av ca. 60 % grunnfjell, ca. 35 % eokambrisk kvartsitt/sandstein og bl.a. 2 % kambrosilurisk hornfels (Østmo, 1975). Finstoffraksjonen (0-0,075 mm) hvor grusen er frasiattet, inneholder ca. 50 % materiale <0,020 mm og er en ikke-plastisk, middelsgradert, leirig silt (se kapittel 3.2.1).



Figur 10: Hovinmoen grustak, Ullensaker kommune i Akershus, målestokk 1:50 000

1.6.2 Hjera grustak, Eidsvoll kommune i Akershus.

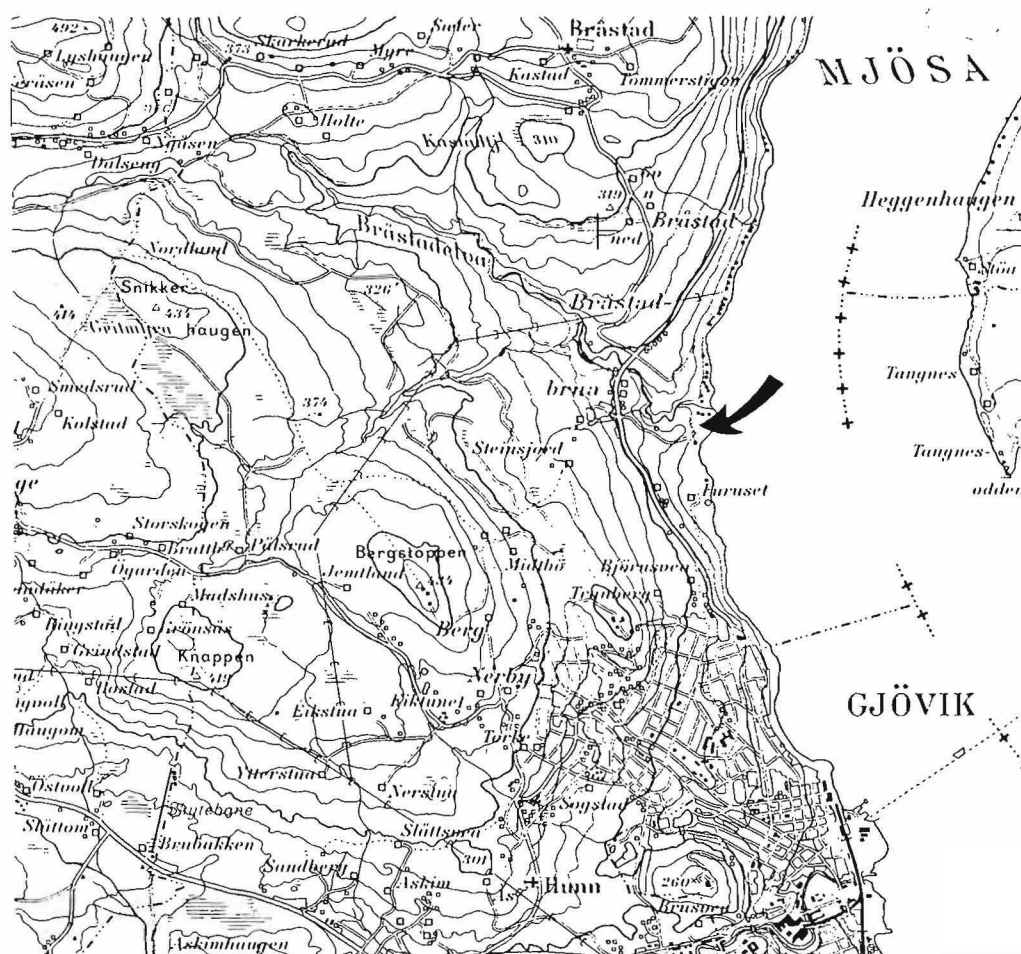
Hjera grustak ligger i Dal isranddelta, ca. 1 km øst for E6 ved Råholt (figur 11). Bergartssammensetningen i løsavsetningen viser at materialtransporten kom fra nord gjennom Mjøsbassenget. Grusmaterialets bergartssammensetning i området er mellom 45-50 % grunnfjell, 48-55 % eokambrisk kvartsitt/sandstein og mellom 0-2 % kambrosilurisk hornfels (Østmo, 1975). I grustakets øvre del kan man se noen markante, finstoffrike lag på 30-50 cm tykkelse, som sannsynligvis er avsatt i avstengte bassenger i perioder med liten smeltevannsføring. En finstoffprøve ($<0,075$ mm) fra ett av disse lagene inneholder ca. 90 % materiale $<0,020$ mm og klassifiseres som en ikke-plastisk, ensgradert leirig silt (se kapittel 3.2.1).



Figur 11: Hjera grustak, Eidsvoll kommune i Akershus,
målestokk 1:50 000

1.6.3 Glomstad grustak, Gjøvik kommune i Oppland.

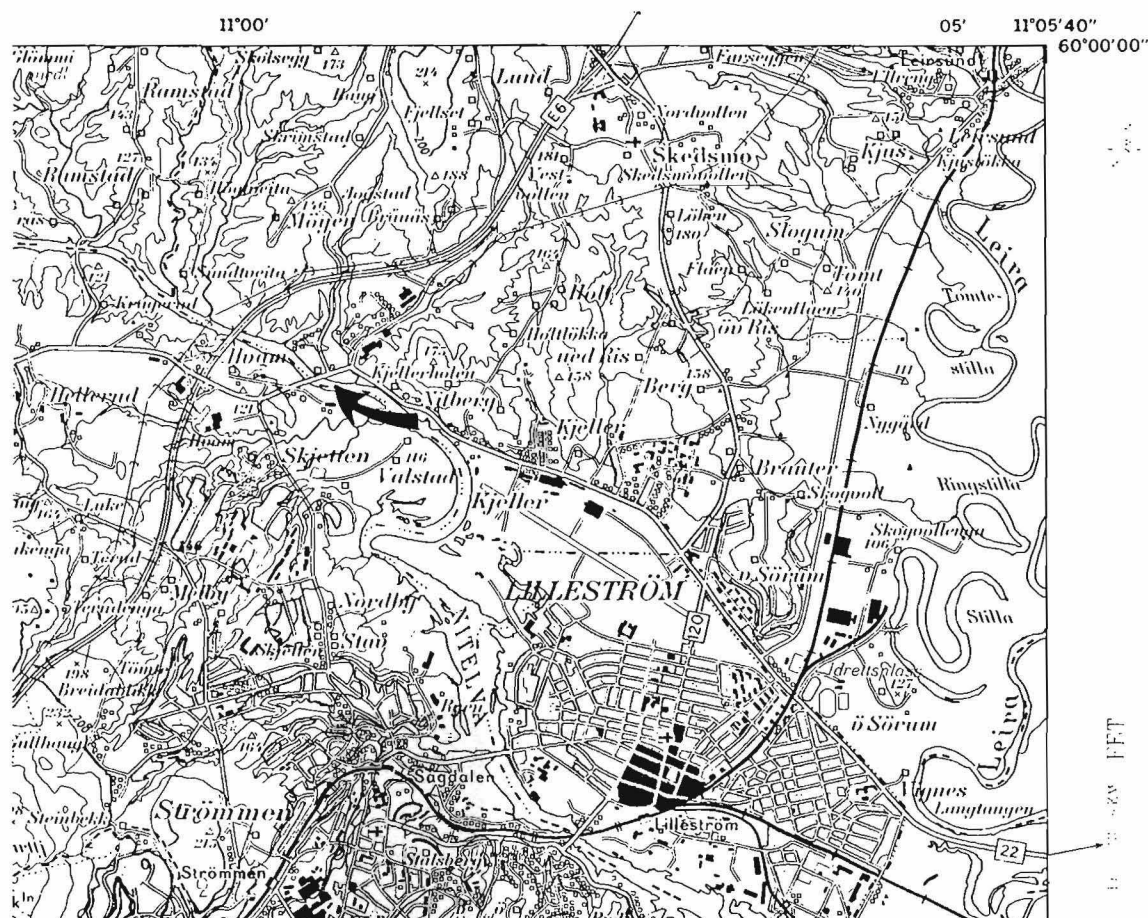
Glomstad grustak ligger i en glasifluvial terrasseavsetning ved sydsiden av Bråstadelva, ca. 2 km nord for Gjøvik (figur 12). Ved Bråstadelvens utløp er det blitt avleiret lateralt terrasser av sand og grov grus i skråstilte lag langs dødisen i Mjøsa. Tydelige smeltedanningsløp finnes bl.a. i Bråstadelvens dalføre østover til Gjøvik. Det kan i en periode ha vært drenering mot Mjøsa fra områder vest for vannskillet mellom Mjøsa og Dokkadalføret (Sveian, 1979). Materialet som stammer fra Randsfjordområdet har ofte et høyt innhold av glimmer og skifer fra kambrosiluriske og eokambriske skiferbergarter (Østmo, 1975). Grusmaterialets bergartssammensetning er 70 % eokambrisk kvartsitt/sparagmitt, 25 % kambrosilurisk/eokambrisk kalk og skifer og bl.a. 3 % grunnfjell (Sveian, 1979). Materiale fra grustaket ble bl.a. benyttet under byggingen av den nye Mjøsbrua. Det er hentet finstoffprøver i fraksjonen 0-0,075 mm hvor grusen er frasiertet. Finstoffet inneholder ca. 50 % materiale <0,020 mm og er en ikke-plastisk, leirig silt (se kapittel 3.2.1).



Figur 12: Glomstad grustak, Gjøvik kommune i Oppland,
målestokk 1:50 000

1.6.4 Kjellerholen, Skedsmo kommune i Akershus.

Kjellerholen ligger ved Nitelva, Lillestrøm, nordøst for Oslo (figur 13). Avsetningene i området er marin leire, avsatt foran isrand-avsetningene ved Berger. Det ble hentet uforstyrrede sylinderprøver av leiren med en 54 mm prøvetaker, i forbindelse med hovedfagsoppgaven til B.K. Dolva ved Veglaboratoriet. Ifølge Sørensen har leirer rundt Oslo-fjorden en gjennomsnittlig sammensetning på 60-65 % illitt, 20-25 % kloritt 13-14 % kvarts og feltspat og 1-2 % hornblende, pyroksen, granat osv. Undersøkelsene indikerer at leirens sammensetning bare varierer ubetydelig med berggrunnen (Sørensen, pers. medd. til Wangen, 1985). Prøvematerialet er plastisk, og ca. 90 % av materialet er <0,020 mm, og klassifiseres som leire (se kapittel 3.2.1). Sylinderprøvene hadde også områder med lamina av silt (Dolva, pers. medd., 1987).



Figur 13: Kjellerholen, Skedsmo kommune i Akershus,
målestokk 1:50 000

2. GLASIFLUVIALE ISRANDAVSETNINGER I AKERSHUS

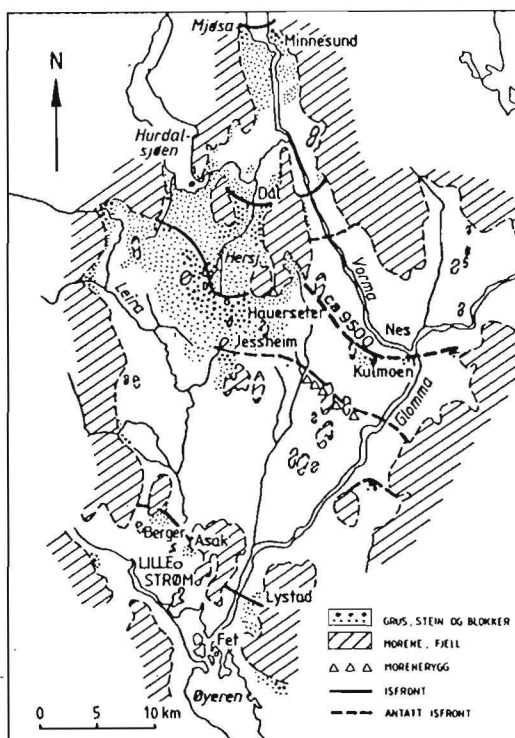
2.1 Isavsmeltningsforløpet på Romerike

Litteratur brukt i dette kapitlet er Høltedahl (1960), Longva (1979).

Det som skjedde under og etter siste fase av siste istid (Weichsel III) preger det norske landskap og er avgjørende for løsmassefordelingen. I yngre Dyras, for ca. 11.000 år siden, lå isfronten i sydlige deler av Østfold (Ra-morene). Derfra trakk isen seg hurtig nordover, over Oslo og Romerike til Mjøsa.

I Preboreal tid (10.000-9.000 år før nåtid) var det fortsatt kalde perioder, noe som førte til at brefronten gjorde flere stopp og småfremstøt. Et resultat av dette er flere markerte avsetninger innenfor Oslofjorden fra Akertrinet til Minnesund. I slutten av Preboreal og Boreal tid (9.000-8.000 år før nåtid) smeltet isen jevnt bort, uten markerte stopp. Nord for Minnesundtrinet finner man derfor bare glasifluviale avsetninger og ablasjonsmorener fra den videre avsmeltingen.

Romerikstrinnene hører til de mest imponerende kvartæravsetningene i landet, og er trolig dannet mellom 9.700-9.300 år før nåtid. Mellom Oslo og Mjøsa finnes det spor etter fem opphold i isens tilbaketrekning, med avtagende høyde over havet etter hvert som man kommer nordover (figur 14).



Figur 14: Isavsmeltningsforløpet på Romerike (Longva, 1979)

Berger-Asaktrinnet	(marin grense 210 m o.h.)
Jessheimtrinnet	(" " 207 m o.h.)
Hauer setertrinnet	(" " 205 m o.h.)
Daltrinnet	(" " 200 m o.h.)
Minnesundtrinnet	(" " 192 m o.h.)

Isavsmeltningen ved slutten av siste istid foregikk meget hurtig pga. den raske klimaforbedringen. Fra Romeriksbreen strømmet smeltevann mot Hekseberget og førte med seg store grus- og sandmasser. Disse ble lagt opp i et delta til daværende havnivå i Romeriksfjorden ved Berger. Lignende forhold dannet Asak- og Fetdeltaene. Da isen trakk seg videre nordover, ble det avsatt leire i fjordbassenget rundt deltaene.

Etter en tid stoppet breens tilbaketrekning igjen pga. en midlertidig klimaforverring, og smeltevann med grus og sand bygget opp et vifteformet delta til daværende havnivå ved Jessheim.

Hauer setertrinnet er det mest markerte avsmeltningstrinnet på Romerike. Smeltevannet fra innlandsisen fosset ut i havet ved Li og Trandum og førte med seg enorme mengder med sand, grus og rullestein. Deltaene ved Li og Trandum bygget seg opp til ca. 20 m over daværende havnivå, og breelvene søkte stadig nye løp på deltaflaten og videre ned skråningen. Leire og silt ble ført ut i Romeriksfjorden, som nærmest ble fylt igjen (havdyp kun på ca. 30-40 m). Under flomperioden ved Hauer seter ble store isfjell begravet av grus- og steinmassene, som da de smeltet dannet store og små forsenkninger (dødisgroper) i terrenget.

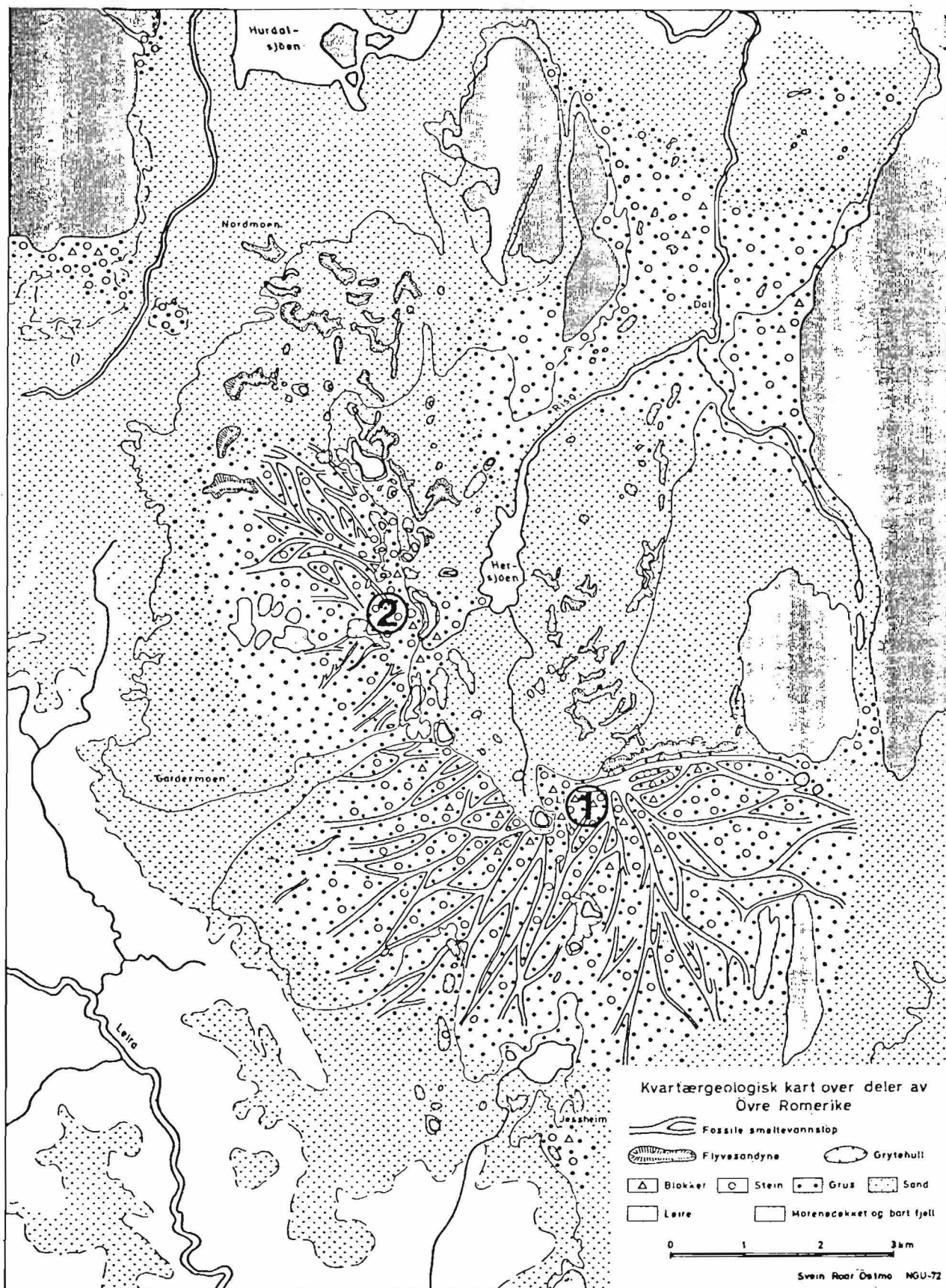
Da breen stoppet opp neste gang, representert ved Dal-trinnet, ble store mengder sand og silt transportert ut i bassenget der isen hadde ligget mens Hauer seterdeltaet ble avsatt.

Minnesunddeltaet er det siste markerte trinn i avsmeltningsfasen på Østlandet. Trinnet er bygget opp til daværende havnivå (marin grense 192 m o.h.).

2.2 Hauer seter-sandur

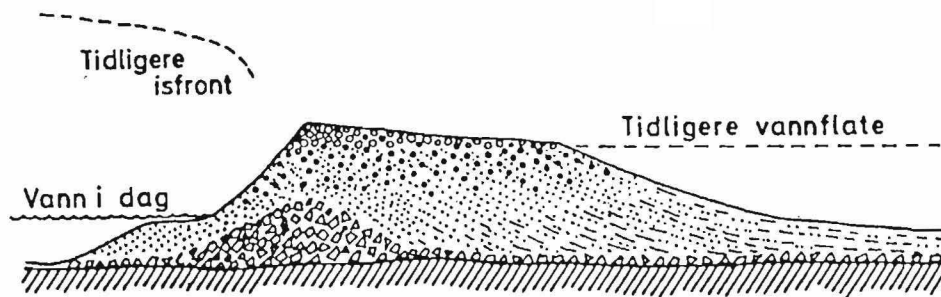
2.2.1 Beskrivelse av avsetningen

Israndavsetningen ved Hauer seter ble dannet 9500 år før nåtid, og består av to deltaer av sandurtypen, Trandum- og Lideltaet (figur 15). Hauer seter-israndavsetningen er den største sandur-avsetning i Syd-Norge.



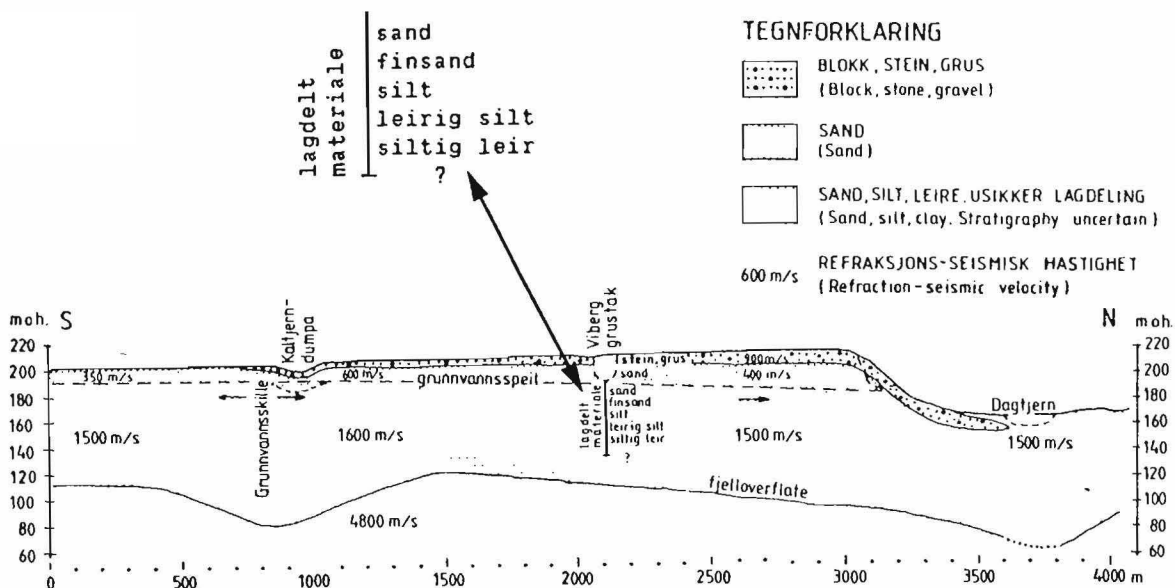
Figur 15: Kvartærgeologisk kart over deler av Øvre Rømerike.
 1) Isranddelta ved Li og 2) isranddelta ved Trandum
 (Østmo, 1975)

Det kvartærgeologiske kartet over deler av Øvre Romerike viser Trandumdeltaet (område 1) og Lideltaet (område 2). Avsetningen består av et blokk- og steinrikt topplag som avtar i mektighet og kornstørrelse med økende avstand fra brekanten (figur 16). Under topplaget er det mellom 10 og 15 m mektige skråliggende, godt sorterte sandlag med gruslag imellom, særlig i den øvre delen av lagpakken. Under disse skrålagene er det flattliggende lag av meget godt sortert middelskornet sand, som inneholder lag med finsand og silt. Grunnvannsspeilet ligger for det meste i overgangssonen til finsand og silt (Østmo, 1975).



Figur 16: Oppbygningen av en sandur (bredelta). Topplag, skrålag (deltafront) og bunnlag. Kjerne av morenemateriale ved den opprinnelige brefronten (Sørensen, 1980)

Østmo foretok i 1976 en geofysisk undersøkelse tvers gjennom Lideltaet (ved Vilberg). Seismisk profil er vist i figur 17, som angir massene i dypet og grunnvannsspeilets beliggenhet.

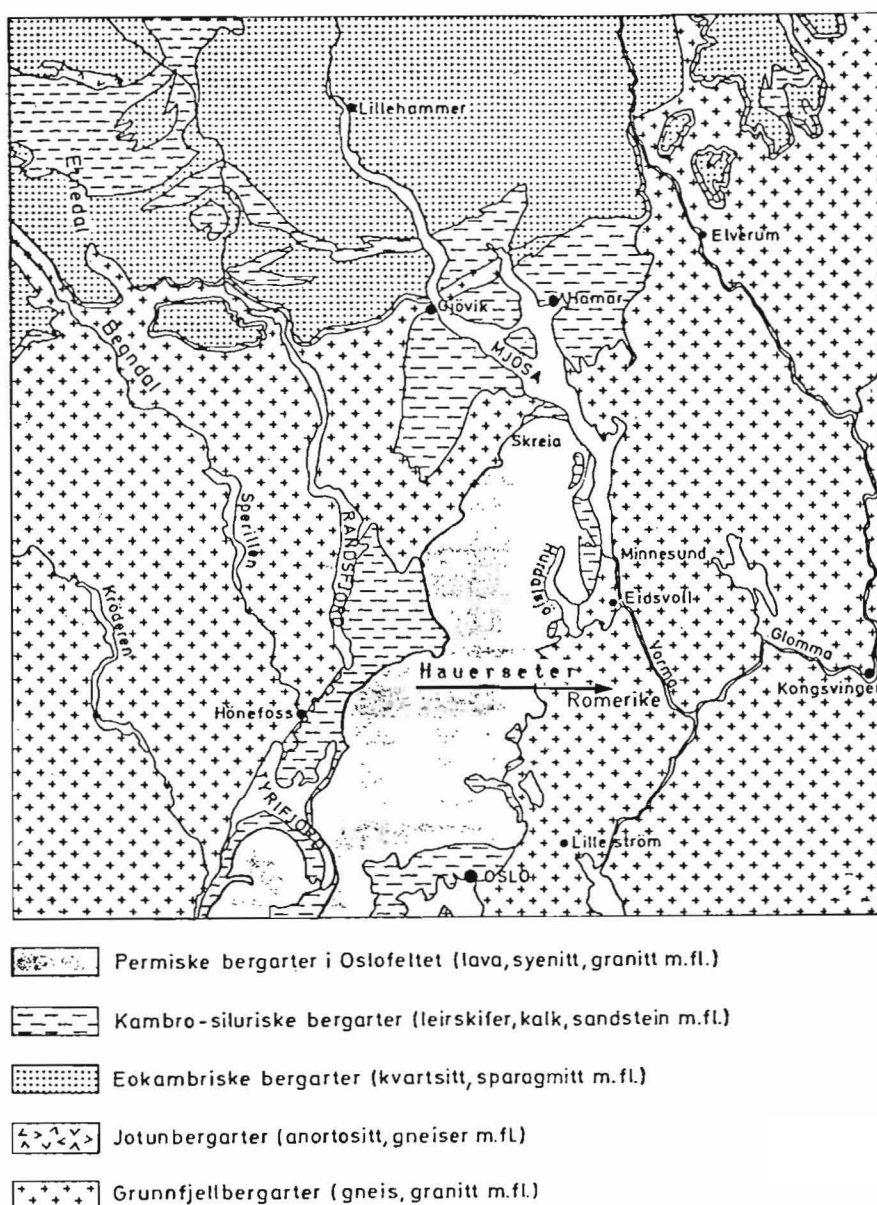


Figur 17: Seismisk profil over Hauerseter-sanduren (Longva, 1979; etter Østmo)

2.2.2 Løsmasse- og berggrunnsbeskrivelse

Glasifluviale avsetninger er viktig for tolkningen av smeltevanns-dreneringen under isavsmeltningen. Oppkust berggrunn er transportert over kortere eller lengre strekninger og løsmassenes bergartssammensetning avspeiler breelvenes transportretning.

Hauerseter-sanduren ligger over prekambrisk berggrunn. Berggrunnen er en del av det sydøstnorske grunnfjell, som strekker seg fra svenskegrensen over Øst-Norge og er begrenset av sparagmittbergartene i nord og Oslofeltet i vest (Østmo, 1975), figur 18.



Figur 18: Et sterkt forenklet berggrunnskart over deler av det sydøstnorske grunnfjell, Oslofeltet, den østlandske sparagmittregionen og tilstøtende områder. (Østmo, 1975)

Østmo foretok i 1975 en undersøkelse av løsmassene i Ullensaker kommune. Tilsammen ble 67 prøver undersøkt, herav ble 3 prøver undersøkt av Franzefoss Bruk og 6 prøver av NSB (Østmo, 1975). Resultater fra Østmo's undersøkelse er vist i figur 19, og analysene er gjort på materiale i 20-60 mm kornfraksjonen. Resultater fra en noe mer detaljert løsmasseundersøkelse som er gjort spesielt av Hauerseiertrinet er vist i tabell 3.

Tabell 3: Løsmasseundersøkelse av grusmateriale fra Hauerseier
israndavsetning (Østmo, 1975)

Bergart	Kornstørrelse 5-20 mm 20-60 mm	60-200 mm 200-600 mm
Grunnfjell	60 %	50 %
Eokambrisk kvartsitt/sandstein	35 %	50 %
Kambrosilurisk hornfels	2 %	
Permisk	0,5 %	
Ubestemt	2,5 %	

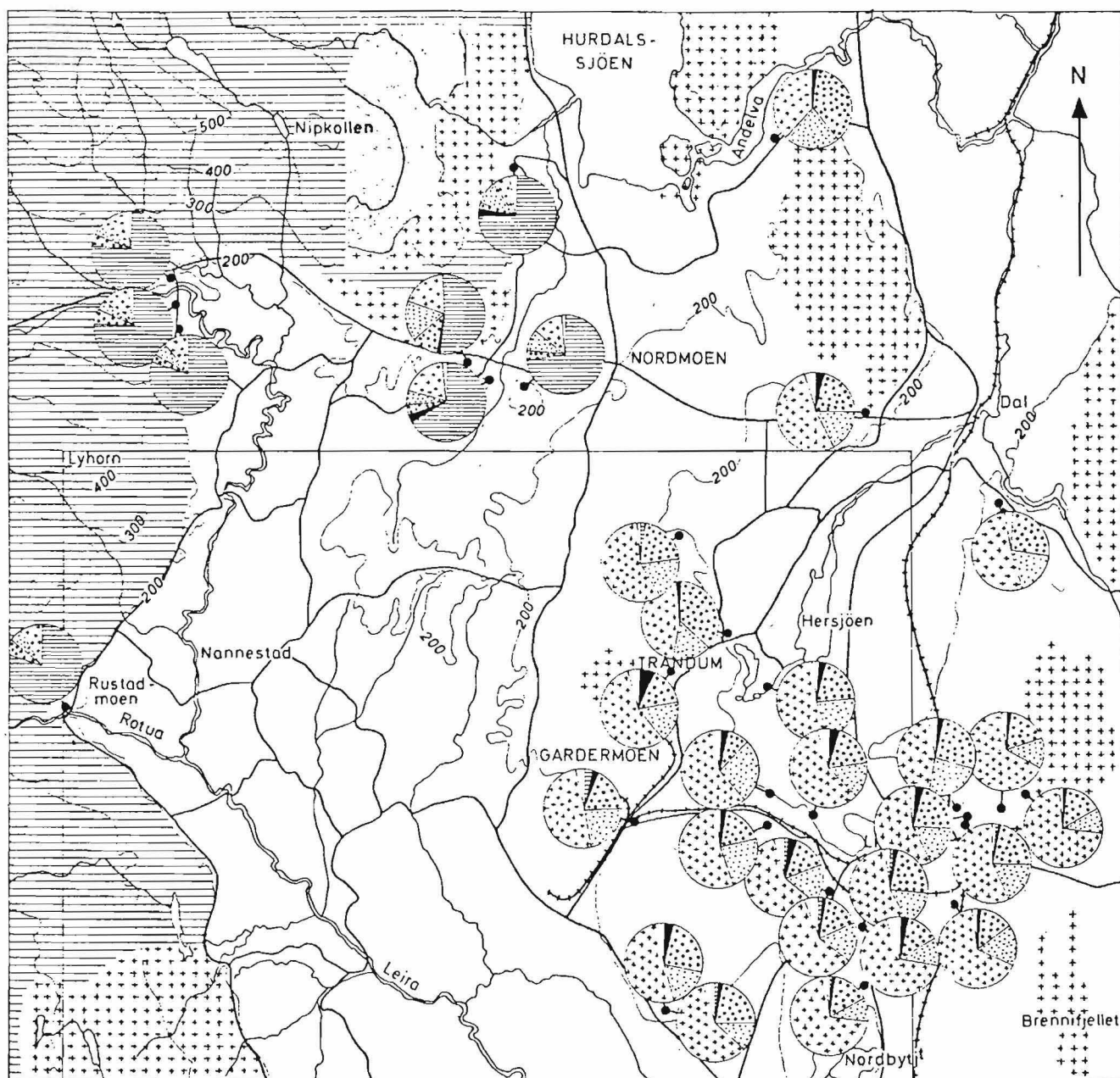
En mineralogisk undersøkelse av siltfraksjonen fra Romerike, foretatt av Longva (1987) viser at 60-70 % av materialet består av feltspat- og kvartskorn. De fleste korn er kantede og materialet har et ungt preg (Longva, 1987).

Bergartene er slitesterke, og det er funnet svært lite skifrig og forvitret (svakt) materiale. Sprøhets- og flisighetsanalyser viser at bergartsfragmentenes materialeegenskaper er gode (steinklasse 2). Når det gjelder kornform er gjennomsnittlig 30 % av prøven godt rundet, 60 % rundet, 10 % kantrundet og noen få prosent kantede korn (20-60 mm fraksjon). Dette indikerer relativ lang transport med rennende vann (Østmo, 1975).

Feltspatiske sandsteiner (arkoser) og kvartsitter stammer fra det store sparagmittfeltet som dekker mye av Østlandet fra Gudbrandsdalen over Østerdalen til Engerdalen og Femund (Ofteidal, 1981).

Kambrosiluriske og permiske bergarter stammer fra Oslofeltet nord for Oslo. Dypbergartene i Oslofeltet har forårsaket en kontaktmetamorfose av de kambrosiluriske sedimentære bergarter. Mot eruptivkontakten har leirskifrene gått over til hornfels og de rene kalker har blitt til marmor (Ofteidal, 1981).

Kambrosilurisk hornfels stammer fra området rundt Hamar, som i nord grenser mot eokambriske sparagmitter (Ofteidal, 1981).



Svein Foar Østmo NGU 1975

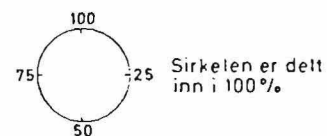
Fig.8. TEGNFORKLARING:

Berggrunn

- Perm
- Kambro-silur
- Eokambrium
- Prekambrium

Steintelling/bergart

- Nordmarkitt, ekeritt, rombeporfyr m.v.
- Kalkstein, hornfels m.v.
- Kvartsitt (vesentlig eokambrium)
- Sparagmitt
- Gneis, granitt m.v.
- Samlegruppe



Lokalitetsangivelse for steintelling

Ekv. 100 m

Figur 19: Løsmasseundersøkelse i Ullensaker kommune (Østmo, 1975)

Gneisbergartene stammer for det meste fra Romeriksgneisområdet øst for Oslofeltet og syd for Mjøsa. De grå Romeriksgneisene er stort sett biotittførende plagioklasgneiser med kvartsdiorittisk sammensetning. Et annet tilførselsområde for gneis og granitt danner antageligvis en granitt-mylonittsone som ligger nord for Romeriksgneisområdet, vest for Mjøsa og syd for sparagmittområdet. Bergartene her er mer eller mindre oppknust eller plastisk deformert. Massive granitter og dioritter veksler med øyegneiser, finkornede gneiser og amfibolittiske partier (Hjelle, 1962).

Bergartssammensetningen viser at mesteparten av breelvmaterialet stammer fra Gudbrandsdalen og at smeltevannsdreneringen har kommet gjennom Mjøsbassenget (Østmo, 1975).

Opplysninger om isavsmelting, grusmassenes transportretning og avsetningstype og -oppbygning er i samhold med berggrunnen viktig ved vurdering av grusmaterialenes egenskaper, som bergartssammensetning, steinkvalitet og slitestyrke.

De undersøkelser som er utført viser at Hauer seter-israndavsetningen er godt egnet til vegbyggingsformål, såvel i forsterknings- og bærelag, som i tilslag til bituminøse dekker (Østmo, 1975).

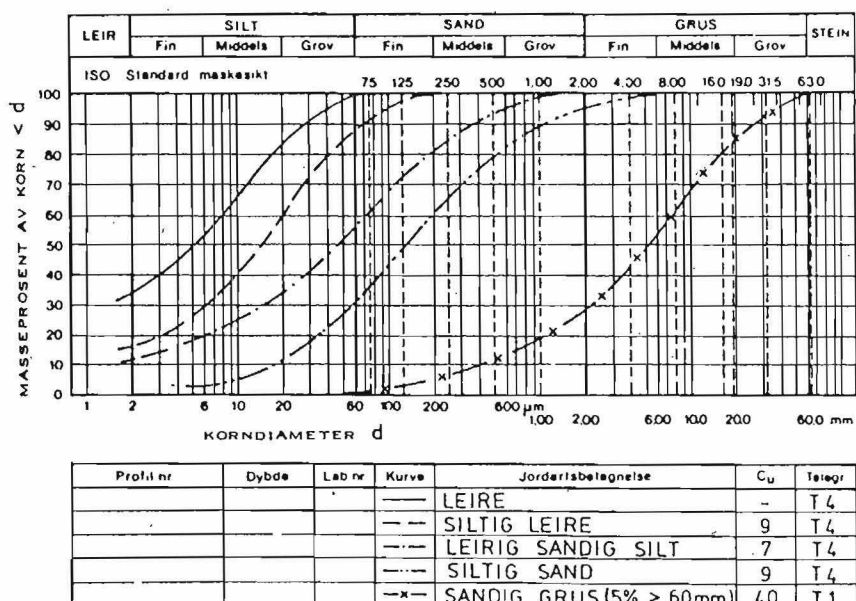
3. GRUS- OG FINMATERIALETS EGENSKAPER

3.1 Beskrivelse av undersøkelsesmetoder

3.1.1 Analysene for jordartsklassifisering

Analysene for jordartsklassifisering er utført på prøver fra Hovinmoen, Hjera, Glomstad og Kjellerholen (se kapittel 1.6). Analysene som er utført er kornfordeling, jordartsbenevning, graderingstall, kornform og telefarlighetsklassifisering.

Kornfordelingsanalysen gir et bilde av materialfordelingen innen de forskjellige kornfraksjoner. En gjennomsnittsprøve med materiale <19,0 mm tørrsiktet og av materiale <0,500 mm tas det ut en gjennomsnittsprøve til hydrometeranalyse (Statens vegvesen, 1983, i kapittel 121, 122, og 124). Av resultatene fra sikte- og hydrometeranalysen tegnes en kumulativ kornfordelingskurve som viser vektprosent av en prøve større eller mindre enn en bestemt kornstørrelse (Statens vegvesen, 1983). Jo brattere kornkurve, desto bedre sortert og mer ensgradert er prøven (figur 20).



Figur 20: Eksempler på kornkurver med angitt jordartsklassifisering (Statens vegvesen, 1983)

Jordartsbenevning etter kornstørrelse er foretatt i henhold til Veglaboratoriets klassifiseringsregler (Statens vegvesen, 1983, kapittel 101.22). Beskrivelse av jordarter skjedde etter kornstørrelse, og benevnes avhengig av leirinnhold, siltinnhold og innhold av grus og stein.

Graderingstallet $Cu=d_{60}/d_{10}$ karakteriserer materialet som ensgradert ($Cu < 5$), middels gradert ($Cu=5-15$) eller velgradert ($Cu > 15$) (Statens vegvesen, 1983, kapittel 101.23). Istedenfor $Cu=d_{60}/d_{10}$ kan også $Cu=d_{75}/d_{25}$ benyttes, dvs. når kornstørrelsen hvor 10 % av materialet passerer, ikke er avmerket i korngraderingskurven.

Mineralkornenes form angis som kantet, kantrundet, rundet eller godt rundet. Overflaten betegnes som glatt eller ru (etter fremgangsmåten beskrevet i Statens vegvesen, 1983, i kapittel 101.24).

Grusmateriale til bærelag klassifiseres etter telefarlighetsgrad i fire forskjellige telegrupper avhengig av mengde finstoff $< 0,020$ mm (Statens vegvesen, 1981), se også figur 2 i kapittel 1.

3.1.2 Flyte- og utrullingsgrense

Flyte- og utrullingsgrense er bestemt på finstoffprøvene fra Hovinmoen, Hjera, Glomstad og Kjellerholen (se kapittel 1.6).

Atterberg innførte i 1913 begrepet konsistensgrense for finkornede jordarter. Mest brukt i ingeniørmessig sammenheng er flytegrense (liquid limit, W_l), og utrullingsgrense eller plastisitetsgrense (plastic limit, W_p).

Flyte- og utrullingsgrensebestemmelse ble utført i henhold til Veglaboratoriets fremgangsmåte (Statens vegvesen, 1983 kapittel 123. og 133.). Metodene (konus-flytegrense og utrullingsgrense) er også beskrevet i Norsk Standard NS 8002 og NS 8003 (1982b og 1982c).

Flytegrensen definerer det vanninnhold hvor konsistensen på finmaterialet går over fra å være plastisk til å bli flytende. Plastisitetsgrensen angir det laveste vanninnhold hvor finmaterialet i omrørt tilstand er plastisk eller formbart. Plastisiteten av et materiale uttrykkes ved plastisitetsindeksen (I_p), som er differansen mellom flytegrense og plastisitetsgrense (Norsk Standard NS, 1982a).

3.1.3 Petrografisk/mineralogisk undersøkelse

Grusmaterialet (0,125-19 mm) fra Hovinmoen grustak ble delt i syv kornfraksjoner (0,125-0,25 mm, 0,25- 0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm og >8 mm), der det henholdsvis ble talt og klassifisert ca. 100 korn. Undersøkelsen med binokular er utført av Wangen ved Geologisk seksjon, Veglaboratoriet.

Bergartstillinger utført på ett og samme grustak vil pga. den naturlige variasjon i petrografisk og mineralogisk fordeling sjelden eller aldri gi nøyaktig det samme resultat, selv om prøvene er tatt nokså nær hverandre. For å få resultater som gir et riktig bilde av bergartfordelingen i en grusforekomst må prøvene være representative, dvs. inneholde uttak fra hvert enkelt lag, tilsvarende fordelingen i grustaket.

Nøyaktigheten av bergartstillingen øker med økende prøvestørrelse, dvs. antall talte korn. I følge Østmo skal det telles ca. 100 tilfeldig valgte bergartskorn. Dette synes å gi et representativt bilde av bergartsmaterialet i avsetningene (Holmsen, 1971).

3.1.4 Røntgendifraktometri (XRD)

Røntgendifraktometri gir direkte opplysning om hvilke mineraler som forekommer i prøven, og omtrentlig mengdeforhold mellom disse (Brindley & Brown, 1980).

Analysene ble utført på et Philips PWI 710 diffraktometer tilknyttet APD 1700 ved Institutt for Geologi, Universitetet i Oslo. Det ble anvendt Ni-filtrert monokromatisk kobber $K\alpha$ -stråling. Spenning og strømstyrke ble satt til 40 kV og 40 mA.

Den mineralogiske sammensetning av orienterte prøver av leirfraksjonen (<0,002 mm) og tilnærmet uorienterte silt-(bulk-) prøver (0,002-0,020 mm og 0,020-0,075 mm), både fra Hovinmoen og Hjera grustak, ble undersøkt ved hjelp av XRD.

Fin og grov silt (0,002-0,020 mm og 0,020-0,075 mm) ble nedknust. Det ble laget et tilnærmet uorientert preparat som ble analysert i intervallet $2-55^{\circ}$, 2θ (Brindley and Brown, 1980). Av leirfraksjonen (<0,002 mm) ble det laget orienterte inverterte millipore-preparater. Preparatene ble analysert først ubehandlet i intervallet $2-50^{\circ}$, 2θ , samt etylenglykolbehandlet og varmebehandlet i intervallet $2-20^{\circ}$, 2θ (Brindley and Brown, 1980).

Ved etylenglykolbehandling ble prøven plassert i etylenglykoldamp i eksikator natten over ved 60 °C. Varmebehandling ble utført ved 500 °C i to timer. (Brindley & Brown, 1980)

Mineralidentifikasjonskriteriet til Brindley & Brown (1980) og Thorez (1976) er brukt til kvalitativ mineralbestemmelse. Tabell 4 gir en oversikt over de benyttede mineralrefleksjoner (A-verdier).

Tabell 4: Refleksjoner (A) benyttet til kvalitativ bestemmelse av mineralinnhold (etter Brindley & Brown, 1980)

Mineral	d-verdi (Å)
kloritt (001)	14
smektitt	14
illitt blandsjikt	10-14
illitt (001)/muskovitt (002)	10
amfibol	8,4
kloritt (002)	7
kvarts	4,26
kaolinitt	3,58
kloritt (004)	3,55
kali-feltspat	3,24
plagioklas	3,19

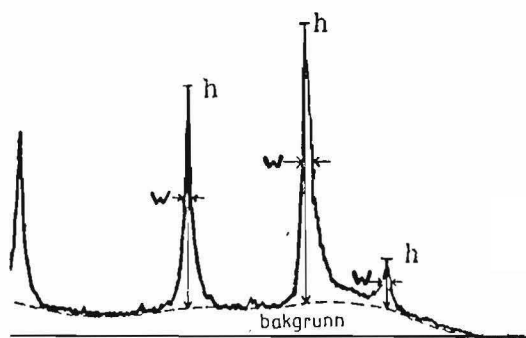
Prinsippet for røntgendiffraktometri går ut på at et bestemt mineral, bestrålt med monokromatisk røntgenstråling (bølgelengde λ) vil reflektere sekundærstråling som ved interferens gir karakteristiske reflekser ved bestemte streifvinkler (θ). Et diffraktogram registrerer intensiteten til alle slike reflekser som en funksjon av avbøyningsvinkelen (2θ). Korresponderende d-verdi beregnes ut fra Braggs formel $n\lambda = 2d \sin\theta$, der n er et helt tall (0, 1, 2, ...) og d er avstanden mellom parallelle refleksjonsplan. Utrekningen finnes i oppsatte omregningstabeller (Brindley & Brown, 1980). Krystalloppbygningen av et mineral vil gi opphav til flere forskjellige sett av refleksjonsplan og tilhørende reflekser. Ved tilnærmet uorienterte opptak av siltprøver vil man få alle (hkl)-refleksene, mens man for orienterte opptak av leireprøvene spesielt får frem 00l-refleksene (Brindley & Brown, 1980).

Sakte sveip i området 24-26°, 2 θ gjør det mulig å skjelne mellom mineralene kloritt og kaolinitt, som begge har en refleksjon ved 3,5 Å.

D-verdiene for 00l-refleksene til enkelte leirmineraler kan endre seg ved forskjellig forbehandling av prøven. En etylenglykolbehandling av prøven får ekspanderende mineraler slik som smektitt og illitt-blandsjiktmineraler til å svulle. Smektitt forandrer sin d-verdi etter behandling av prøven med etylenglykol til 17-18 Å. Illitt-blandsjiktmineraler kan svulle til ca. 14 Å (Brindley & Brown, 1980).

En varmebehandling av prøven får visse mineraler til å kollapse. Smektitt kollapser til et 10 Å-mineral, illitt-blandsjiktmineraler i området 10-14 Å kollapser til ca. 10-12 Å illitt-mineraler, dvs. symmetrien til 10 Å-refleksjonen forandres (Thorez, 1976 og Brindley & Brown, 1980).

XRD-metoden er hovedsaklig beregnet til kvalitativ bestemmelse av mineralinnhold (Brindley and Brown, 1980). Til kvantitativ fordeling av mineralinnholdet er metoden ikke egnet (Thorez, 1980). Ved en semi-kvantitativ undersøkelse beregnes mineralenes mengdeforhold ved å multiplisere røntgenrefleksjonenes toppintensitet (h) med halvverdi-bredden (w). Røntgenrefleksjonenes arealer, omregnet i prosent, kalles røntgenprosent. Det brukes til å undersøke endringer i mineralogien i prøver med relativ lik kornstørrelse og mineralinnhold. Bakgrunnen ble her trukket for hånd (figur 21). Refleksjoner benyttet til beregning av røntgenprosent er gitt i tabell 5.



Figur 21: Beregning av røntgenrefleksjonens arealer.

Røntgenrefleksjonens toppintensitet (h) multiplisert med halvverdi-bredden (w). Bakgrunnslinjen er inntegnet (---)

Tabell 5: Refleksjoner (Å) benyttet til beregning av røntgenprosent

Mineral	d-verdi (Å)
kvarts	4,26
kali-feltspat	3,24
plagioklas	3,19

3.1.5 Sveipe-elektronmikroskopi (SEM)

Et sveipe-elektronmikroskop er ideelt for studier av kornskjelett- og overflatestrukturer og kan ha oppløsning ned til 10 nanometer (0,00001 mm) med god dybdeskarphet.

Undersøkelsene ble utført på en JEOL JSM-840 Scanning Electron Microscope (SEM) med et tilkoblet LINK AN 10.000 X-RAY analysator med energidispersive stråler (EDS).

En homogen suspensjon (0,002-0,020 mm) ble dryppet på en glassplate og tørket ved romtemperatur. Prøver i fraksjonen 0,020-0,075 mm ble festet på prøveholderen med dobbelsidig tape. Videre preparering av prøvene til SEM ble utført av T. Winje, ved Institutt for Geologi, Universitetet i Oslo.

Prøven får et gull- eller karbonovertrekk påsprøytet og plasseres i sveipe-elektronmikroskopet. En elektronstråle føres over prøvens overflate og av sekundærstrålingens intensitet konstrueres et rasterbilde, punkt for punkt på en TV-skjerm. Ved å sende elektronstråler mot et punkt på mineralkornet (EDS) blir mineralets kjemiske sammensetning identifisert. Elementfordelingen i mineralkornet kommer frem på skjermen som et elementspektrum og identifiseres vha. et atlas over elementspektra (Welton, 1984). Gullovertrekket gir prøven en konduktiv overflate, og er nødvendig for å unngå dannelsen av overflateladning. Gullovertrekket forbedrer bildets kvalitet betraktelig. Ved bruk av karbon istedenfor gull unngår man gull(Au)-utslaget i den kjemiske analysen. Det gjør mineralbestemmelsen enklere, men kvaliteten på bildene blir noe dårligere.

3.2 Resultater

3.2.1 Jordartsklassifisering

En oversikt over resultater fra jordartsklassifiseringen er gitt i tabell 6.

Det er tilsammen undersøkt 13 prøver, derav 5 grusprøver fra Hovinmoen grustak, 4 finstoffprøver <0,075 mm (siktet ifra grusmateriale) fra Hovinmoen grustak og Glomstad grustak, 3 prøver fra finstoffrike lag i Hjera grustak og 1 prøve fra Kjellerholen (marin leire).

Tabell 6: Oversikt over resultater fra jordartsklassifiseringen

Prøve nr.	Grustak/sted	Jordartsbetegnelse	Maksimal kornstørrelse (mm)	Materiale <0,020 mm (% av total prøve)	Graderingstall Cu d60/d10	Telegruppe
02	Hovinmoen grustak	grusig, sandig materiale	19	3,7	22	T2
03	Hovinmoen grustak	sandig, grusig materiale	8	3,6	13	T2
04	Hovinmoen grustak	sandig, grusig materiale	8	4,2	10	T2
05*	Hovinmoen grustak	grusig sand	8	-	6,2	-
06	Hovinmoen grustak	leirig silt	0,075	56,0	12	T4
07	Hovinmoen grustak	leirig silt	0,075	54,9	10	T4
08	Hjera grustak	leirig silt	0,5	92,0	4,3	T4
09	Hjera grustak	leirig silt	0,5	90,0	3,9	T4
10	Hjera grustak	leirig silt	0,075	89,8	4,2	T4
12	Hovinmoen grustak	grusig, sandig materiale	19	2,8	19	T1
13	Hovinmoen grustak	leirig silt	0,075	51,1	11	T4
14	Glomstad grustak	leirig silt	0,075	47,9	10	T4
15**	Kjellerholen	leire	0,075	89,9	7,4	T4

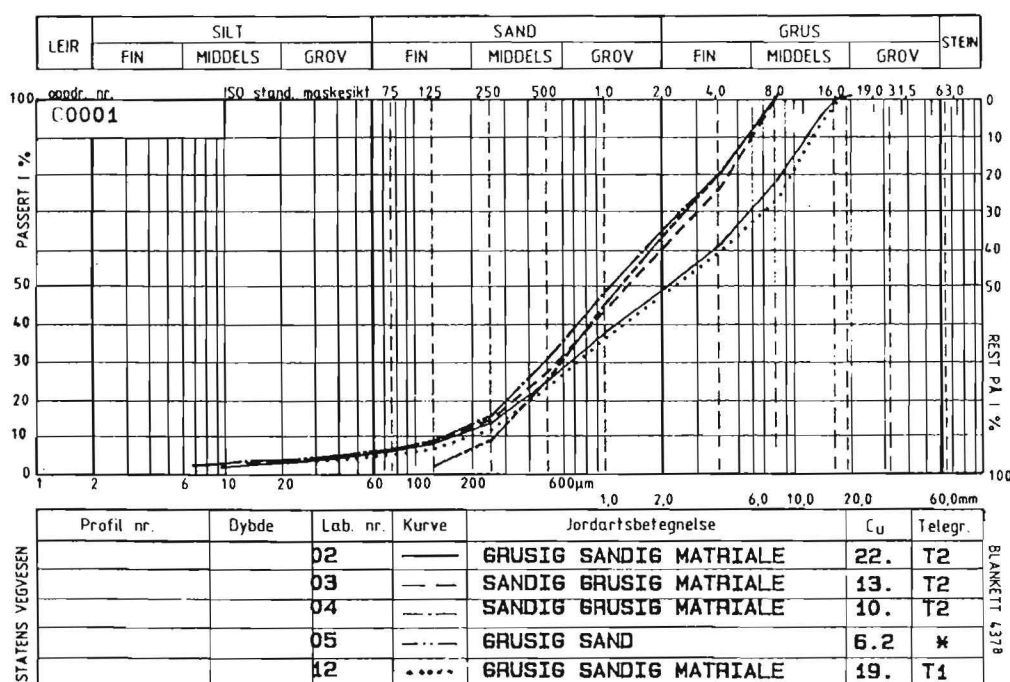
* frasiktet materiale <0,075 mm

** graderingstall Cu d60/d10 ikke målbar, tar Cu d75/d25 isteden

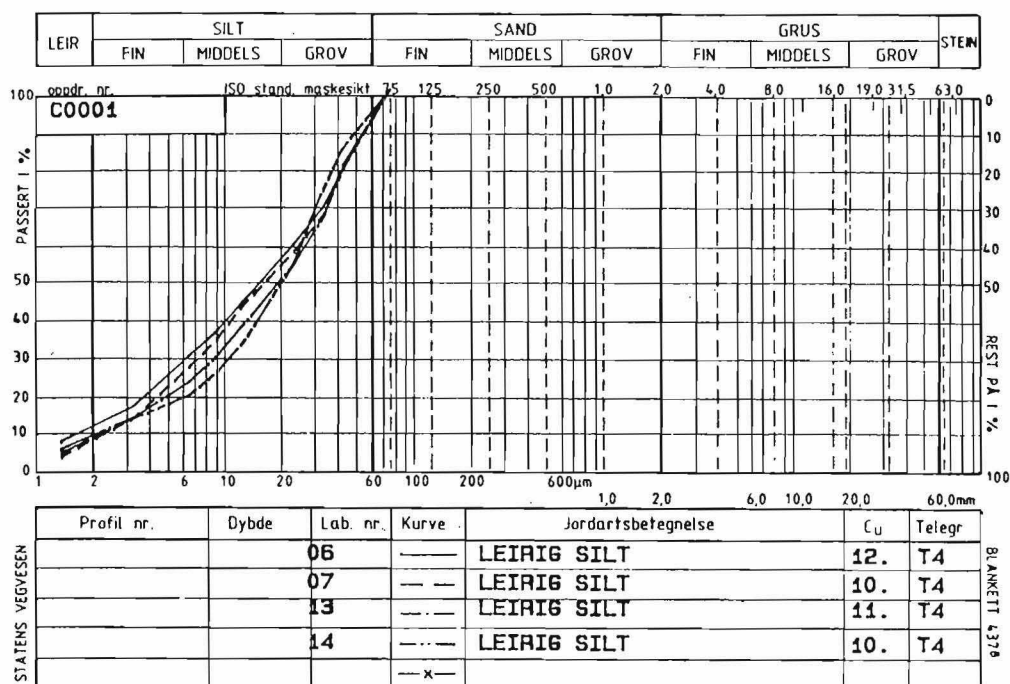
Prøvene 02-05 og 12 representerer grusprøver fra Hovinmoen grustak. Prøve 02 og 12 (figur 22) er begge et velgradert, grusig sandig materiale med en øvre korndiameter på 19 mm. Prøve 02 er såvidt telefarlig (T2). Prøve 12 med en finstoffandel på 2,7 % <0,020 mm har lavest finstoffinnhold og tilhører telegruppe T1. Prøve 03 og 04 er begge et middelsgradert, sandig grusig materiale med en øvre korndiameter på 8 mm. Prøvene er begge telefarlige (T2). Prøve 05 er en middelsgradert grusig sand med en øvre korndiameter på <8 mm. Finstoffet <0,075 mm er her siktet ut og graderingstallet er 6,2. Telegruppebestemmelse er utelatt fordi finstoffet mangler.

Finstoffprøver fra Hovinmoen grustak prøve 06, 07 og 13, og fra Glomstad grustak prøve 14, beskriver en middelsgradert, leirig silt <0,075 mm. Andel materiale <0,020 mm er omkring 50 %, og prøvene tilhører dermed telegruppe T4 (figur 23).

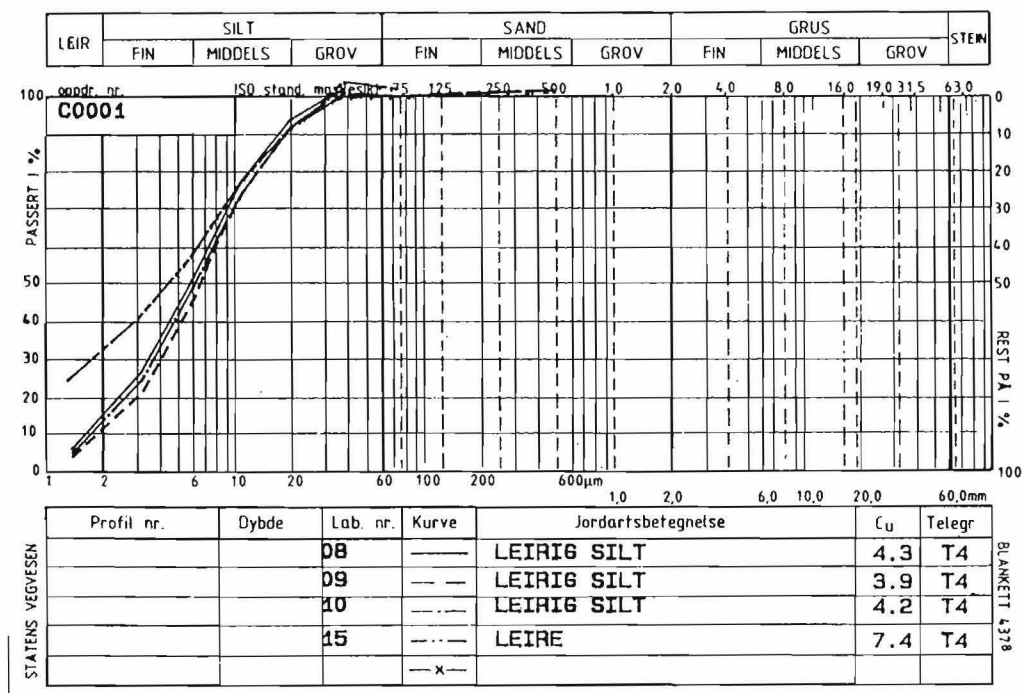
Finstoffprøver fra Hjera grustak prøve 08, 09 og 10 beskriver en ensgradert, leirig silt <0,075 mm og finstoffprøve fra Kjellerholen prøve 15 er en ensgradert leire <0,075 mm. Andel materiale <0,020 mm er omkring 90 %, og prøvene tilhører telegruppe T4 (figur 24).



Figur 22: Jordartsklassifisering for grusprøvene 02-05 og 12 fra Hovinmoen



Figur 23: Jordartsklassifisering for finstoffprøvene 06, 07 og 13 fra Hovinmoen og prøve 14 fra Glomstad



Figur 24: Jordartsklassifisering for finstoffprøvene 08-10 fra Hjera og prøve 15 fra Kjellerholen

Bergartssammensetningen i fraksjonen 1-8 mm er dominert av grunnfjellsbergartene gneis og granitt, som utgjør ca. 35-40 % av prøven. Sandstein (sparagmitt) utgjør ca. 20-30 %, kvartsitt mellom ca. 15 og 20 %, gabbro og amfibolitt ca. 10-15 % og kalkstein og kalkholdig sandstein utgjør ca. 8-12 % i fraksjonen 1-8 mm.

Innholdet av kvarts og feltspat frikorn i prøven øker sterkt med avtagende kornstørrelse. I fraksjonen 1-2 mm er andelen 6 % og øker til 65 % i fraksjonen 0,125-0,25 mm.

Andel bergartsfragmenter halveres i sandfraksjonen, fra 51 % i 0,5-1 mm fraksjonen til mellom 24 og 29 % i 0,125-0,5 mm fraksjonen.

Mengden av frikorn av glimmer og mørke mineraler i sandfraksjonen er konstant, med avtagende kornstørrelse, henholdsvis ca. 3 og 6 %.

Andel forvitrede korn i grusfraksjonen er ca. 10 % og øker til mellom 10 og 20 % i sandfraksjonen. Finstoffbelegg finnes i alle fraksjoner og er økende i de finere fraksjonene, hvor det også ble påvist jordklumper. Belegget fjernes ikke ved tørrsikting i 10 min., men fjernes lett ved vasking. Et brunt belegg antas å være vesentlig rustutfelling. Andre forurensninger er rot-trevler (små/tynne), men i meget små mengder. Kalkspat ble påvist i alle fraksjoner, men avtagende i de finere fraksjonene, sannsynligvis pga. forvitring.

3.2.4 Røntgendiffraktometri (XRD)

En oversikt over refleksjoner funnet i leirfraksjonens ubehandlede prøve (UB), etylenglykolbehandlet prøve (EB), og varmebehandlet prøve (VB) er vist i tabell 8 og 9 og figurene 25 og 26.

4,7-14 Å-mineraler

Leirfraksjonen (<0,002 mm) fra ubehandlet finstoff fra Hjera (figur 25) viste følgende refleksjoner:

kloritt (001)	d=14,1 Å
blandsjiktmineraler	d=10-14 Å
illitt (001)/muskovitt (002)	d=10,0 Å
amfibol	d=8,5 Å
kloritt (002)	d=7,1 Å
kloritt (003)	d=4,7 Å.

Ved etylenglykolbehandling (figur 25) forsvinner smårefleksjonene mellom d=10 og 14 Å og blandsjiktmineralene sveller slik at en ny, meget svak refleksjon dukker opp ved d=15,5 Å og bakgrunnen mellom 14 og 17 Å øker i forhold til den ubehandlede prøven. Illitt/muskovitt

10,0 Å-refleksjonen forandrer seg fra en usymmetrisk fasong i den ubehandlede prøven til en symmetrisk 10,0 Å-refleksjon i den etylenglykolbehandlede prøven.

Ved varmebehandling av prøven (figur 25) forsvinner refleksjonen ved $d=15,5$ Å, og bakgrunnen reduseres slik den var i den ubehandlede prøven. Det skjer en forandring i refleksjonenes intensitet. Illitt/muskovitt 10,0 Å-refleksjonen får en noe høyere intensitet og kloritt 7,1 Å og 4,7 Å-refleksjonene får en betraktelig reduksjon i intensiteten. Illitt/muskovitt refleksjonen ved $d=10,0$ Å forblir symmetrisk.

Leirfraksjonen ($<0,002$ mm) fra ubehandlet finstoff fra Hovinmoen (figur 26) har følgende refleksjoner:

kloritt (001)	$d=14,1$ Å
illitt (002)/muskovitt (001)	$d=10,0$ Å
amfibol	$d=8,5$ Å
kloritt (002)	$d=7,1$ Å
kloritt (003)	$d=4,7$ Å

Etylenglykolbehandling (figur 26) resulterer i en økt bakgrunn i området 14-17 Å som følge av svellende blandskjiktmineraler. Illitt/muskovitt refleksjonen ved 10,0 Å forandrer seg fra en usymmetrisk fasong i den ubehandlede prøven til en symmetrisk refleksjon etter etylenglykolbehandlingen.

Ved varmebehandling (figur 26) reduseres bakgrunnen i området 14-17 Å slik den var i den ubehandlede prøven. Kloritt refleksjonene ved $d=7,1$ Å og 4,7 Å minker betraktelig i intensitet. Illitt/muskovitt refleksjonen ved $d=10,0$ Å beholder sin symmetriske fasong og refleksjonen øker noe i intensitet.

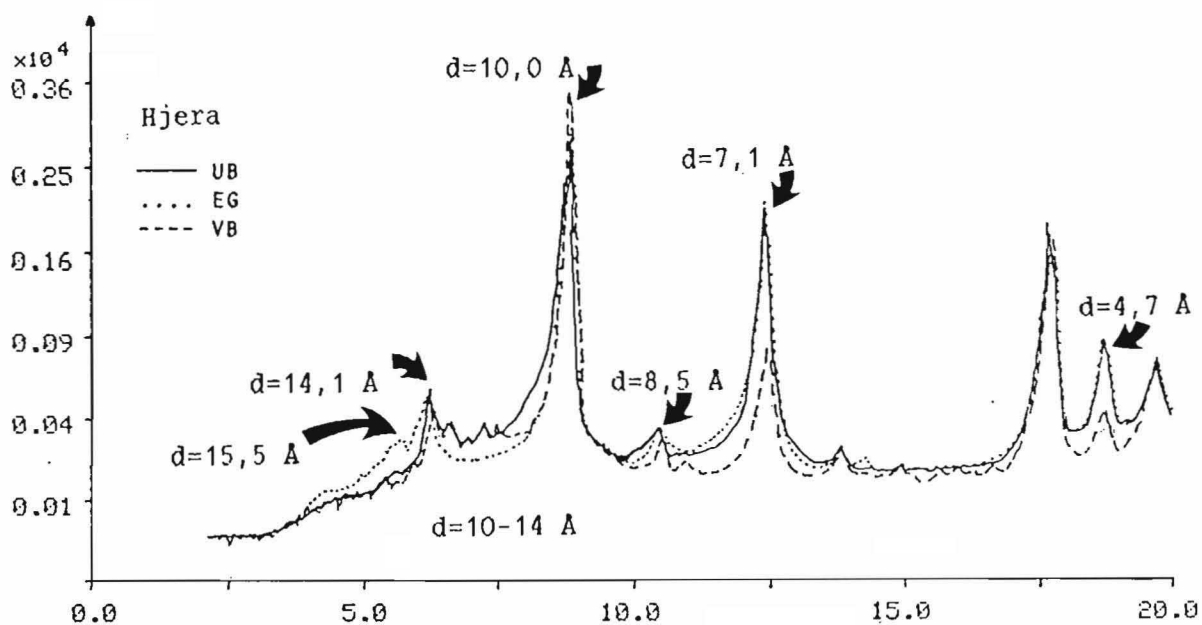
3,19-4,26 Å-mineraler

Sakte sveip (Brindley & Brown, 1980) av de ubehandlede prøver fra Hovinmoen og Hjera viste en refleksjon ved omkring $d=3,53$ Å og 3,55 Å, identisk med kloritt (004)-refleksjonen.

Røntgenprosentberegningene viser at mineralogien til siltprøvene fra Hjera og Hovinmoen (0,002-0,020 mm og 0,020-0,075 mm) er tilnærmet identiske (tabell 10). For siltprøvene fra både Hjera og Hovinmoen skjer det en reduksjon i røntgenprosenten med avtagende kornstørrelse for kvarts ($d=4,26$ Å) og plagioklas ($d=3,19$ Å). Røntgenprosent for kali-feltspat ($d=3,25$ Å) øker med avtagende kornstørrelse i siltfraksjonen.

Tabell 8: Refleksjonene (Å) til leirprøven fra Hjera (ubehandlet (UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB) prøve)

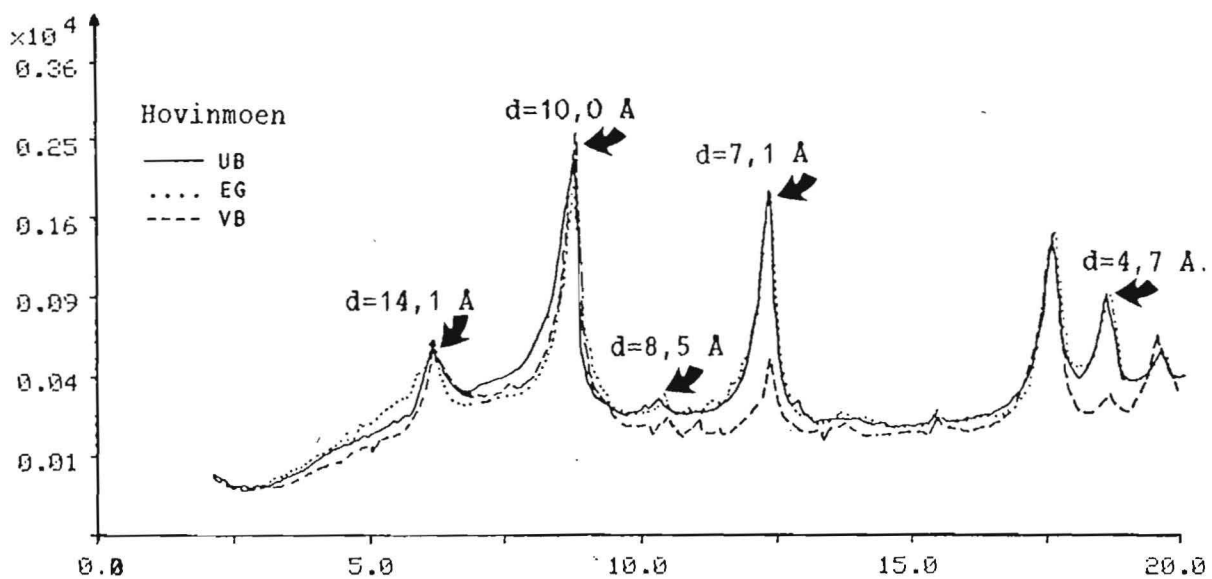
H J E R A					
Mineral (001) refleksjon	d-verdi (Å)				
	0-0,002 mm			0,002-	0,020-
	UB	EG	VB	0,020 mm	0,075 mm
Kloritt (001)	14.1245	14.2440	13.9628	14.2440	14.2555
Illitt (001)	10.0008	9.9952	9.9307	9.9952	10.0008
Amfibolitt	8.4606	8.4505	8.4	8.4525	8.4566
Kloritt (002)	7.0784	7.0784	7.0798	7.0784	7.0784
Kloritt (003)	4.7157	4.7232	4.7251	4.7176	4.7188
Kvarts (100)	4.2595			4.2600	4.2600
Kloritt (004)	3.5412			3.5370	3.5443
Kali-feltspat (040/202)	3.2513			3.25	3.2513
Plagioklas (002/040)	3.2026			3.1992	3.1964



Figur 25: Røntgendiffraktogram for leirprøve fra Hjera (ubehandlet (UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB) prøve)

Tabell 9: Refleksjonene (Å) til leirprøven fra Hovinmoen (ubehandlet (UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB) prøve)

HOVINMOEN					
Mineral (001) refleksjon	d-verdi (Å)				
	0-0,002 mm			0,002-	0,020-
	UB	EG	VB	0,020 mm	0,075 mm
Kloritt (001)	14.3190	14.3074	14.1812	14.2383	13.9849
Illitt (001)	10.1325	10.0634	10.0662	10.0662	9.9279
Amfibolitt	8.5422	8.4890	8.5	8.4505	8.3905
Kloritt (002)	7.1454	7.1267	7.1425	7.1125	7.0447
Kloritt (003)	4.7470	4.7382	4.7603	4.7089	4.7326
Kvarts (100)	4.2839			4.2717	4.2474
Kloritt (004)	3.5565			3.5523	3.5291
Kali-feltspat (040/202)	3.25			3.2513	3.25
Plagioklas (002/040)	3.2071			3.1964	3.1897



Figur 26: Røntgendiffraktogram for leirprøve fra Hovinmoen (ubehandlet (UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB) prøve)

Røntgenprosentforhold kali-feltspat:plagioklas er ca. 1:3,5 for siltfraksjonsprøvene fra Hjera, og 1:2,5 for siltfraksjonsprøvene fra Hovinmoen. I leirfraksjonen er dette forholdet 4,5:1 for prøven fra Hjera og 5,5:1 for prøven fra Hovinmoen. Andel plagioklas avtar i leirprøvene i forhold til andel kali-feltspat, og dette omtrent i like stor grad for prøvene fra både Hjera og Hovinmoen.

Røntgenprosentforholdet kvarts:feltspat er 1:3 for siltfraksjonen, og 2:1 for leirfraksjonen, til prøvene fra både Hjera og Hovinmoen. Andel feltspat ble mindre i forhold til andel kvarts i leirprøvene.

Tabell 10: Røntgenprosentberegning for 3,19-4,26 Å mineralene kvarts, kali-feltspat og plagioklas

Mineral (Å)	Hjera		
	0-0,002 mm	0,002-0,020 mm	0,020-0,075 mm
Kvarts (4.26Å)	33% (100)	24% (279)	27% (387)
Kali-feltspat (3.25Å)	55% (167)	14% (165)	19% (270)
Plagioklas (3.19Å)	12% (38)	62% (704)	54% (755)
SUM	100% (305)	100% (1148)	100% (1412)

Mineral (Å)	Hovinmoen		
	0-0,002 mm	0,002-0,020 mm	0,020-0,075 mm
Kvarts (4.26Å)	36% (79)	24% (226)	22% (378)
Kali-feltspat (3.25Å)	54% (117)	23% (224)	28% (475)
Plagioklas (3.19Å)	10% (21)	53% (504)	50% (830)
SUM	100% (391)	100% (954)	100% (1683)

Om det finnes sulfider eller karbonater i prøvene, så er det i meget beskjedne mengder. D-verdiene til sulfid- og karbonatmineralene er ikke identiske med noen av de mer markante refleksjonene til prøvene fra hverken Hjera eller Hovinmoen.

3.2.5 Sveipe-elektronmikroskopi (SEM)

Fraksjon 0-0,002 mm fra Hjera og Hovinmoen ble ikke undersøkt, siden den utgjør maksimalt kun 1 % i alle benyttede grusprøver, og leirmineralogi allerede er blitt undersøkt vha. røntgendiffraktometer.

I fraksjonen 0,002-0,020 mm fra Hjera og Hovinmoen er kornformen for de fleste korn kantet, med noen ytterst få kantrundete korn. Kornene

har stort sett rene mineraloverflater, men noen meget få korn er slitt i kanten eller har et tydelig belegg av jern på kornoverflaten (figur 27 og 28, og vedlegg 1 og 2).

Fraksjonen 0,020-0,075 mm fra Hjera og Hovinmoen ble ikke undersøkt. Grunnen er at disse store partiklene ikke lot seg feste på prøveholderen. Kornene rørte på seg under forstørrelsesprosessen slik at det hverken kunne tas bilde eller utføres kjemisk analyse.

Kvarts

Mineralkorn bestående av SiO_2 er kvarts. Kvartskorn er kantet med til dels skarpe kanter. Overflaten er glatt og ren med et for mineralet typisk glatt og muslig brudd. Av og til kan feltspatmineraler utseendemessig ligne på kvartsmineraler.

Feltspat

Mineralkorn med et Al:Si-forhold på ca. 1:3 og K, Na eller Ca-innhold, dvs. feltspat, er noe mer avrundet i kantene enn kvartskorn, men dog kantet av kornform. Albitt ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) i plagioklasserier viser til dels tydelig kløv (90°).

Glimmer

Mineralkorn med et Al:Si forhold på ca. 1:1 er glimmer. Ved høyt kaliuminnhold har man muskovitt, ved høyt jern- eller magnesiuminnhold har man biotitt. Selv om glimmer er et mykt mineral er mineralkornene kantet, til dels kantrundet på store, tykke korn.

Amfibol

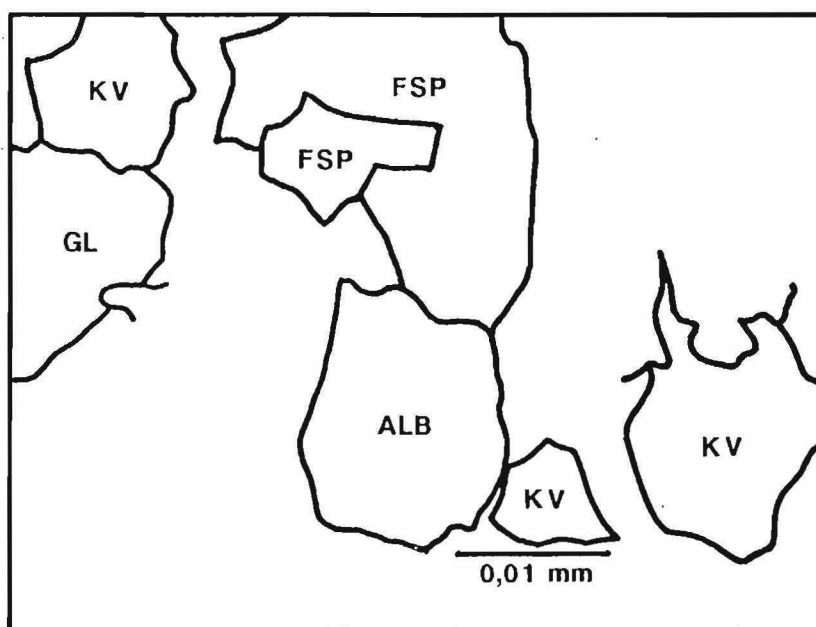
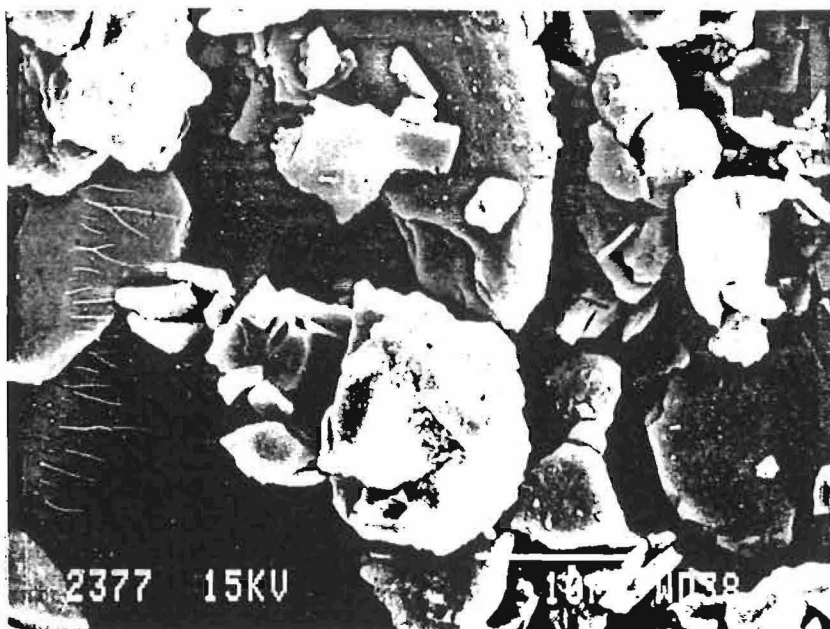
Mineralkorn med et Al:Si-forhold under 1 og noe Ca, Na og noe mer Mg (evt. Fe), eller bestående av Si og Mg (evt. Fe), tilhører amfibolgruppen. Mineralkornene av amfibolgruppen, som er funnet i prøve fra Hovinmoen er kantet, og det er tegn til 120° kløvflater.

Annet

Sulfider (f.eks. FeS, pyritt) og karbonater (f.eks. CaCO_3 , kalsitt eller $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, dolomitt) forekommer ikke i prøvene.

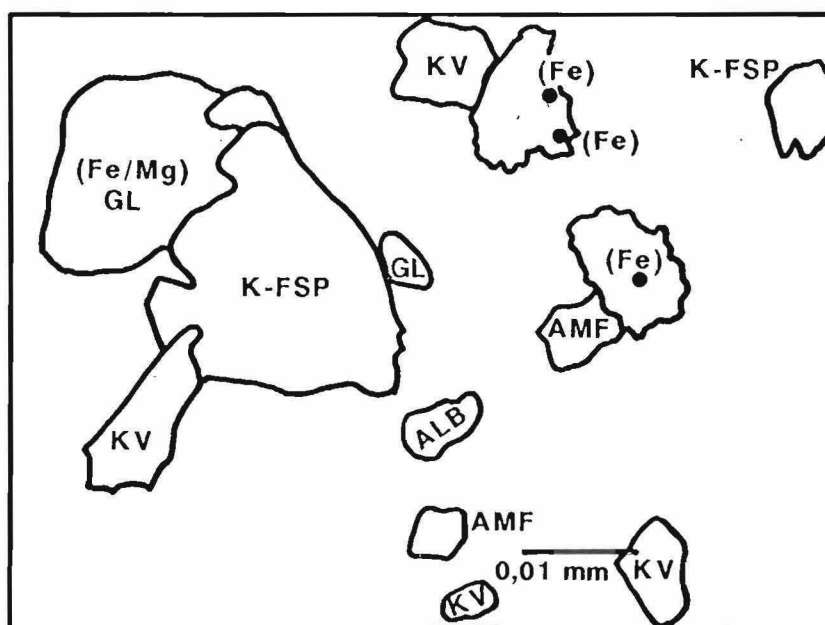
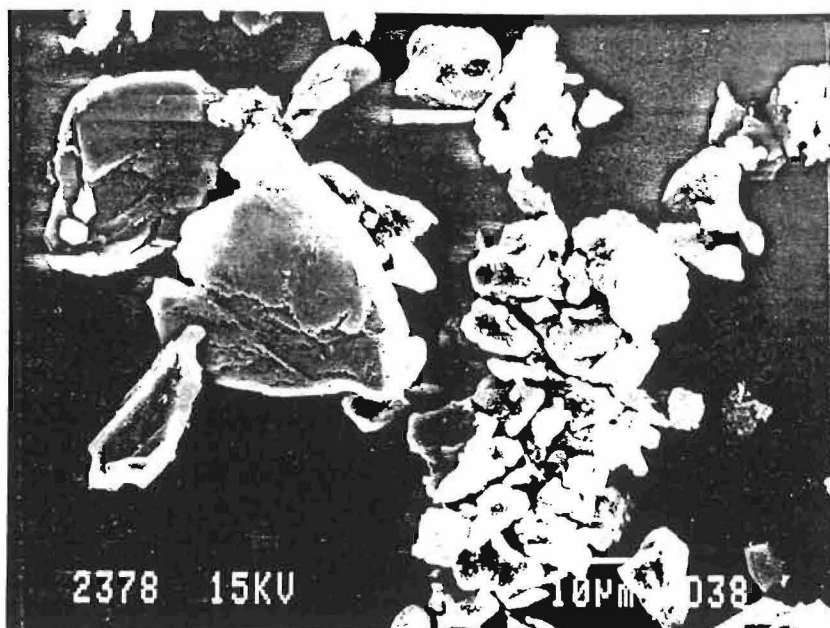
Tegn til forvitring av mineralkorn er det svært få av. Noen få feltspatkorn er slitt i kanten og viser tegn til oppløsning.

Noen mineralkorn i materialet fra Hovinmoen er umulig å identifisere på grunn av et belegg av jern på mineraloverflaten.



KV	kvarts
GL	glimmer
FSP	feltspat
ALB	albitt

Figur 27: Sveipe elektronmikroskopfoto og skisse for gullbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hjera



KV	kvarts	K-FSP	kali-feltspat
GL	glimmer	AMF	amfibol
FSP	feltspat	(Fe)	jern
ALB	albitt	(Mg)	magnesium

Figur 28: Sveipe elektronmikroskopfoto og skisse for gullbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hovinmoen

3.3 Diskusjon

Grusmateriale

Grusmateriale fra Hovinmoen grustak er velgradert, noe som bl.a. er vanlig for breelvavsatte sedimenter.

Resultatene fra bergartstillingen av grusmaterialet fra Hovinmoen viser at breelvene må ha tatt veien gjennom sparagmittområdet nord for Lillehammer, kambrosilur/hornfelsområdet ved Hamar og de store sydøstnorske grunnfjellsområdene. Finfraksjonene, som er undersøkt ved hjelp av sveipe-elektronmikroskop og røntgendiffraktometer, viser en mineralfordeling som tilsvarer gjennomsnittet i bergartstillingen av kornstørrelsene 0,125-1 mm. Bergartssammensetningens innvirkning på finmaterialets mineralogi diskuteres i kapittel 6.

Finmateriale

Finstoffet ($\leq 0,075$ mm) fra Hovinmoen og Glomstad grustak har ca. 50 % materiale $\leq 0,020$ mm og finstoffet ($\leq 0,075$ mm) fra Hjera og Kjellerholen har ca. 90 % materiale $\leq 0,020$ mm. Denne forskjellen i andel materiale $\leq 0,020$ mm og plastisitet påvirker muligens resultatene fra forsøket med vibrerende belastning og tynnslipundersøkelsene, og diskuteres i kapittel 6.

Sveipe-elektronmikroskop- og røntgendiffraktometer-undersøkelser av finstoff fra Hovinmoen og Hjera har vist at forvitringen av korn helt ned til leirfraksjonen har vært meget beskjeden. Finsiltfraksjonen (0,002-0,020 mm) består hovedsaklig av kantede korn med glatte, uforvitrede mineraloverflater. En slik kantet kornform i finsiltfraksjonen til finstoffprøvene fra både Hjera og Hovinmoen kan være årsaken til den ikke-plastiske oppførselen til materialene.

Sveipe-elektronmikroskop-undersøkelsene av finstoffprøvene fra Hovinmoen viser en del jernutfelling. Uttaksmassene i Hovinmoen grustak ligger over grunnvannsspeilet, hvor oksidasjon har virket frem til i dag. Finstoffprøver fra Hjera viser ingen tegn på oksidasjon, dvs. Fe-belegg, selv om uttaksmassene i Hjera grustak også ligger over grunnvannsspeilet. Årsaken er nok at finstoffprøvene fra Hjera grustak stammer fra isolerte, upermeable, meget tette lag av leirig silt, som begrenser oksidasjon i disse lagpakkene. De mer porøse sandlagene over og rundt siltavleiringene er rødbrunfarvet pga. oksidasjonsprosessen.

Leirfraksjonen fra Hovinmoen og Hjera bærer preg av forvitring. Forholdet kali-feltspat:plagioklas holdt seg konstant i siltfraksjonene (0,002- 0,020 og 0,020-0,075 mm) og endret seg med en

faktor på ca. 12 i leirfraksjonene (0-0,002 mm). Det vil si at leirprøvene fra både Hjera og Hovinmoen har samme reduksjon i plagioklas-andelen.

Leirmineralene smektitt og kaolinitt forekommer hverken i prøvene fra Hovinmoen eller Hjera. Illitt/muskovitt-refleksjonene består nok overveiende av illitt. En usymmetrisk 10 Å (001)-refleksjon mot høye d-verdier (Å) og en usymmetrisk 3,3 Å (003)-refleksjon mot lave d-verdier (Å), viser dette tydelig. Typisk for illitt-blandsjikt-mineraler er den usymmetriske 10 Å (001)-refleksjonen blir til en symmetrisk refleksjon etter etylenglykol- og varmebehandling. Blandsjiktmineralene er sannsynligvis illitt/smektitt.

Kloritt i prøvene fra Hovinmoen og Hjera er en klastisk kloritt. Refleksjonsarealet ved 7 Å kollapser (til nesten 1/3) etter varmebehandling. Dette er typisk for resente, dårlig krystalliserte mineraler (Brindley & Brown, 1980, og Thorez, 1976). I resente leir-sedimenter finnes klastisk kloritt kun på høye breddegrader, og da i form av magnesiumrike kloritter. (Bjørlykke 1984, og Tröger 1969).

Undersøkelsene av finfraksjonen fra Hovinmoen og Hjera viser at siltfraksjonen 0,002-0,020 og 0,020-0,075 mm fra både Hovinmoen og Hjera er nesten identiske:

- samme tilførselsområdet for grusmaterialet
- samme mineralogi i siltfraksjonen

Det forekommer ingen smektitt eller kaolinitt i leirfraksjonen, men noen illitt- blandsjiktmineraler (muligens illitt-smektitt).

fraksjonen utgjør maksimalt 1 % i alle benyttede grusprøver. innholdet av illitt-blandsjiktmineralene vil av denne grunn ikke ha noe innflytelse på vegens bæreevne.

4. FORSØK MED VIBRERENDE BELASTNING

4.1 Metodebeskrivelse

Forsøksmetodikken er enkel og resultatet er for så vidt uavhengig av hvem som måtte foreta undersøkelsen, om metodebeskrivelsen blir fulgt nøyaktig (Hauck, 1987).

Metoden går ut på at en proctorkomprimert grusprøve med et vanninnhold noe over det optimale utsettes for syklisk belastning. Det er slik man forestiller seg situasjonen i et bærelag i teletøsningsperioden utsatt for belastning fra tunge kjøretøyer. Forsøket bygger på CBR-undersøkelser utført på grusmateriale fra Hovinmoen grustak (Gaskin, 1981, se også kapittel 1.3). Metoden er et forenklet CBR-forsøk, der et stempel (3 kg, 19,6 cm²) står sentralt og fritt oppå en grusprøve på en vibratormaskin. Stempelet synker og deformerer prøven pga. sin egen vekt og vibrasjonen. Stempelets innsynkning måles som funksjon av tid, på prøver med varierende finstoffmengde, mineralogi og plastisitet.

Grusmaterialet fra Hovinmoen grustak (0,075-16 mm) ble blandet med finstoff (<0,075 mm) fra henholdsvis Hovinmoen, Glomstad og Kjellerholen (tabell 11). Grus- og finmateriale er beskrevet i kapittel 1.6 og 3.2.

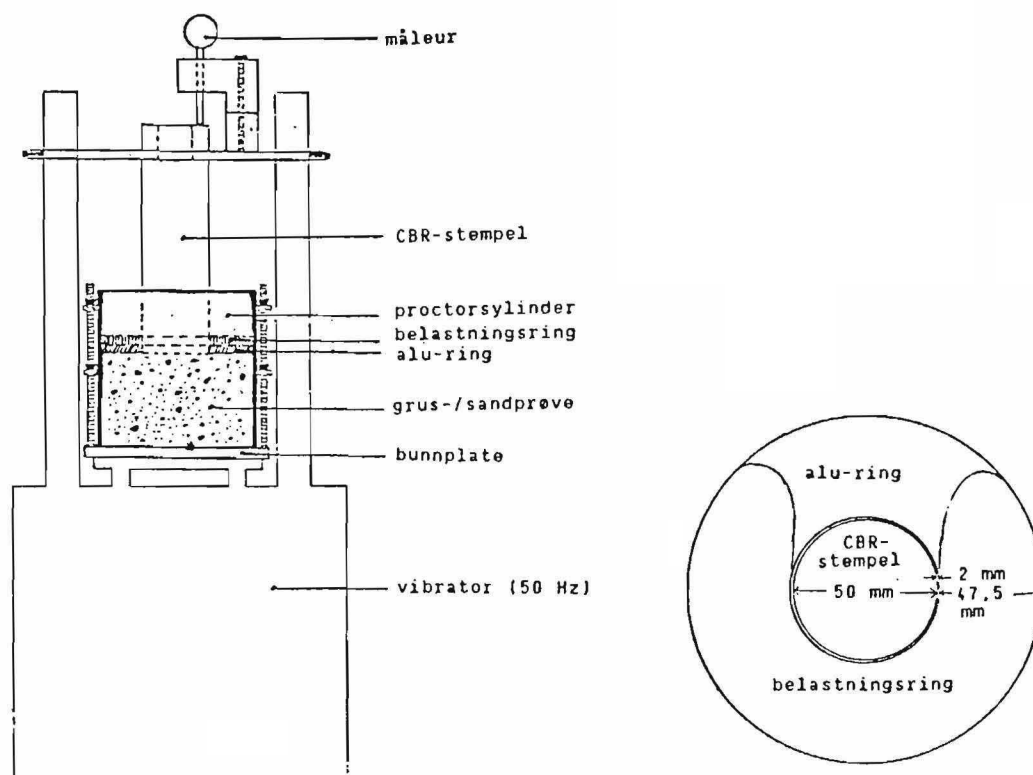
Tabell 11: Blanding av grov- og finmateriale for forsøket med vibrerende belastning

Hovinmoen grovmateriale (16 mm-0,075 mm), Kornkurve nr. 02, blandet med finstoff (<0,075 mm):					
Kornkurve Lab.nr.	Finstofftype	Maksimal kornstørrelse (mm)	%andel materiale <0,020 mm (<0,075 mm) av den totale prøven		
			Pr ø v e 1	Pr ø v e 2	Pr ø v e 3
13	Hovinmoen finstoff	0,075	3,6 (7,0)	4,3 (8,5)	6,1 (12,0)
14	Glomstad finstoff	0,075	3,4 (7,0)	4,1 (8,5)	5,7 (12,0)
15	Kjellerholen finstoff	0,075	4,0 (4,5)	5,8 (6,5)	10,8 (12,0)

Prøvene med ulikt finmaterialinnhold og et vanninnhold på 7,5 % (gjennomsnitt av Gaskins undersøkelser, Gaskin, 1981) ble bygget inn i en CBR-sylinder og komprimert med Standard Proctor i tre lag à 50 slag (Statens vegvesen, 1983, kapittel 161).

Prøvene ble neddykket i vannbad i ca. 16 timer med vannspeilet i samme høyde som prøvenes overflate. Prøvene var plassert på en perforert bunnplate, slik at vannet også kunne trenge inn i prøvene nedenfra.

Forsøksapparatet er vist på figur 29. CBR-sylinderen ble spent fast på vibratoren. Vibratoren ble utstyrt med et måleuret for deformasjon og en plate med en føringsring for å holde CBR-stempelet på plass i forhold til måleuret. For å hindre utpressing av prøven rundt CBR-stempelet ble det lagt på en ring av aluminium, samt noen belastningsringer rett før forsøkets start. Under prøveomgangen ble belastning via CBR-stempelet og belastningsringene fastsatt til henholdsvis 3 og 5 N, tilsvarende et flatetrykk på henholdsvis 0,16 og 0,08 N/cm². Vibratoren var utstyrt med en frekvens på 50 Hz.



Figur 29: Forsøksapparat for forsøk med vibrerende belastning

Grusprøvene ble tilsatt vann som skulle tilsvare det optimale vanninnholdet (Gaskin, 1981). Prøvene med finstoff fra Glomstad kjentes mye tørrere etter innblandingen enn prøvene både fra Hovinmoen og Kjellerholen. Etter proctorkomprimering var prøveoverflaten til prøvene med finstoff fra Glomstad helt tørre. På overflatene til prøvene med finstoff fra både Hovinmoen og Kjellerholen begynte det så vidt å samle seg vann etter siste proctorslag.

Figurene 30, 31 og 32 viser deformasjonsforløpet, dvs. belastningsstempelets innsynkningsforløp, for prøver med finstoff fra henholdsvis Hovinmoen, Glomstad og Kjellerholen (se også vedlegg 3).

4.2.1 Hovinmoen grusprøver med finstoff fra Hovinmoen

Figur 30 viser deformasjonsforløpet til grusprøvene 1, 2 og 3 med finstoff fra Hovinmoen.

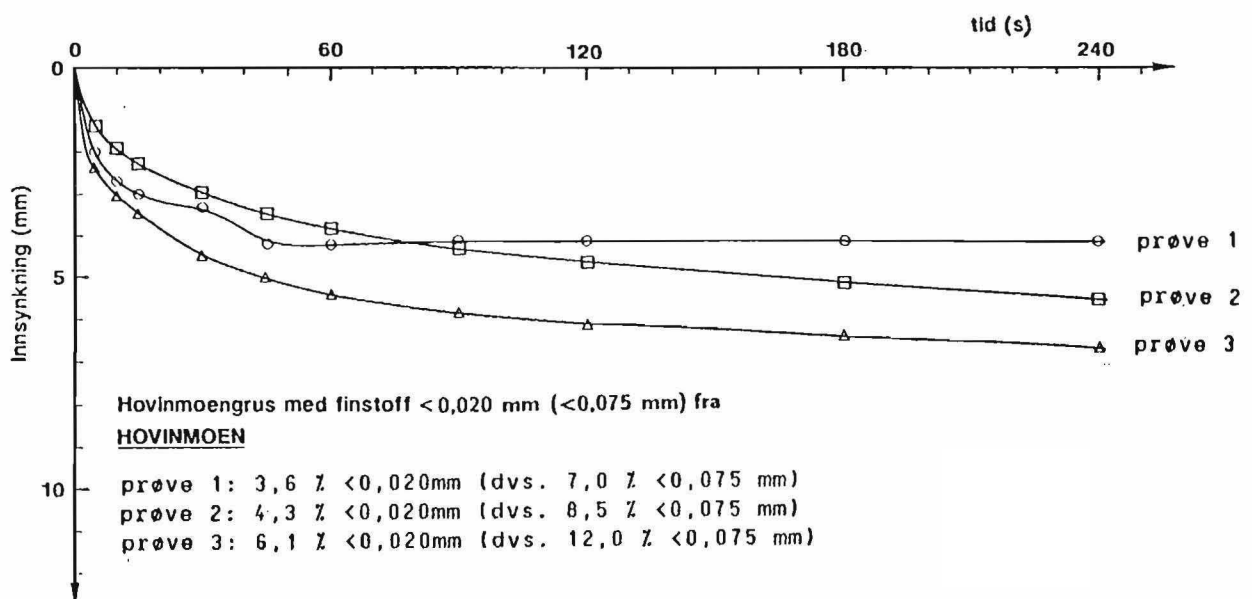
Prøve 1: 3,6 vektprosent finstoff <0,020 mm

Prøve 2: 4,3 vektprosent finstoff <0,020 mm

Prøve 3: 6,1 vektprosent finstoff <0,020 mm

Fra 0-10 sekunder etter start er det prøve 3 som har lavest deformasjonshastighet, så følger prøve 1 og prøve 2 har størst deformasjonshastighet. Fra 10-30 sekunder etter start er det prøve 1 som har lavest deformasjonshastighet, så følger prøve 3 og dernest prøve 2.

Mellom 30 og 45 sekunder etter start fikk prøve 1, med minst finstoffinnhold, en liten rask økning i deformasjonshastigheten. Deretter gikk deformasjonshastigheten til prøve 1 mot null. Deformasjonshastigheten for prøve 2 avtok jevnt med tiden og gikk mot null etter 120 sekunder fra start. Prøve 3, med mest finstoffinnhold, hadde størst deformasjonshastighet fra 30 sekunder og utover, og fra 60 sekunder holdt hastigheten seg konstant.



Figur 30: Deformasjon av grusprøver fra Hovinmoen med finstoff fra Hovinmoen under vibrerende belastning

4.2.2 Hovinmoen grusprøver med finstoff fra Glomstad

Figur 31 viser deformasjonsforløpet til grusprøvene 1, 2 og 3 med finstoff fra Glomstad.

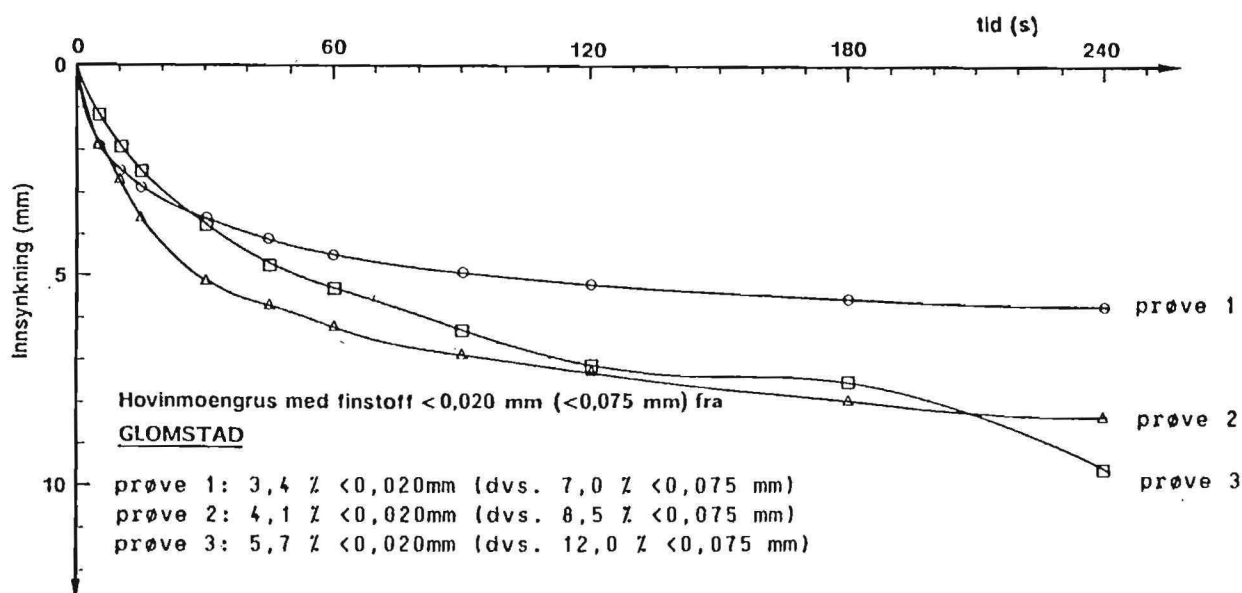
Prøve 1: 3,4 vektprosent finstoff <0,020 mm

Prøve 2: 4,1 vektprosent finstoff <0,020 mm

Prøve 3: 5,7 vektprosent finstoff <0,020 mm

Fra 0-5 sekunder etter start er det prøve 3 som har lavest deformasjonshastighet, så følger prøve 1, og prøve 2 har størst deformasjonshastighet. Fra 10-30 sekunder etter start er det prøve 1 som har lavest deformasjonshastighet, så følger prøve 3 og dernest prøve 2. Tilsvarende deformasjonsforløp forekommer for prøvene med finstoff fra Hovinmoen, se kapittel 4.2.1 (henholdsvis i tidsintervallet 0-10 og 10-30 sekunder).

Fra 30 sekunder og utover er deformasjonshastigheten til prøve 1 fortsatt lavest. Deformasjonshastigheten til prøve 2 er nest lavest, men blir etter hvert parallell med deformasjonshastigheten til prøve 1. Deformasjonshastigheten til prøve 3 er nå størst og øker ytterligere etter 60 sekunder. Ved 120 sekunder får prøve 3 en stopp i deformasjonen, etterfulgt av en rask økning i deformasjonshastigheten etter 180 sekunder.



Figur 31: Deformasjon av grusprøver fra Hovinmoen med finstoff fra Glomstad under vibrerende belastning

4.2.3 Høvinmoen grusprøver med finstoff fra Kjellerholen

Figur 32 viser deformasjonsforløpet til grusprøvene 1, 2 og 3 med finstoff fra Kjellerholen.

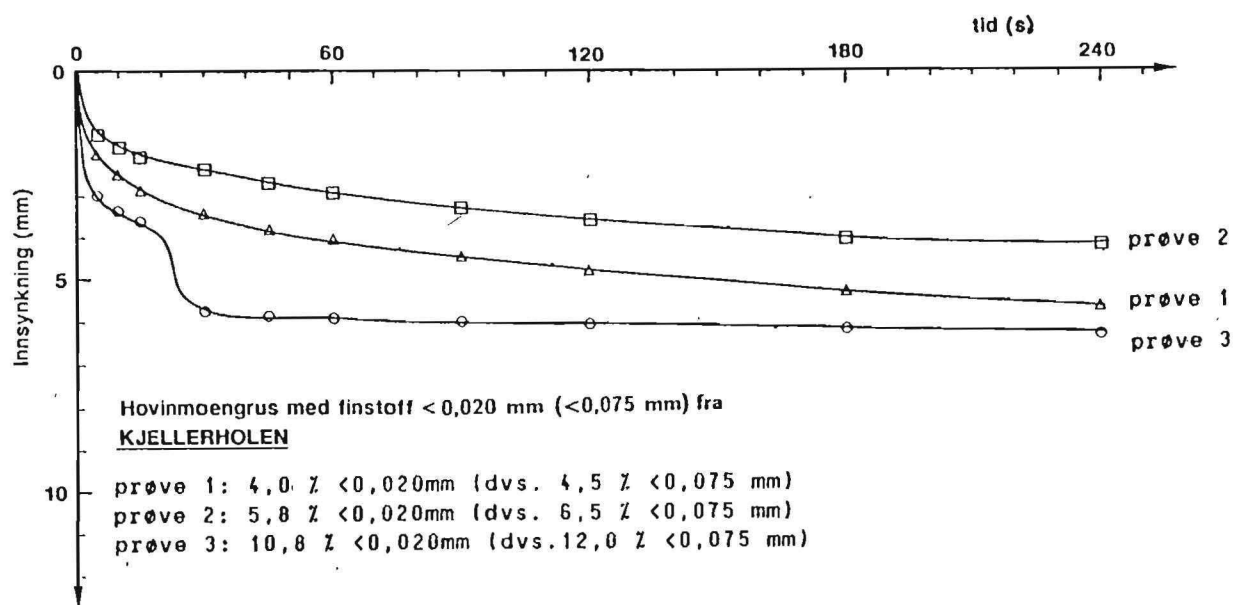
Prøve 1: 4,0 vektprosent finstoff <0,020 mm

Prøve 2: 5,8 vektprosent finstoff <0,020 mm

Prøve 3: 10,8 vektprosent finstoff <0,020 mm

Fra 0-30 sekunder etter start er det prøve 2 som har lavest deformasjonshastighet, så følger prøve 1 og dernest prøve 3. Prøve 3 gjennomgår dessuten en brå, sterk økning i deformasjonshastigheten i intervallet 20-30 sekunder. Deformasjonsforløpet til prøve 2 ligner i store trekk på det til prøve 1 med finstoff fra Høvinmoen.

Fra 30 sekunder og utover går deformasjonshastigheten til prøve 2 langsomt mot null. Det samme skjer etter hvert også med prøve 1. Deformasjonen til prøve 3 stopper helt etter 60 sekunder.



Figur 32: Deformasjon av grusprøver fra Høvinmoen med finstoff fra Kjellerholen under vibrerende belastning

4.3 Diskusjon

4.3.1 Forsøksmetoden

Forsøksmetoden har en del variable størrelser som må tas i betraktning ved tolkning av forsøksresultatene:

- Vekt av ring/stempel
- Stempelareal, prøvens størrelse
- Modifisert/Standard Proctor.

Vekt av ring og stempel ble fastsatt til henholdsvis 5 og 3 N etter gjennomført prøveomgang på sand- og grusprøve (Hauck, 1987). Standard maksimal størrelse på proctor-sylinder (2 l) var bestemmende både for prøvens størrelse og stempelareal. Standard Proctor ble brukt av Gaskin (1981), og dermed ble også forsøksprøvene komprimert ved Standard Proctor.

Større vekt av både ring og stempel og større prøve og dermed større stempelareal, samt høyere densitet av prøven, vil nok ha gitt resultater som bedre gjenspeiler det som skjer ute på en trafikkert veg.

4.3.2 Optimalt vanninnhold og komprimering

Prøvene med finstoff fra Hovinmoen og Kjellerholen oppnår optimalt vanninnhold ved tilsetning av 7,5 vektprosent vann. Prøvene med finstoff fra Glomstad grustak var mye tørrere enn prøvene med finstoff fra både Hovinmoen og Kjellerholen. Antagelsen om at 7,5 vektprosent vann vil tilsvare et gjennomsnittlig optimalt vanninnhold for alle prøver, holdt dermed ikke mål.

For prøvene med finstoff fra Glomstad kan muligens den mer glimmerrike sammensetning av finstoffet være årsaken til at prøvene ikke oppnådde optimalt vanninnhold. Glimmermineralene binder vann adsorptivt til mineraloverflaten og reduserer dermed mengden av vann som kan bevege seg fritt i kornstrukturen. Under slike forhold er 7,5 % vann for lite for å oppnå optimalt vanninnhold.

Med et vanninnhold mindre enn det optimale, som f.eks. ved prøvene med finstoff fra Glomstad, vil vannet bare våte kontaktpunktene i kornskjelettet. Overflatemeniskene får dermed en stor krumning, dvs. det oppstår store kapillærkrefter, og motstanden mot omlagring av korn og dermed en tettere pakning blir stor. Påfølgende belastning under

vibrerende last fører til kollaps av den dårligere komprimerte strukturen og en frigjørelse av vannet, kapillært bundet i lommer mellom mineralkorn og adsorptivt på mineraloverflatene. For prøver med et høyt finstoffinnhold kan etterkomprimeringen føre til oppbygning av poreovertrykk og dermed til en rask økning i deformasjonshastigheten.

4.3.3 Deformasjonsforløp og poreovertrykk

Deformasjon av prøvene under vibrerende last er avhengig av såvel prøvenes densitet, oppnådd under Standard Proctor, og av faktorer som fører til nedsatte effektivspenninger i prøvene, slik som poreovertrykk og nedsatt friksjon pga. for høyt finstoffinnhold.

Ved komprimering under vibrerende last, gjennomgikk prøve 1 med finstoff fra Hovinmoen en liten etterkomprimering i startfasen. Prøven inneholdt lite finstoff og hadde muligens derfor et vanninnhold noe over det optimale, noe som ga anledning til etterkomprimeringen. Deformasjonen gikk mot null allerede etter ca. 45 sekunder. Prøve 2 fra Hovinmoen fikk en jevnt avtagende deformasjonshastighet som nærmet seg null etter 120 sekunder. Prøve 3 fra Hovinmoen fikk en mye slakere deformasjonskurve, der deformasjonshastigheten holdt seg konstant etter 60 sekunder. Den konstante deformasjonen skyldes manglende friksjon pga. mye finstoff i prøven.

Prøvene med finstoff fra Glomstad hadde generelt en noe større innsynkning enn prøvene med finstoff fra Hovinmoen, pga. en noe dårligere proctorkomprimering. Etterkomprimeringen for prøve 1 og 2 fra Glomstad foregikk gradvis og uten stopp gjennom hele forsøket. Det skjedde ingen poretrykksoppbygning, siden etterkomprimeringen foregikk så jevnt. Det samme skjedde for prøve 1 fra Kjellerholen, antagelig også grunnet dårlig proctorkomprimering pga. for lite finstoff og dermed muligens et vanninnhold noe over det optimale. Prøve 3 fra Glomstad fikk en rask deformasjonsøkning midtveis og på slutten av forsøket. Årsaken til deformasjonsøkningen var nok en kombinasjon av mye finstoff, nedsatt friksjon og poretrykksoppbygning som reduserte effektivspenningene.

Deformasjonskurven til prøve 2 fra Kjellerholen er en kurve uten hverken brå økning eller stopp i sin deformasjonshastighet. Prøve 3 fra Kjellerholen gjennomgikk en meget rask deformasjon i startfasen, forårsaket av både høy finstoffinnhold og poreovertrykk. Her skjedde deformasjonen brått, uten etterkomprimering. Deformasjonshastigheten gikk mot null etter ca. 60 sekunder.

Prøver man å plassere prøvene i forhold til hverandre, avhengig av deres deformasjonshastighet, ser inndelingen slik ut:

1. Grusprøver med en gradvis komprimering med tiden pga. for lite finstoff og/eller et vanninnhold noe over det optimale, skjer for grusprøvene med finstoff fra:
 - Kjellerholen, prøve 1 med 4,0 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 4,5 % <0,075 mm)
2. Grusprøver med en gradvis komprimering med tiden pga. et vanninnhold noe lavere enn det optimale, eller for mye finstoff, skjer for grusprøver med finstoff fra:
 - Glomstad, prøve 2 med 4,1 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 8,5 % <0,075 mm)
 - Hovinmoen, prøve 3 med 6,1 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 12 % <0,075 mm)
3. Grusprøver med en stort sett jevn deformasjon som gradvis avtar med tiden, skjer for grusprøver med finstoff fra:
 - Hovinmoen, prøve 1 med 3,6 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 7,0 % <0,075 mm)
 - Hovinmoen, prøve 2 med 4,3 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 8,5 % <0,075 mm)
 - Glomstad, prøve 1 med 3,4 % finstoff <0,020mm
(dvs. 7,0 % 0,075 mm)
 - Kjellerholen, prøve 2 med 5,8 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 6,5 % <0,075 mm)
4. Grusprøver med raske endringer i deformasjonshastigheten pga. for mye finstoff og/eller poreovertrykk, skjer for grusprøver med finstoff fra:
 - Glomstad, prøve 3 med 5,7 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 12 % <0,075 mm)
 - Kjellerholen, prøve 3 med 10,8 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 12 % <0,075 mm)

Sammenheng mellom deformasjonsforløp, poreovertrykk og grus- og finmaterialets egenskaper diskuteres i kapittel 6.

5. UNDERSØKELSE AV KORNSKJELETTSTRUKTUREN FOR GRUSPRØVER

5.1 Metodebeskrivelse for stabilisering av grusprøver

Komprimering av en grusprøve, med et væskeinnhold noe over det optimale, utføres med et stempel som gjentatte ganger slippes ned på prøven.

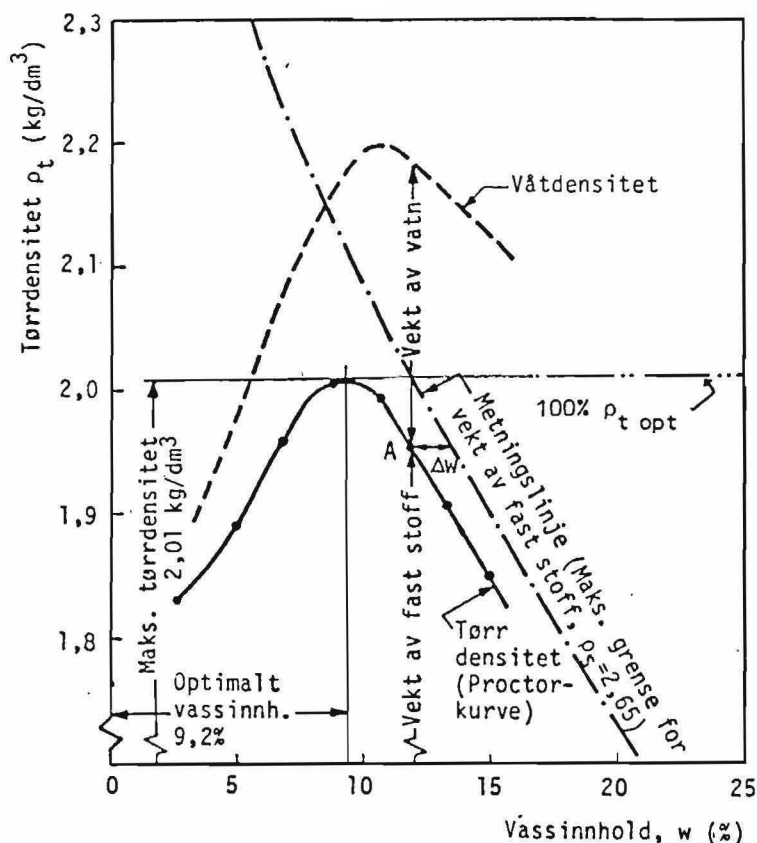
Stabilisering av prøven skjer enten ved gradvis erstatning av vannet med polyetylen glykol (voks), etter innstamping av prøven, eller ved tilsetning av et tokomponent epoksy lim som erstatning for vannet like før innstampingen begynner.

Grusmaterialet består av et grovmateriale fra Hovinmoen med største korn 8 mm og minste korn 0,075 mm, blandet med finstoff (<0,075 mm) i forskjellig mengde (vektprosent) fra henholdsvis Hovinmoen og Hjera grustak (se kapittel 1.6 og 3.2). Finstoffets mineralogi er tilnærmet identisk. Finstoff fra Hovinmoen er middels gradert, mens finstoff fra Hjera er ensgradert (se kapittel 3.2). Største kornstørrelse i grusprøven (8 mm) er valgt i forhold til størrelsen til prøvesylinderen som prøven skal stemples inn i (27,7 cm² x 6,5 cm for ca. 250 g prøve).

Optimalt væskeinnhold i prøven skal være slik at det ikke spruter under innstampingen (Gaskin, 1981). Det sprutet noe ved innstamping av prøvene, noe som gir prøven en tilfredsstillende metningsgrad (litt over det optimale), samt en god komprimering.

Proctorkomprimering av grusprøver for hånd ble utført ved hjelp av et proctorstempel (diameter 2 cm, flatetrykk ca. 0,410 N/cm²) som slippes ned på en grusprøve i en metallsylinder (27,7 cm² x 6,5 cm). Proctorstempelets fallhøyde er 10 cm, og grusprøven legges ut i 3 lag som hver gis 25-30 slag med proctorstempelet. Våt densitet etter komprimering skal være 2,30 g/cm³ (figur 33).

En densitetskontroll ble utført for hver utherdede prøve, før selve prepareringen til tynnslip. Densitetsbestemmelse av våt prøve inngår her i data som bestemmes i laboratoriet på proctorkomprimerte jordarter. Med densitet av våt prøve menes her nettomasse av våt prøve dividert med volumet (Statens vegvesen, 1983, kapittel 114.41).



Figur 33: Relasjon mellom tørrdensitet og vanninnhold ved Standard Proctor komprimeringsforsøk

Av de stabiliserte prøver lages det tynnslip (0,03 mm tykk), horisontalt midt i prøven. Som kontroll for en vellykket, homogen grus/finstoff-fordeling og jevn pakningsgrad tvers gjennom prøven ble det dessuten laget tynnslip vertikalt i prøven, dvs. normalt på minste hovedspenning (σ_3). De horisontale hovedspenningene σ_2 og σ_3 antas å være like i laborieforsøket.

Tynnslip av de voksstabiliserte prøvene ble laget av L. Kirksæther ved Institutt for Geologi, Universitetet i Oslo. Tynnslip av de epoksy-stabiliserte prøvene ble laget av P.G. Sigursen ved Geologisk seksjon, Veglaboratoriet.

Fotografering av tynnslip ble utført under polarisert lys med et Nikon kamera og Kodacolor Gold 100 ASA film. Det ble også forsøkt fotografering under UV-lys, ved Veglaboratorium i Roskilde, Danmark.

5.1.1 Stabilisering av grusprøver med polyetylen glykol

Grusmateriale ($\geq 0,075$ mm) ble tilsatt finstoff ($< 0,075$ mm) og blandet. 7,5 vektprosent vann (Gaskin, 1981) røres ut i grusblandingen, og prøven proctorkomprimeres for hånd i en sylinder med en porøs skive i bunnen.

Ved den etterfølgende prosedyren blir vann gradvis erstattet av polyetylenglykol [$\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$] fra MERCK-Schuchardt', 8011 Hohenbrunn bei München. Prosedyren er utarbeidet i samarbeid med D. Schulz ved Universitetet i Kiel, V-Tyskland.

Polyetylenglykol er en vannløselig voks som i romtemperatur eksisterer både i flytende, seig og fast tilstand, avhengig av molekylarvekt (henholdsvis 200-800, 1000 og 1500-6000). Ved 60°C er alle typer molekylarvekt i flytende tilstand.

Prøvesylindere blir satt i et voksbad (molekylarvekt 200), slik at voksen får trenge inn i prøven nedenfra og fortrenge vannet til prøvens overflate. Forholdet mellom voks og vann i prøven stiger etter hvert som vann-voxsblandingen suges fra prøvens overflate og ny voks helles på. Når prøven er mettet med polyetylenglykol 200, gjentas prosedyren med polyetylenglykol 1500 og 6000 i varmeskap. Prøven er nå så stiv at den kan sages og slipes til tynnslip. Sagbladet må her kjøles med parafin, da prøven oppløses ved kontakt med vann.

5.1.2 Stabilisering av grusprøver med epoksy Bir-1 og XW 396/397

Proseduren beskrevet nedenfor er et resultat av en samtale med R. Collett i firmaet Rescon A/S og D. Schulz ved Universitetet i Kiel for anbefaling av egnet epoksy, og egne ideer om metoden.

Grusmateriale fra Hovinmoen (0,075-8 mm) og finstoff (<0,075 mm) fra både Hovinmoen og Hjera grustak ble blandet, slik at ønsket mengde materiale <0,020 mm ble oppnådd. For prøver med et middelsgradert finstoff fra Hovinmoen ble laveste finstoffinnhold <0,020 mm valgt til 3,6 %, siden det kritiske finstoffinnhold skal ligge ved ca. 4,3 % (Gaskin, 1981). Det laveste finstoffinnhold <0,020 mm i prøver med finstoff fra Hjera er valgt til 4,5 % siden finstoffet er ensgradert, dvs. finmaterialet har en høy prosentandel finstoff <0,020 mm (se vedlegg 6 og 7).

Epoksyens to komponenter, harpiks og herder, blandes forsiktig. Det er særlig viktig å unngå dannelse av luftbobler i epoksyen under selve blandingen. Epoksyen røres grundig sammen med grusmaterialet og settes til side noen minutter for en homogen gjennomfukning av prøven.

Epoksyens svake overflatespenning (i forhold til vann) fører til at den lettere fyller porerommene i prøven, og et væskeinnhold tilsvarende 7,5 % (Gaskin, 1981) vil gi altfor tørre prøver. Et epoksyinnhold på ca. 12 vektprosent ga et væskeinnhold noe over det optimale, der epoksyen så vidt begynte å sprute ut av sylindere ved slutten av siste innstampningstrinnet. Mengde epoksy ble dermed valgt til 11,6 %.

Innstamping ble utført for hånd (proctorkomprimert) i et metallbeger, (se kapittel 5.1). Prøvene tørker første dag ved romtemperatur og de følgende 2-4 dager i varmeskap ved 40 °C. Den stive prøven sages i metallbegeret, og tynnslip lages etter vanlig prosedyre.

Det ble brukt to typer epoksy, Bir-1 fra Rescon A/S og XW 396/397 fra Ciba & Geigy GmbH (se vedlegg 4 og 5).

Epoksy Bir-1 fra Rescon A/S er et lysebrunt, lettflytende løsningsmiddelfritt epoksysystem med lang brukstid (5 timer brukstid, klebefri etter 24 timer og gjennomherdet etter 7 dager ved 20 °C). Viskositeten av blandingen er 200 mPas ved 20 °C, egenvekt er ca. 1,1 g/cm³, og blandingsforholdet harpiks:herder er 100:67. Epoksy Bir-1 er dessuten fluorescerende, noe som er nødvendig for mikroskopering under ultrafiolett lys.

Epoksy XW 396/397 fra Ciba & Geigy GmbH er et helt klart, meget lettflytende, løsningsmiddelfritt epoksysystem med en bearbeidingstid på 40-50 minutter og en herdetid på 12-15 timer ved 20 °C. Blandingens egenvekt er ca. 1,1 g/cm³, viskositeten er ca. 130-140 mPas og brytningsindeks til mineralbestemmelse er 1,553. Blandingsforholdet harpiks:herder er 100:30.

5.2 Resultater

5.2.1 Stabilisering av grusprøver med polyetylen glykol

Det viste seg at polyetylen glykol med molekylarvekt 6000 ikke klarte å trengte inn i kornstrukturen når våtdensiteten blir større enn ca. $1,90 \text{ g/cm}^3$. Prøvene stabilisert med polyetylen glykol (molekylarvekt 200, 1500 og 6000) har dermed en densitet som er langt mindre enn våtdensiteten oppnådd ved Standard Proctor (ca. $2,30 \text{ g/cm}^3$). Prøvene er av denne grunn ikke egnet til videre studier av kornskjelett- og poreromsstruktur.

Prøvene med en densitet under $1,90 \text{ g/cm}^3$ ble likevel saget og slipt til tynnslip uten vanskeligheter. Slipene viste at det skjedde en oppvarming av korn under sage- og slipeprosessen, til tross for nedkjøling med parafin. Dette viser at polyetylen glykol ikke egner seg til stabilisering av grusmaterialer for tynnslippreparering.

5.2.2 Stabilisering av grusprøver med epoksy Bir-1 og XW 396/397

Grusprøver stabilisert med epoksy Bir-1 (fra Rescon A/S) og epoksy XW 396/397 (fra Ciba & Geigy GmbH) har en våtdensitet på $2,30 \text{ g/cm}^3$. Det tilsvarer en tørrdensitet på $2,03 \text{ g/cm}^3$ (ca. Standard Proctor densitet), fratrukket epoksyinnholdet på 11,6 %.

Grusprøvene er nesten 100 % mettet med epoksy pga. epoksyens lave overflatespenning. En slik høy metning av grusprøvene med epoksy tilsvarer tilstanden i et vannmettet bærelag i teletløsningen på vårparten, og er ideelt for studier av væske- og finstoffordeling i prøvenes kornskjelett.

Det er laget 18 slip med epoksy Bir-1, derav to vertikalslip og 16 slip med epoksy XW 396/397. Vertikalslipene (normalt på minste hovedspenning, σ_3) viser ingen tegn på hverken lagdeling eller finstoffvariasjon fra topp til bunn i prøven, noe som kunne vært en følge av dårlig blanding av materialene eller av ujevn komprimering.

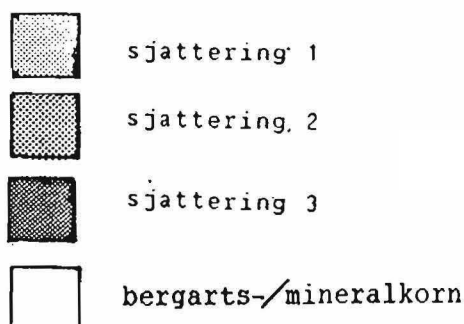
Det sees en del luftblærer i slipene. Luftblærene er runde. Noen av disse sees som hull i slipet, andre er omgitt av et tynt lag epoksy. I noen tilfelle synes det som om slipet skjærer gjennom dette epoksyet, slik at det man ser tilsynelatende er en blære bestående av epoksy.

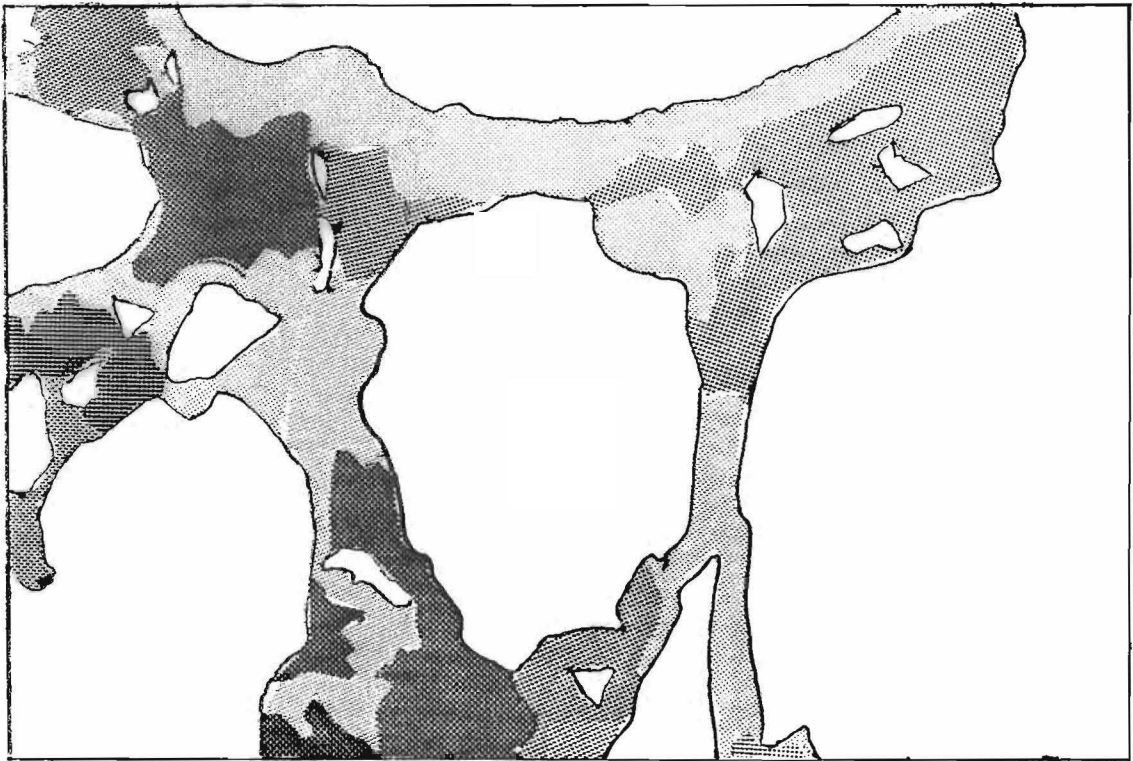
Under finslipingen har slipemiddel satt seg fast i epoksyen. Dette sees i polarisasjons-mikroskopet som sorte, tynne fiberaktige biter rundt bergartskorn. Forskjellen mellom den nesten rene epoksy og det noe finstoffrike epoksy var svært vanskelig å se på slip med bindemiddelet epoksy XW 396/397. Disse er av denne grunn vesentlig vanskeligere å tolke enn slip med bindemidlet epoksy Bir-1. Trolig er herdetiden av stor betydning. Epoksy XW 396/397 utviklet en betydelig eksoterm reaksjon. Blanding av harpiks og herder varmet opp metallbegeret, og begeret fortsatte å være varmt under innstampingen. Grusprøvene stabilisert med epoksy XW 396/397 er derfor ikke egnet til tolkning og tynnslipene ble derfor heller ikke fotografert.

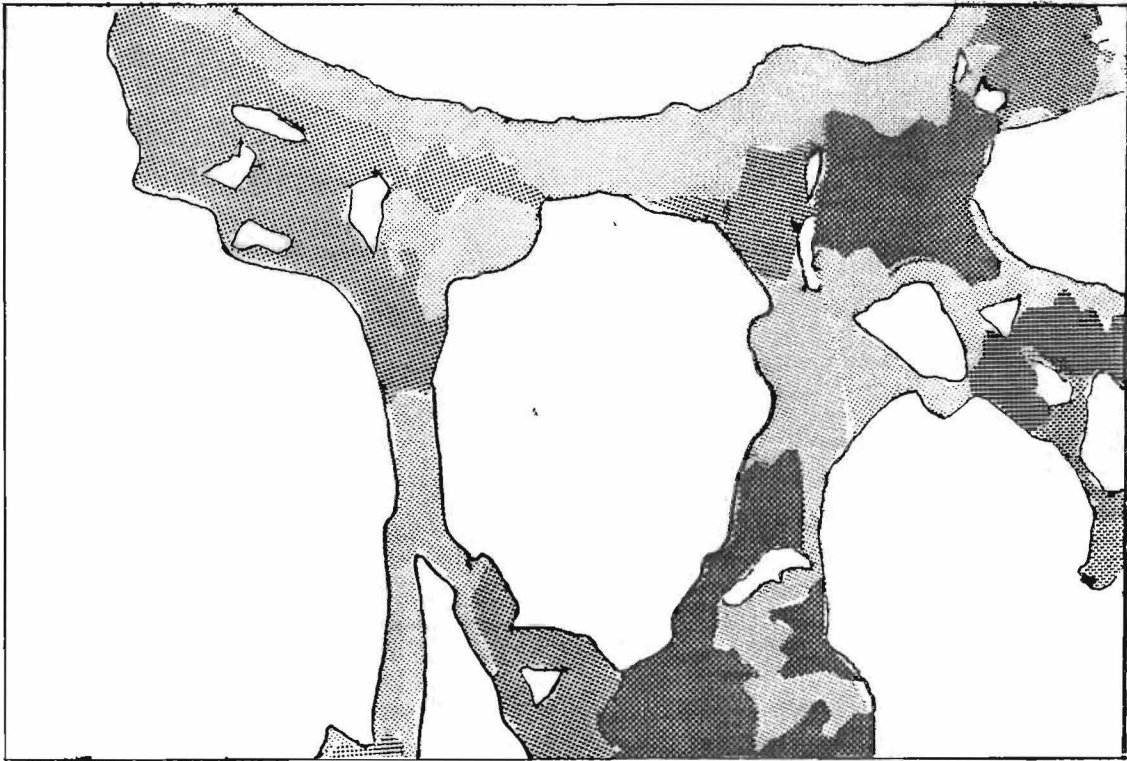
5.2.3 Tolkning av tynnslipmikroskopering under ultrafiolett- og polarisert lys

En matriks, bestående av epoksy og finstoff, fyller alle porerom mellom bergartskornene. De minste kornene, som lett kan skjernes fra matriksen, er ca. 0,002 mm store. Tynnslipmikroskopering under ultrafiolett lys, foretatt ved Vejlaboratorium i Roskilde, Danmark, viser tydelige densitetsforskjeller i matriksen. Soner med høy densitet reflekterte lite lys. Dette gjorde også områdene der mye slipemiddel hadde satt seg fast i epoksyen. Lyse og mørke soner under ultrafiolett lys svarte nøyaktig til de lyse og mørke sonene under polarisert lys.

Matriksen kan dermed inndeles i forskjellige densitetsfaser. En lys eller lys grå type (pga. slipemiddelet), uten eller med meget lite finstoffinnhold, omtales for enkelhets skyld som ren epoksy. På skissene er denne typen matriks fremstilt som sjattering 1. Når matriksen blir noe mer gul eller gulbrun, dvs. har et noe høyere finstoffinnhold, kalles den for finstoffholdig epoksy. På skissene er denne typen fremstilt med sjattering 2. Består matriksen hovedsaklig av finstoff, dvs. har en brun farve, kalles den finstoffrik epoksy. På skissene har denne typen matriks sjattering 3.







5.2.4 Beskrivelse av tynnslip med grus og finstoff fra Hovinmoen

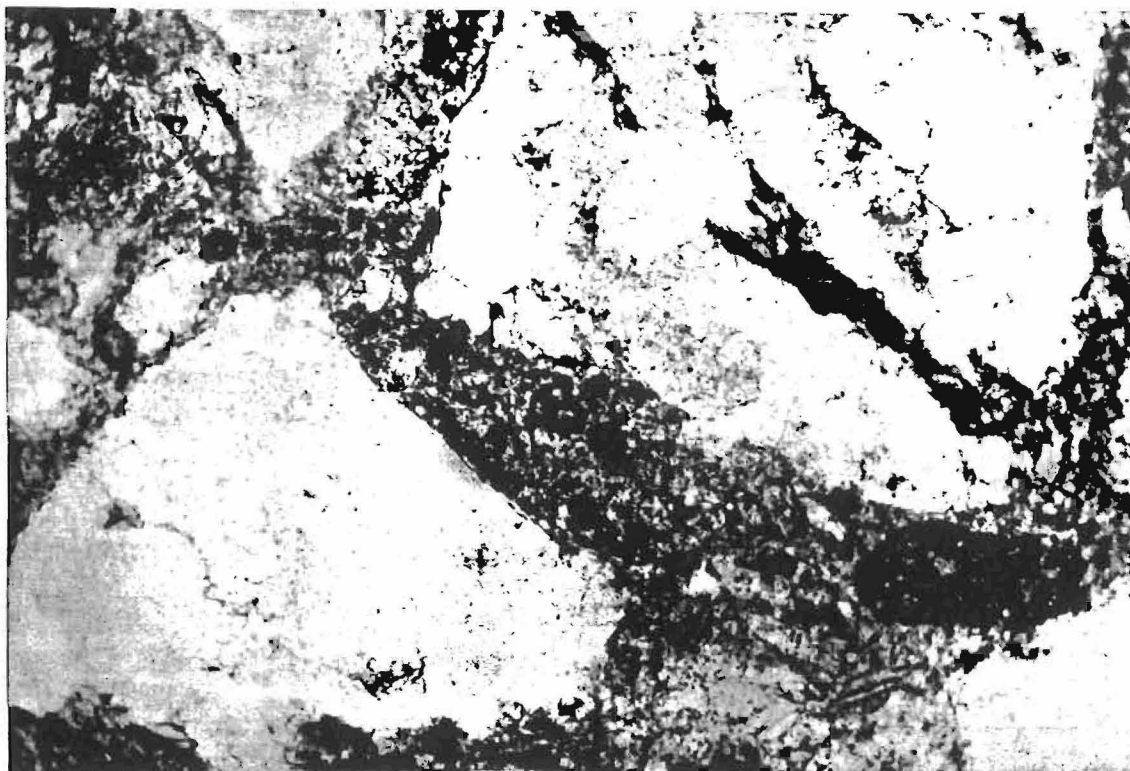
Det er laget slip av syv prøver med et minste finstoffinnhold $<0,020$ mm fra 3,6 % og opp til 6,2 %.

Slip nr. 1 fra Hovinmoen har 3,6 % finstoff $<0,020$ (dvs. 6,6 % finstoff $<0,075$ mm). På figur 34 sees tydelige bånd av ren epoksy. Båndene er sammenhengende over store områder og omringer hele korn på størrelse opptil 3 mm (lengdesnitt). Områder med ren epoksy finnes også overalt der nabokorn ligger nær hverandre. Omkring disse rene epoksysoner ligger det finstoffholdig epoksy. Finstoffrik epoksy finnes presset inn i kroker eller innimellom bergartskorn innerst i hulrommene.



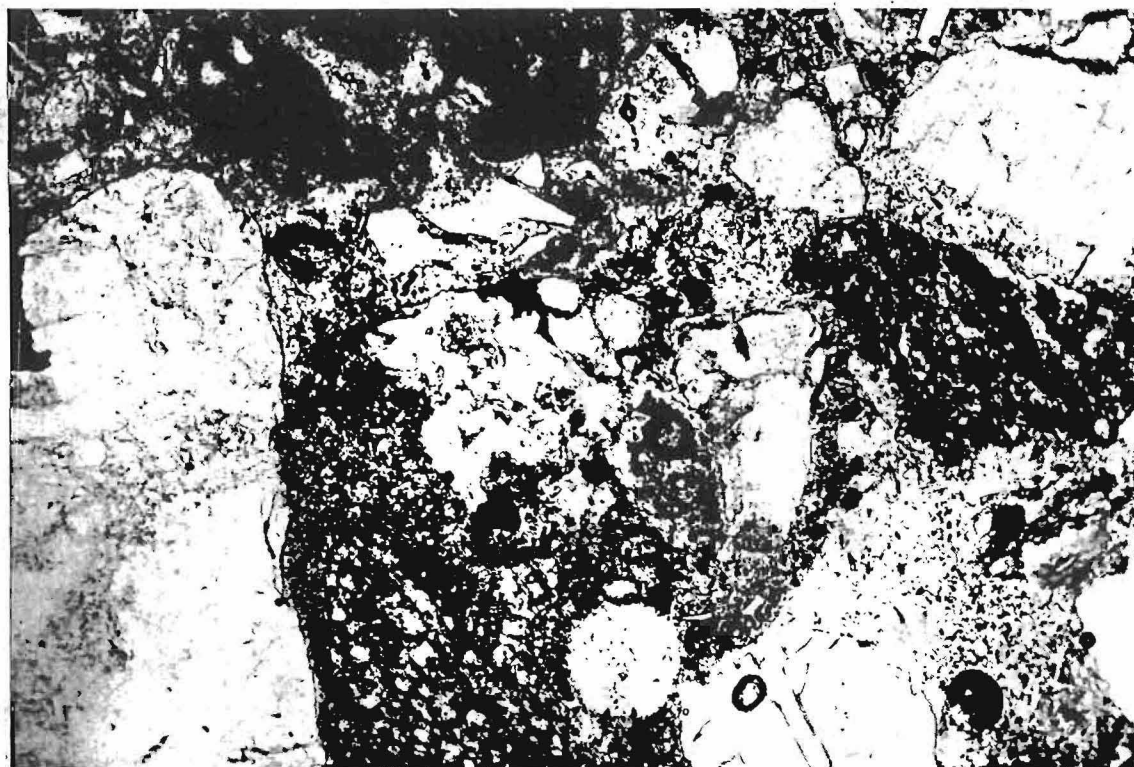
Figur 34: Tynnslip nr. 1 fra Hovinmoen med 3,6 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 6,6 % finstoff $<0,075$ mm), målestokk 1:0,01

Slip nr. 2 fra Hovinmoen har 4,1 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 7,5 % finstoff $<0,075$ mm). På figur 35 ser en at områdene med ren epoksy har minket i størrelse. Denne ligger noe mer isolert i den finstoffholdige epoksyen, men fortsatt også i kontaktsonene mellom bergartskorn. Finstoffholdig epoksy har for en stor del overtatt stedene den rene epoksy hadde i slip 1. Den finstoffrike epoksy er nå mer utbredt enn den var på slip 1 og begynner å danne sammenhengende, brede bånd over større områder.

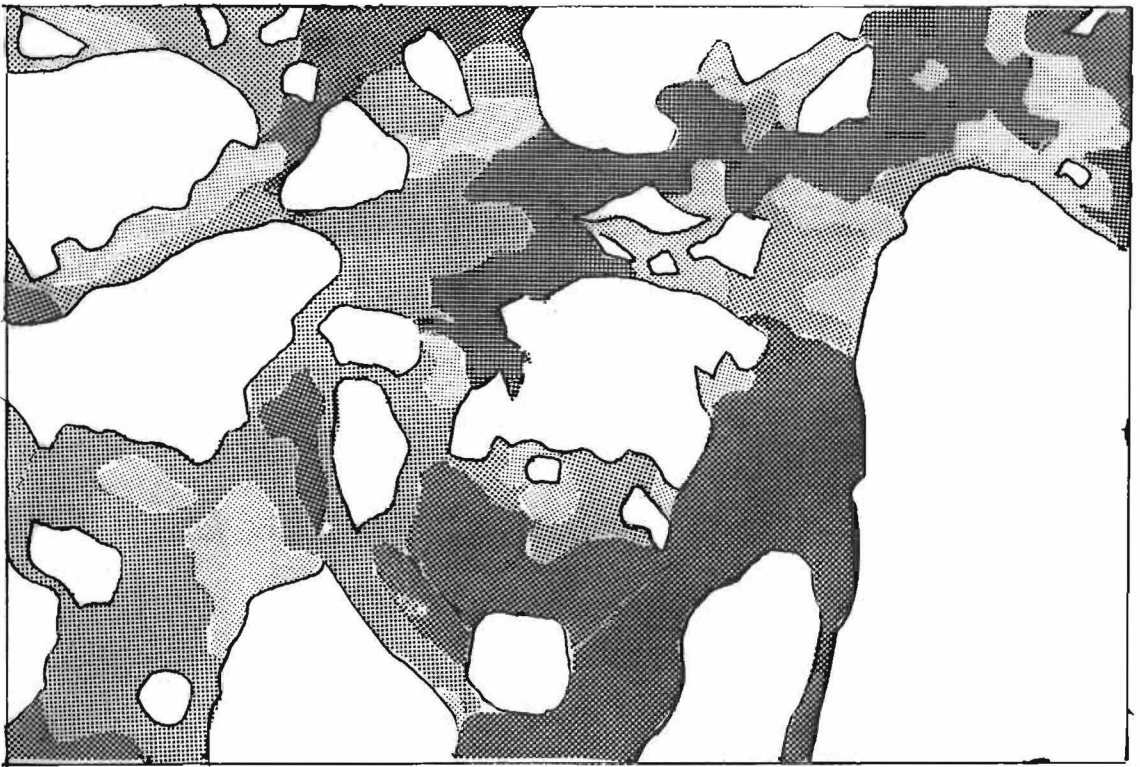


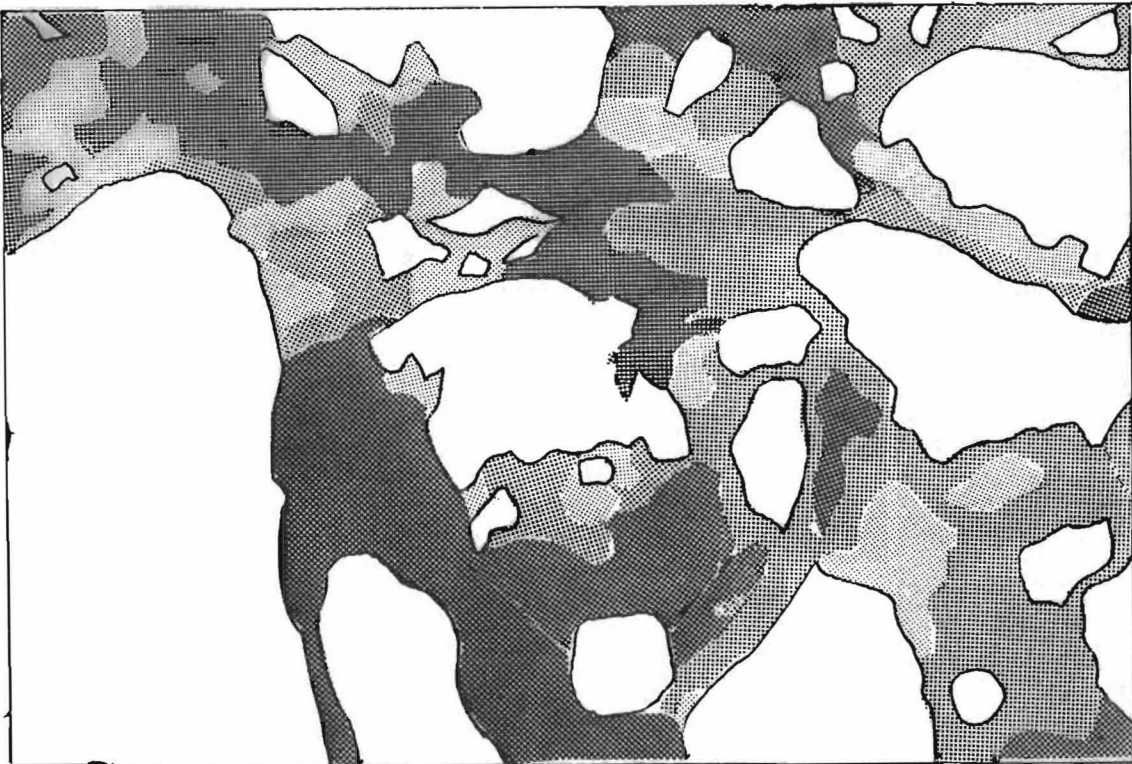
Figur 35: Tynnslip nr. 2 fra Hovinmoen med 4,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,5 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01

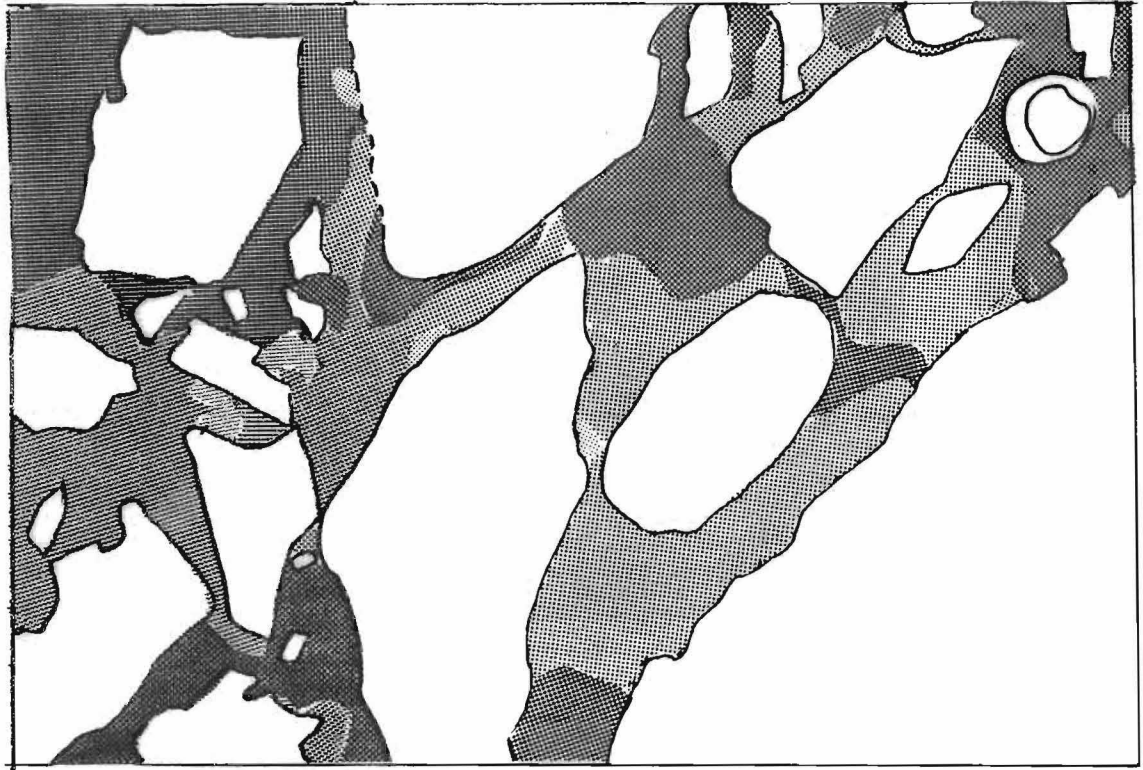
Slip nr. 3 fra Hovinmoen har 4,3 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,9 % finstoff <0,075 mm). På figur 36 er fordeling av de forskjellige matrikstypene ganske lik fordelingen på figur 35.



Figur 36: Tynnslip nr. 3 fra Hovinmoen med 4,3 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,9 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01

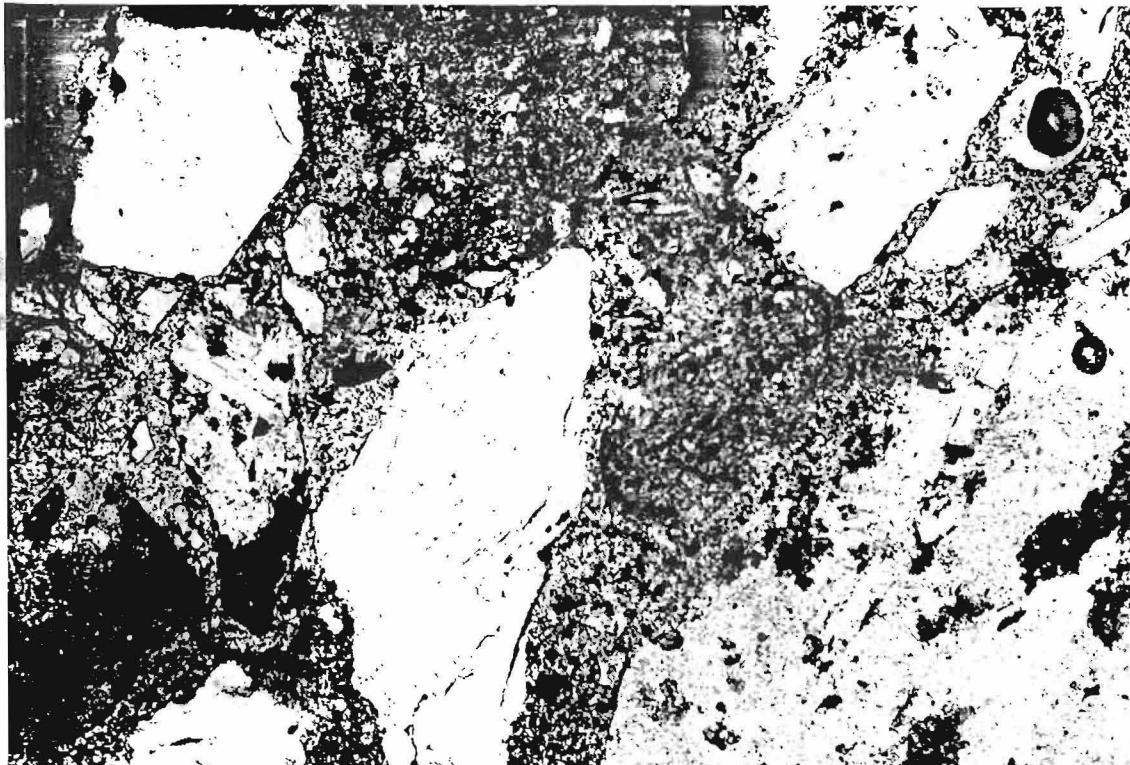








Slip nr. 4 fra Hovinmoen har 4,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,5 % finstoff <0,075 mm). På figur 37 er det nesten bare finstoffholdige og finstoffrike epoksysoner å se. Rene epoksysoner er redusert til små runde isolerte prikker.

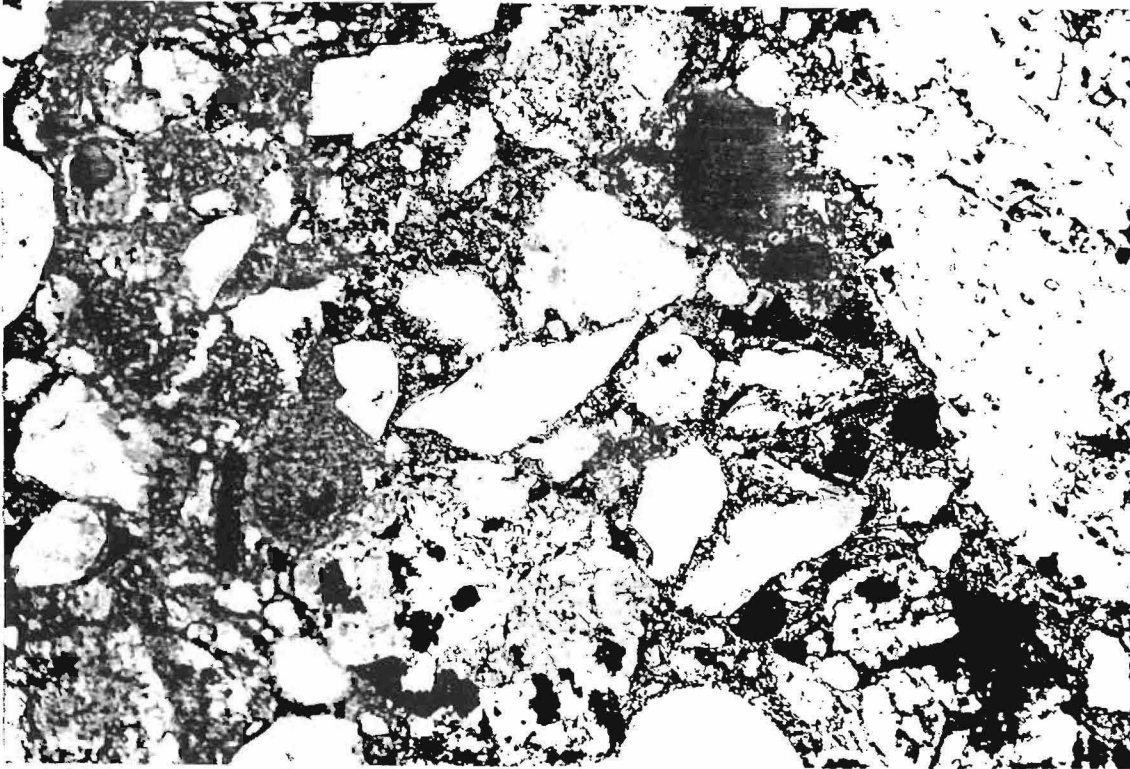


Figur 37: Tynnslip nr. 4 fra Hovinmoen med 4,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,5 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01

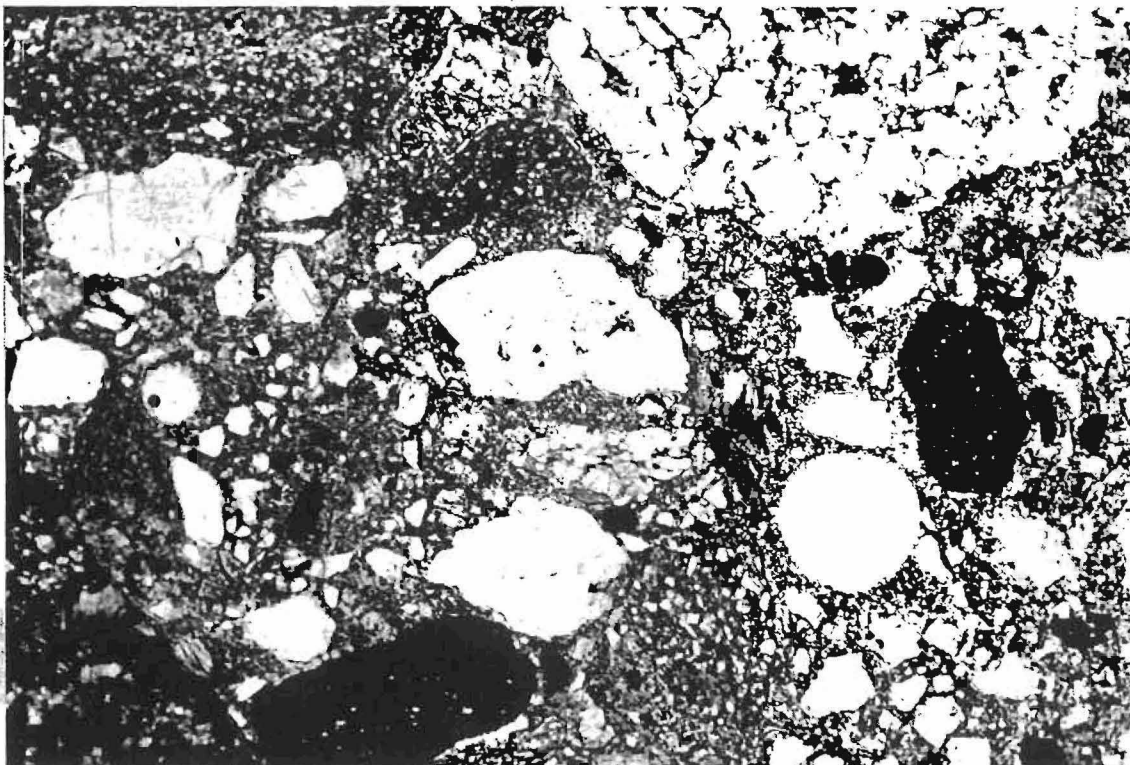
Slip nr. 5 fra Hovinmoen har 5,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 9,4 % finstoff <0,075 mm). På figur 38 er det ingen rene epoksysoner igjen. Overgangen mellom finstoffholdig og finstoffrik epoksy er nesten borte, unntagen noen små og middelstore bergartskorn som er omgitt av en krans med noe lysere, finstoffholdig epoksy.

Slip nr. 6 fra Hovinmoen har 5,6 % finstoff <0,020 mm (dvs. 10,4 % finstoff <0,075 mm). Finstoffet i matriksen er jevnt fordelt over hele slipet (figur 39).

Slip nr. 7 fra Hovinmoen har 6,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 11,3 % finstoff <0,075 mm). Tette, meget finstoffrike soner fyller enkelte hulrom og legger seg utenpå små og middelstore bergartskorn. Ellers består matriksen av en jevnt fordelt finstoffrik epoksy.



Figur 38: Tynnsnip nr. 5 fra Hovinmoen med 5,1 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 9,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02



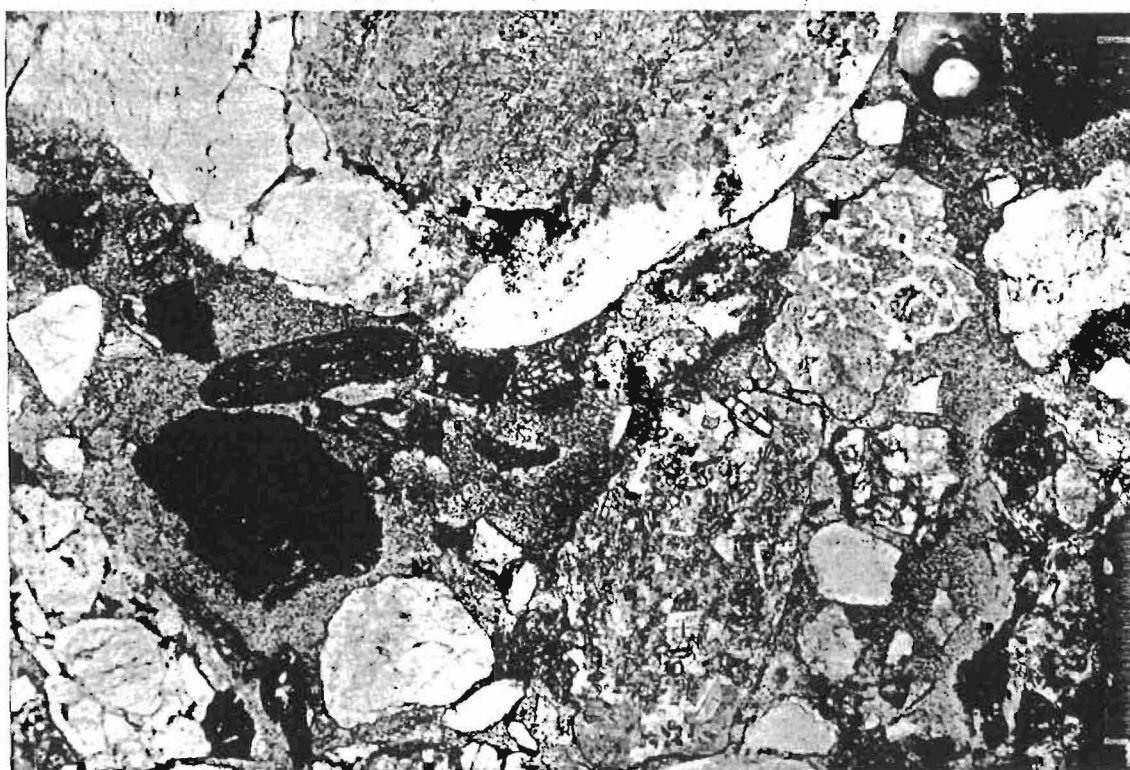
Figur 39: Tynnsnip nr. 6 fra Hovinmoen med 5,6% finstoff <0,020 mm
(dvs. 10,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

5.2.5 Beskrivelse av tynnslip med grus fra Hovinmoen og finstoff fra Hjera

Det er laget ni tynnslip med minste finstoffinnhold $<0,020$ mm på 5,1 % og opp til 8,7 %.

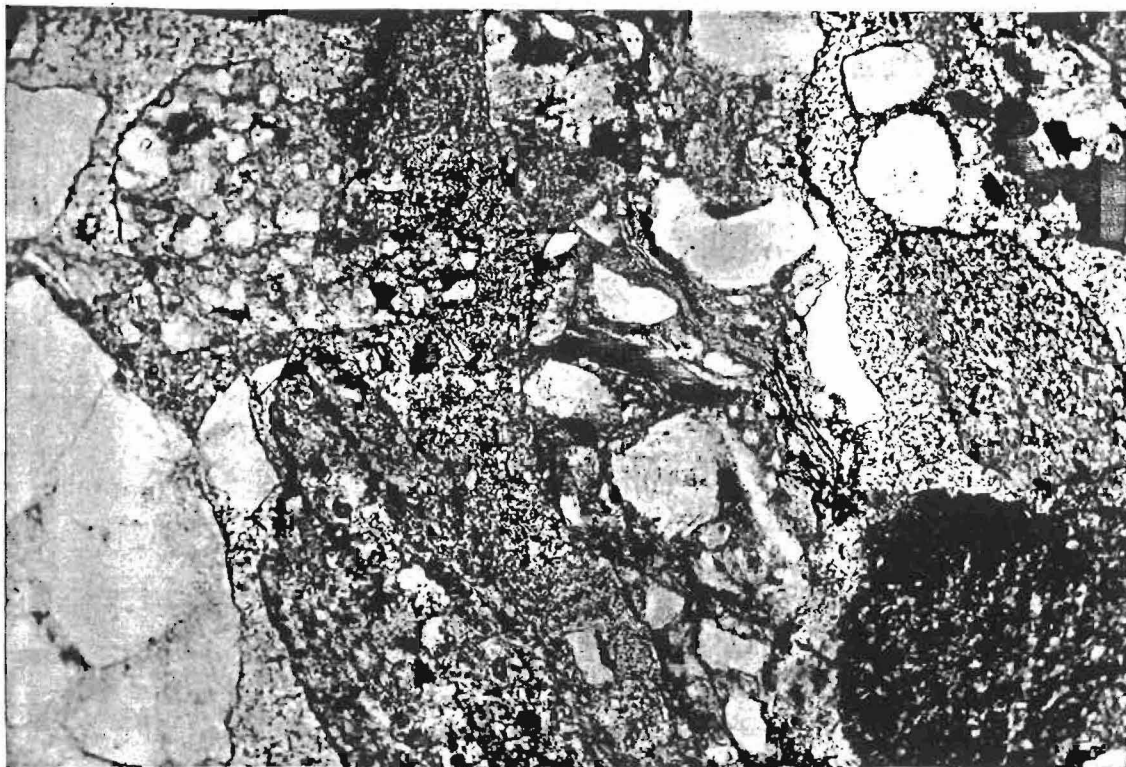
Slip nr. 1 fra Hjera har 5,1 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 5,5 % finstoff $<0,075$ mm). På figur 40 ser en tydelig sammenhengende, rene epoksybånd slynge seg labyrintaktig langs korngrensene over hele bildet.

Finstoffholdig og finstoffrik epoksy ligger utenpå de rene epoksybånd eller i krokene og mellom bergartskornene.



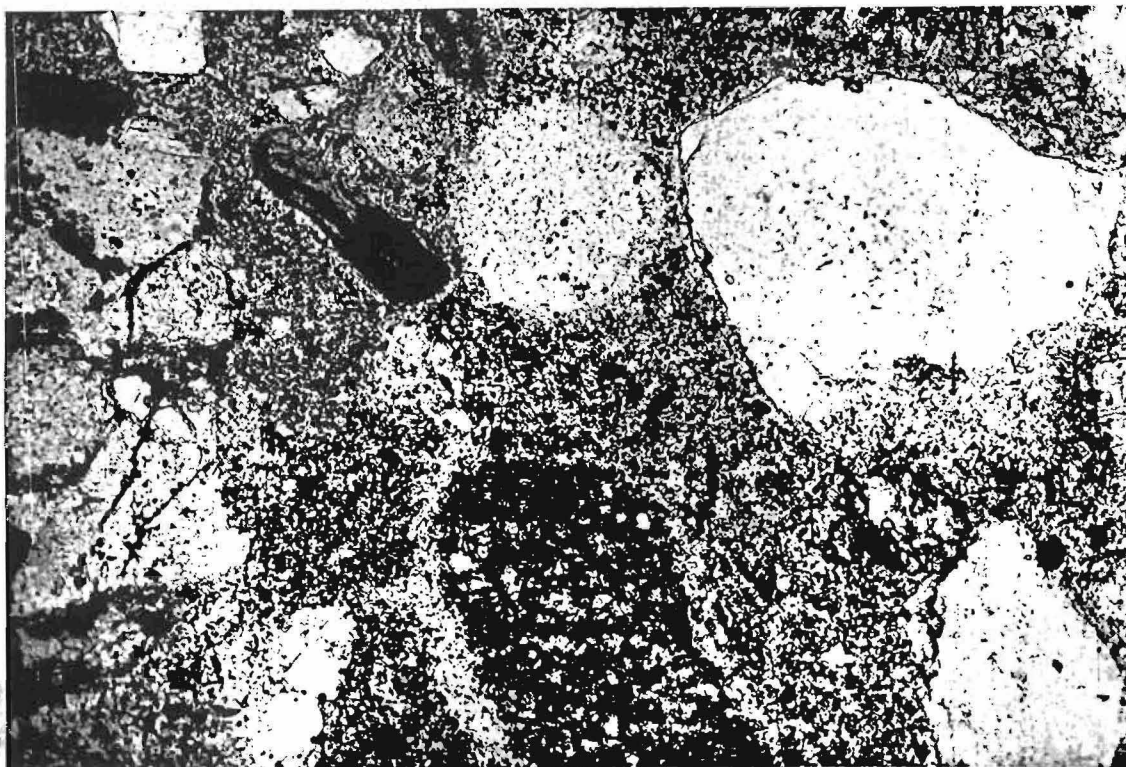
Figur 40: Tynnslip nr. 1 fra Hjera med 5,1 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 5,5 % finstoff $<0,075$ mm), målestokk 1:0,02

Slip nr. 2 fra Hjera har 5,6 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 6,1 % finstoff $<0,075$ mm). På figur 41 ser en at de rene epoksybånd er sammenhengende over store områder, men ikke gjennomgående og sammenhengende som på figur 40. Finstoffholdig epoksy følger korngrensene og den rene epoksy, mens finstoffrik epoksy ligger isolert i kroker og beskyttet mellom bergartskorn.

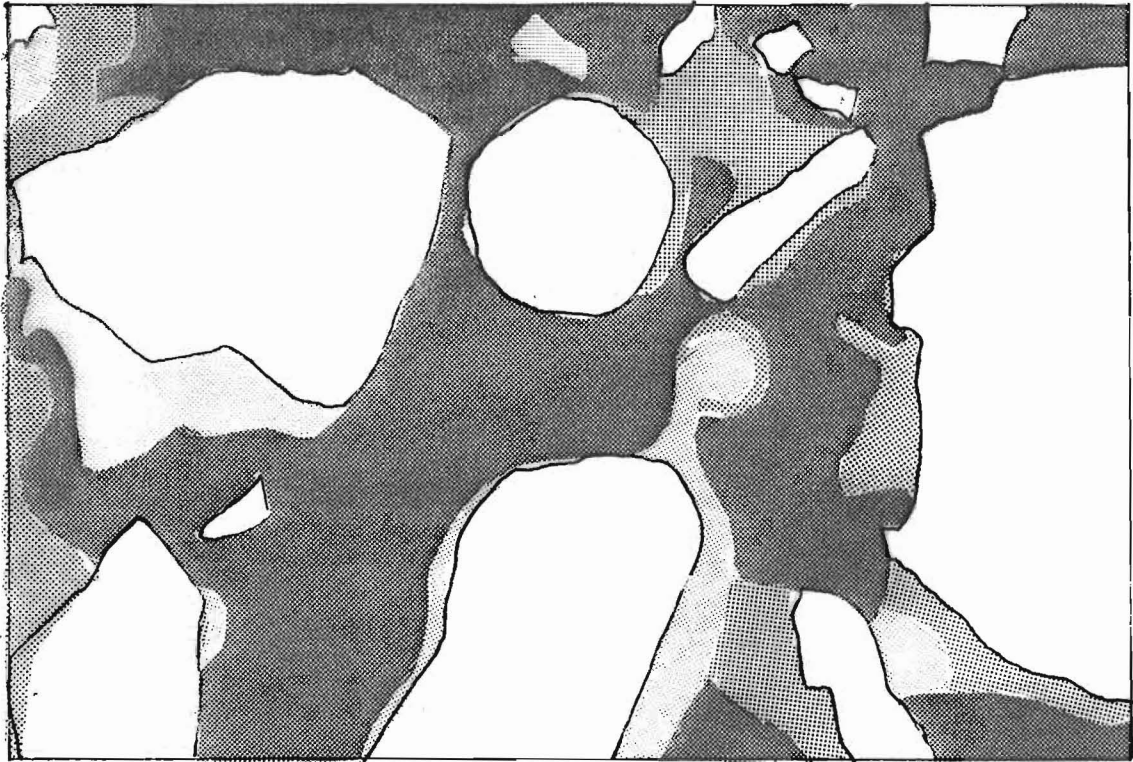
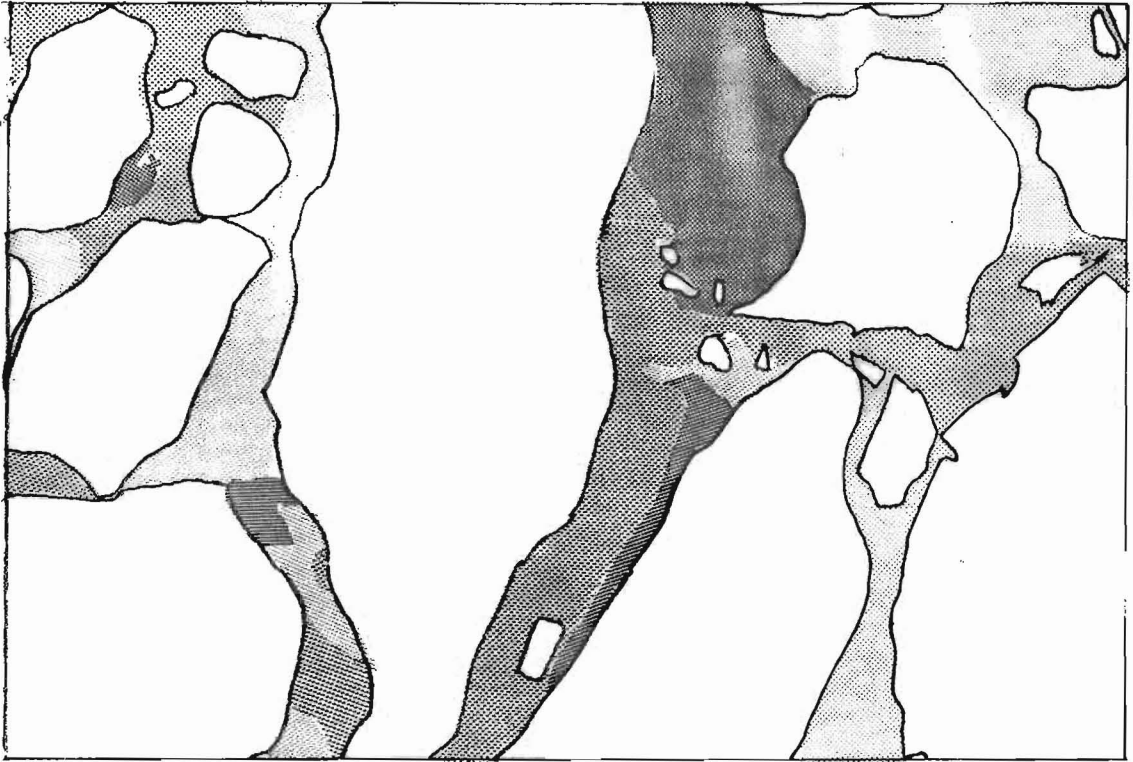


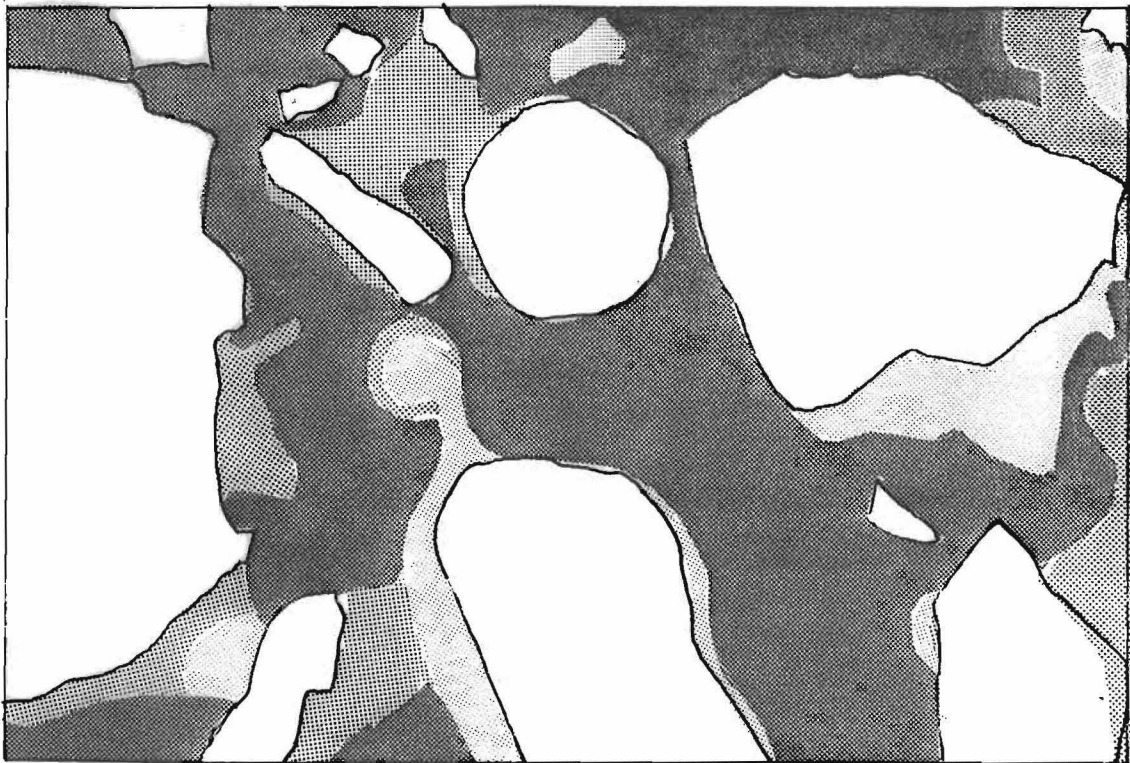
Figur 41: Tynnslip nr. 2 fra Hjera med 5,6 % finstoff $<0,020$ mm
(dvs. 6,1 % finstoff $<0,075$ mm), målestokk 1:0,01

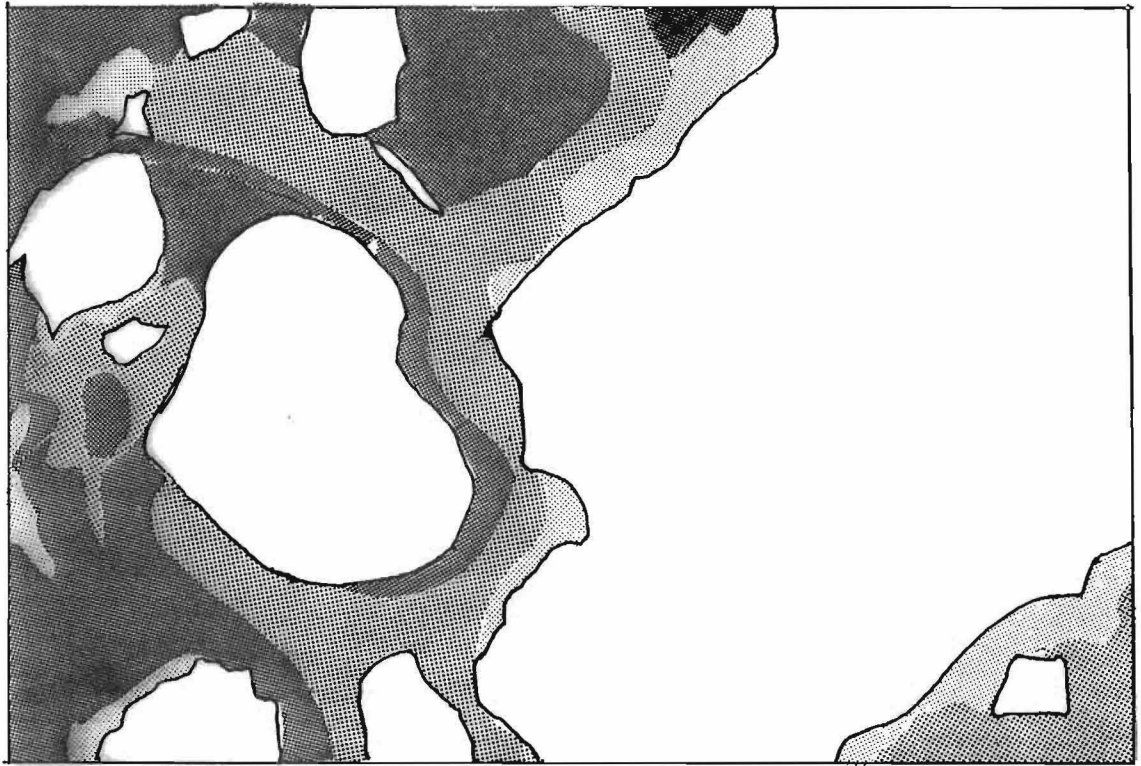
Slip nr. 3 fra Hjera har 6,1 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 6,7 % finstoff $<0,075$ mm). På figur 42 har områdene med ren epoksy minket i størrelse. De rene epoksybånd ligger fortsatt langs store korn og

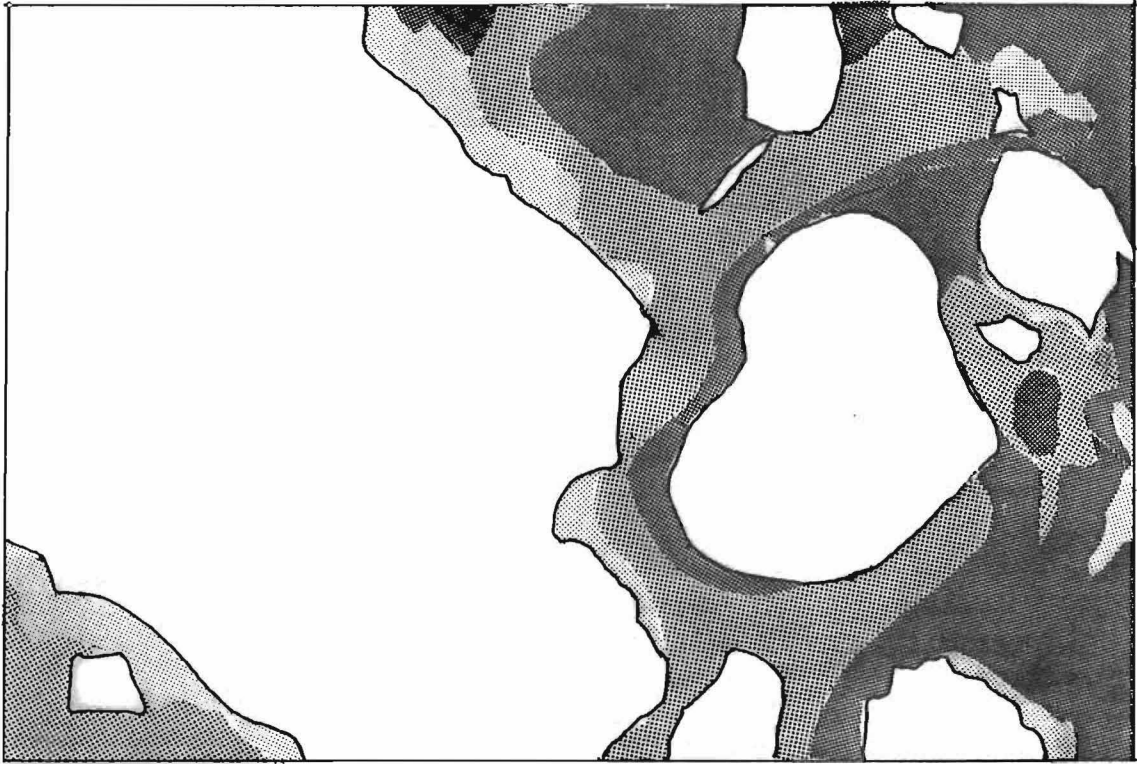


Figur 42: Tynnslip nr. 3 fra Hjera med 6,1 % finstoff $<0,020$ mm
(dvs. 6,7 % finstoff $<0,075$ mm), målestokk 1:0,01



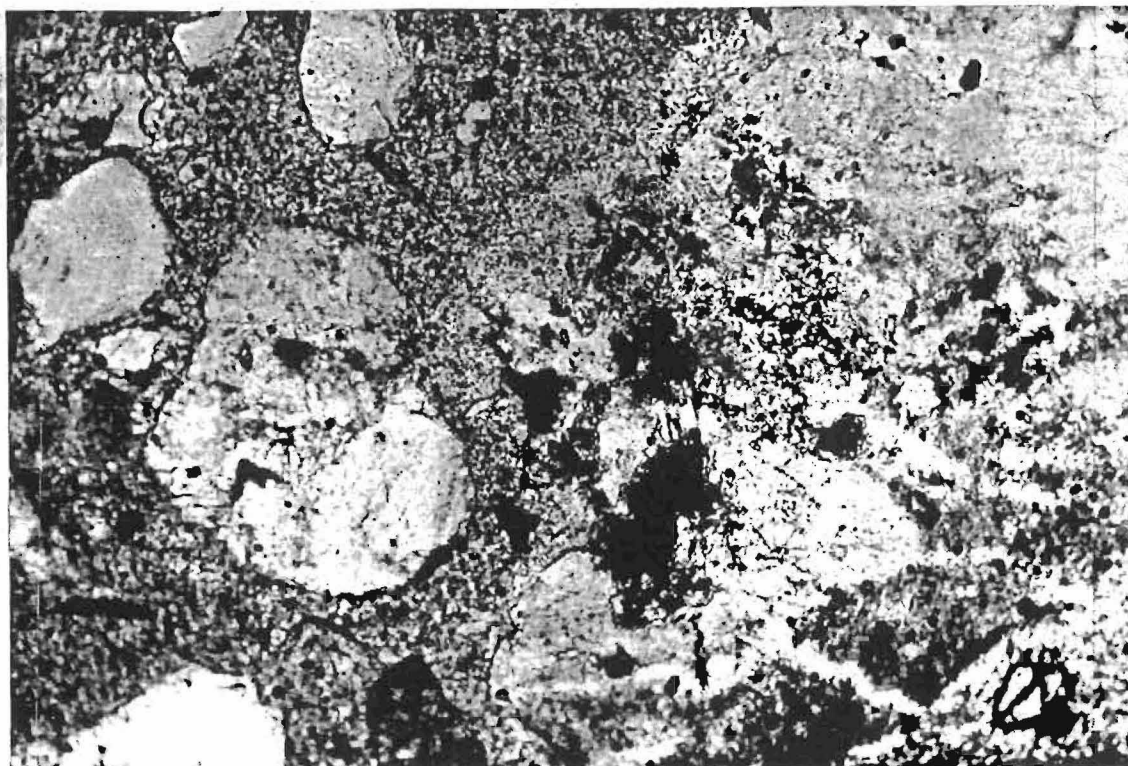






innimellom finstoffholdig epoksy. Den finstoffholdige epoksy har mange steder erstattet den rene epoksy, og den finstoffrike epoksy har lagt seg i brede bånd og fylt ut resten av plassen mellom bergartskornene.

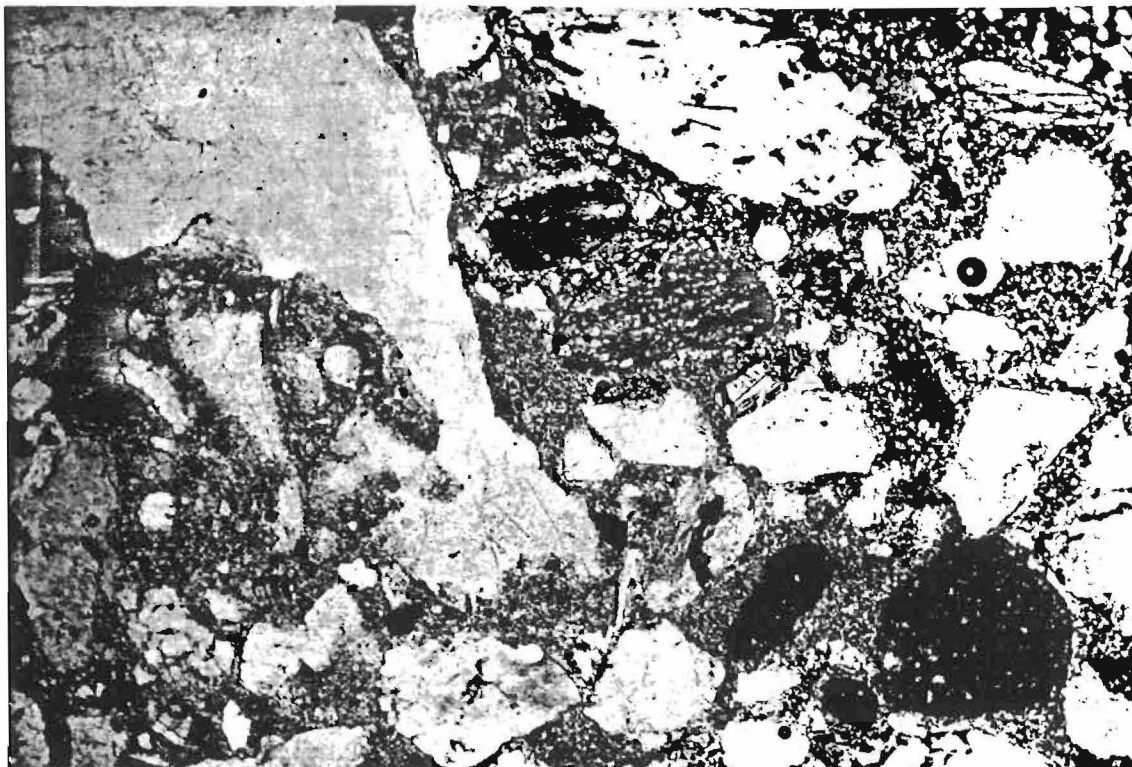
Slip nr. 4 fra Hjera har 6,6 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 7,2 % finstoff $<0,075$ mm). Figur 43 ligner mye på figur 42. De finstoffholdige epoksysoner blir her noe smalere i forhold til de på figur 42.



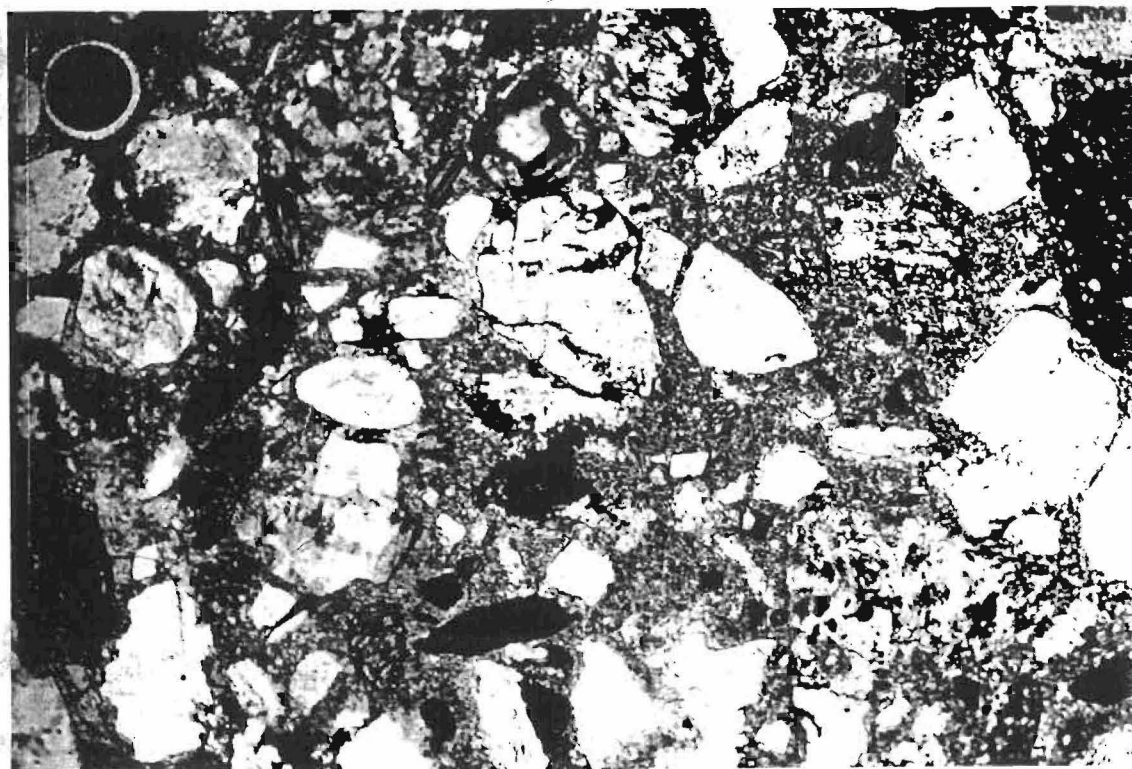
Figur 43: Tynnslip nr. 4 fra Hjera med 6,6 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 7,2 % finstoff $<0,075$ mm), målestokk 1:0,01

Slip nr. 5 fra Hjera har 6,8 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 7,4 % finstoff $<0,075$ mm). På figur 44 ser en at de rene epoksybånd er meget små, isolerte prikker, gjemt i kroker og mellom bergartskorn. De finstoffholdige epoksysoner er noe større enn de sistnevnte og ligger langs og mellom bergartskorn. Den finstoffrike epoksy dominerer bildet.

Slip nr. 6 fra Hjera har 7,2 % finstoff $<0,020$ mm (dvs. 7,8 % finstoff $<0,075$ mm). Figur 45 ligner meget på figur 44. De rene epoksysoner kan fortsatt betegnes som avlange, men meget isolerte prikker, langs og mellom bergartskorn.

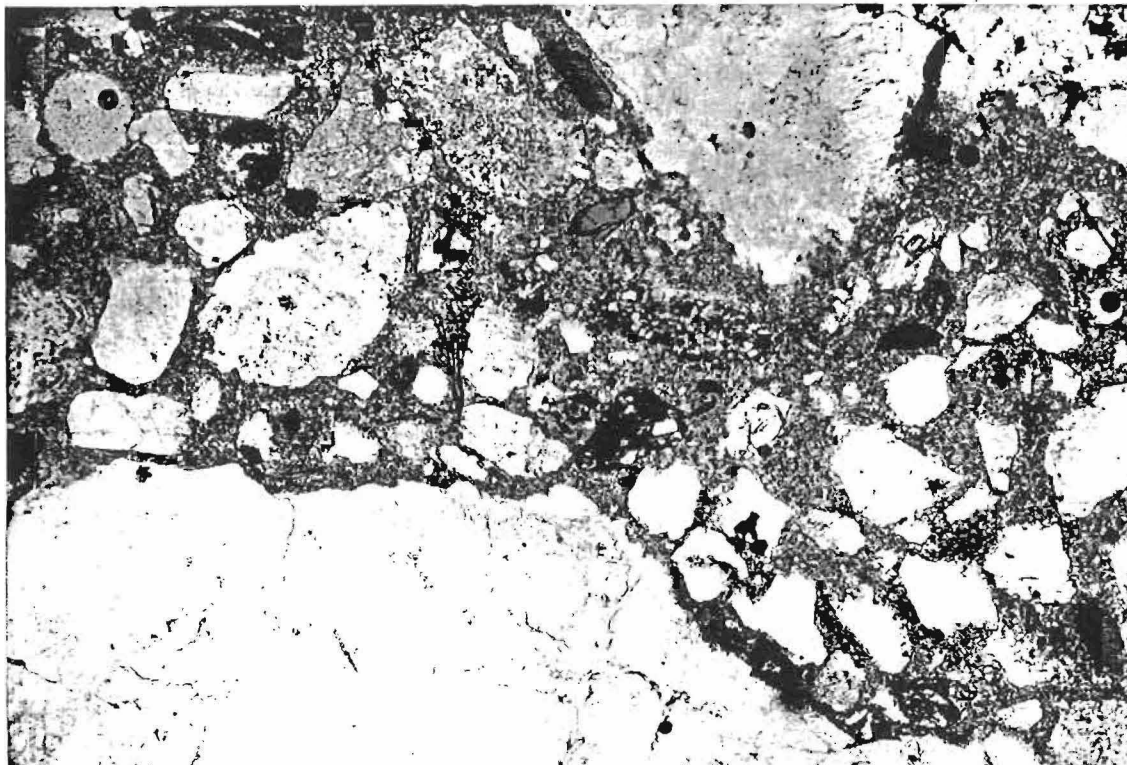


Figur 44: Tynnslip nr. 5 fra Hjera med 6,8 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 7,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02



Figur 45: Tynnslip nr. 6 fra Hjera med 7,2 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 7,8 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

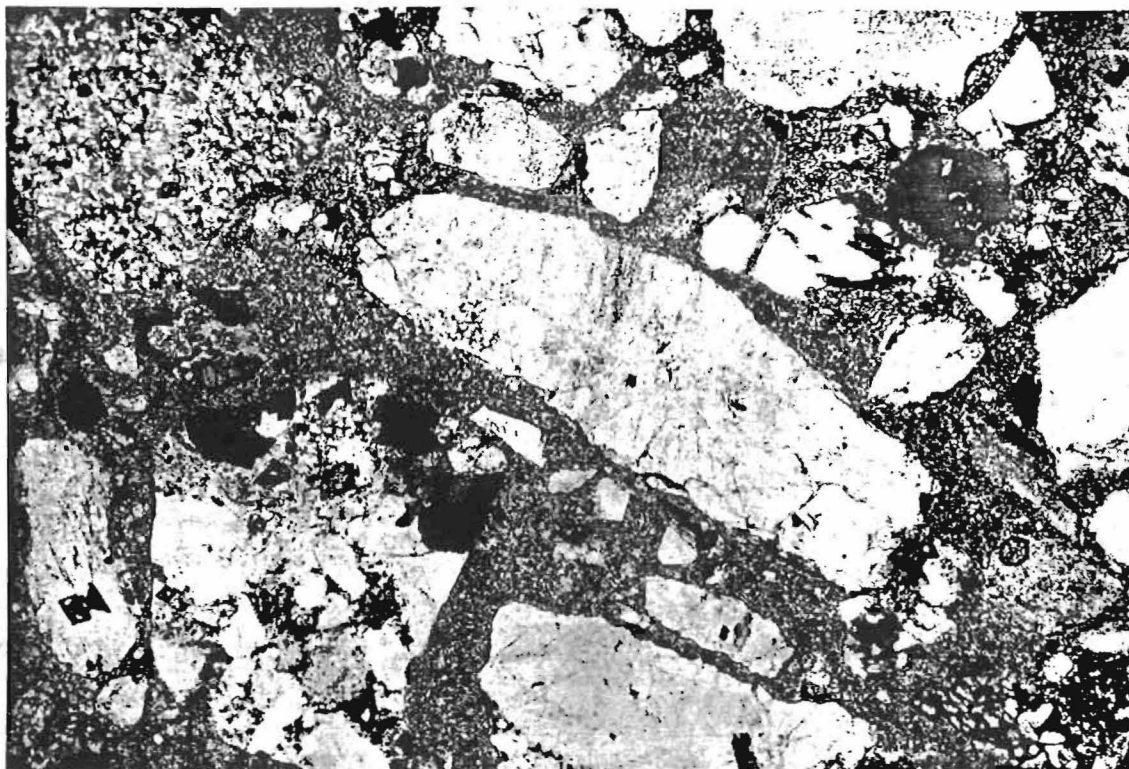
Slip nr. 7 fra Hjera har 7,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,3 % finstoff <0,075 mm). På figur 46 fins det kun meget få små, rene epoksyprikker. Finstoffrik epoksy er jevnt fordelt over slipet, kun meget tynne, lysere, finstoffholdige epoksysoner følger kornkantene.



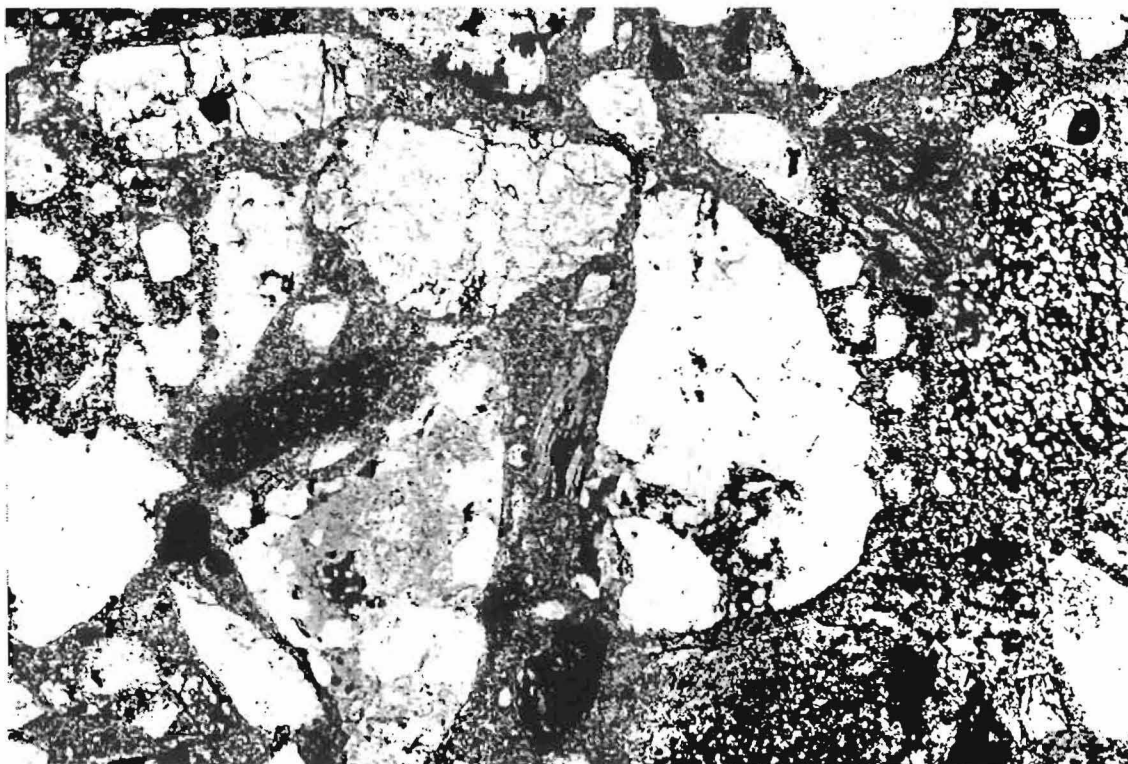
Figur 46: Tynnslip nr. 7 fra Hjera med 7,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,3 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

Slip nr. 8 fra Hjera har 8,2 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,9 % finstoff <0,075 mm). På figur 47 fins ingen rene epoksysoner. En finstoffrik epoksy er jevnt fordelt over hele bildet.

Slip nr. 9 fra Hjera har 8,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 9,4 % finstoff <0,075 mm). Figur 48 ligner meget på figur 47. Finstoffrik epoksy er jevnt fordelt over hele bildet.



Figur 47: Tynnslip nr. 8 fra Hjera med 8,2 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 8,9 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02



Figur 48: Tynnslip nr. 9 fra Hjera med 8,7 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 9,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

5.3 Diskusjon

Diskusjonen gjelder for grusprøver stabilisert med epoksy Bir-1.

Et tynnslip representerer et todimensjonalt bilde av prøven. Den manglende tredje dimensjonen gjør det umulig å angi reelle kornstørrelser eller antall kornkontakter. Uttalelser om større og mindre korn eller brede og smale epoksybånd er direkte knyttet til det todimensjonale slippet (bildet).

Luftblærene i slipene er runde, og alle er omgitt av en hinne med ren epoksy. Dette er et tegn på at luftblærene kan ha oppstått pga. en noe uforsiktig blanding av harpiks og herder.

Vann har en overflatespenning som epoksyen ikke har. Epoksyens manglende overflatespenning er en stor fordel for laboratorieforsøkene. Prøvene blir opptil 100 % epoksymettet ved optimalt epoksyinnhold. Vannets polaritet gjør at det oppstår van der Waalske-bindinger mellom de fineste partiklene i finstoffet. Ved bruk av epoksy istedenfor vann faller kohesjonskreftene bort og finstoffet vil bevege seg friere i matriksen, upåvirket av nabokornenes elektriske ladning. Finstoff fra Hovinmoen og Hjera inneholder mindre enn 10 % leirpartikkler, og mineralogien er tilnærmet identisk (se kapittel 3.2). Disse leirfattige finstofftypene er antageligvis lite påvirket av kohesjonskrefter og epoksyens manglende polaritet.

Sammenligner en tynnslipene fra prøver med finstoff fra Hovinmoen og Hjera ser en tydelig tre ulike typer matrikssammensetninger, avhengig av mengde finstoff i prøvene:

- Type 1: matrikssammensetningen har en åpen struktur, med bånd av ren epoksy rundt korn og langsmed områder av finstoffrikere epoksy (slip 1 fra Hovinmoen og slip 1-3 fra Hjera)
- Type 2: matrikssammensetningen har fortsatt områder med ren epoksy, men mindre i størrelse og mer isolert fra hverandre (slip 2-4 fra Hovinmoen og slip 4-7 fra Hjera)
- Type 3: matrikssammensetningen mangler helt de rene epoksyområder, og forskjellen mellom finstoffholdig og finstoffrik epoksy er vanskelig å se. (slip 5-7 fra Hovinmoen og slip 8 og 9 fra Hjera)

Ser man på andel finstoff <0,020 mm i prøvene, går grensen mellom type 1 og type 2, med finstoff fra Hovinmoen et sted mellom 3,6 % og 4,1 % og med finstoff fra Hjera går grensen et sted mellom 6,1 % og 6,6 %. Grensen mellom type 2 og 3, for prøvene med finstoff fra Hovinmoen går et sted mellom 4,7 % og 5,1 % og med finstoff fra Hjera går grensen et sted mellom 7,7 % og 8,2 % finstoff <0,020 mm.

Ser man imidlertid på andel finstoff <0,075 mm i prøvene, går grensen mellom matrikstype 1 og 2 for prøvene med finstoff fra både Hovinmoen og Hjera ved rundt 7 % finstoff <0,075 mm. Grensen mellom matriks-sammensetning type 2 og 3 går for begge mellom 8,6 og 8,9 % finstoff <0,075 mm.

Dette viser tydelig at prosentandelen finstoff mindre enn 0,020 mm kan variere mye, uten at dette har innvirkning på kornskjelettstrukturen og matrikstypelinndelingen.

6. SAMLET VURDERING OG DISKUSJON AV DET GJELDENDE TELEFARLIGHETSKRITERIUM

6.1 Statens vegvesens telefarlighetskriterium

Vegvesenets normaler for vegbygging sier at en vegoverbygning ikke skal være telefarlig, dvs. at andelen av finstoff under 0,020 mm ikke skal være høyere enn 3 % (se kapittel 1.1).

Andre land i Europa med like strenge krav til finstoffinnhold i overbygningen er bl.a. Finland, Vest-Tyskland og Østerrike. Bergartene i disse land er stort sett av mye dårligere kvalitet enn de fleste norske bergarter. Finlands grusforekomster består f.eks. av 60 % glimmergneis og granitt og av 40 % glimmerskifer (Nordisk Vejteknisk Forbund, 1977). Statens vegvesens telefarlighetskriterium er antageligvis alt for strengt for de fleste, slitesterke bergarter i Norge, og det burde heller legges noe mere vekt på bergartenes petrografi enn kun grusmaterialenes finstoffinnhold.

6.2 Materialeegenskapenes innvirkning på grusmaterialets stabilitet

6.2.1 Andel finstoff $\leq 0,020$ mm og $\leq 0,075$ mm

Forsøk med vibrerende belastning og stabilisering av grusprøver for studier av kornskjelettet, ble utført på grusprøver som var tilsatt finstoff $\leq 0,075$ mm med 2 typer kornkurver. Finmaterialet $\leq 0,075$ mm i grusprøvene kunne inneholde enten 50 % eller 90 % finmateriale $\leq 0,020$ mm, uten at dette hadde noe innvirkning på grusmaterialets stabilitet. Forsøksresultatene fra vibrerende belastning og undersøkelser av kornskjelettstrukturen viste at finstoffandelen $\leq 0,075$ mm alene var avgjørende for grusmaterialenes oppførsel. Prosentandelen $\leq 0,020$ mm kunne derfor variere mellom 50 og 90 % av materiale $\leq 0,075$ mm uten at det påvirket grus materialets porerom- og kornskjelettsstruktur. Dette vises tydelig i tynnslipene (se kapittel 5.3).

Et finstoffinnhold på mellom 5,5 % og 9 % $\leq 0,075$ mm i grusprøvene ga ifølge tynnslipundersøkelsene best resultater mht. oppnådd densitet under komprimeringen og også mht. finstoff/epoksy-fordeling imellom kornene i prøven.

Grusmaterialer med et lavt finstoffinnhold, dvs. $\leq 4,5$ % $\leq 0,075$ mm fra Kjellerholen, gjennomgikk en etterkomprimering med konstant deformasjon under forsøket med vibrerende belastning. Dette skyldtes

den lave densiteten oppnådd under proctorkomprimeringen, pga. et for lavt finstoffinnhold. Også de epoksystemstabiliserte grusprøvene med finstoff fra Hjera på $\leq 5,0\%$ $\leq 0,075$ mm hadde en altfor lav densitet etter komprimeringen. Densiteten var på ca. $1,90 \text{ g/cm}^3$ våtdensitet i disse prøvene, mot en densitet på ca. $2,30 \text{ g/cm}^3$ i prøver med mer enn $5,0\%$ finstoff $\leq 0,075$ mm.

6.2.2 Kornform og plastisitet

Finmaterialets ($\leq 0,075$ mm) kornform og mengde materiale $\leq 0,002$ mm synes å være avgjørende for plastisiteten av et materiale. Selmer Olsen (1954) uttrykker norske leirers plastisitetsgrense og flytegrense som funksjon av andelen materiale $\leq 0,002$ mm. Ifølge Selmer Olsen er det en viss korrelasjon mellom plastisitetsgrense og materialets gradering (sortering). Like godt graderte materialer kan være mer eller mindre porøse under det vanninnhold og den pakningsgrad som oppnås under utrulling (Selmer-Olsen, 1954). Et lavt innhold av materiale $\leq 0,002$ mm og et kantet/kantrundet finstoffmateriale $\leq 0,075$ mm kan være grunnen til den ikke-plastiske oppførsel i samtlige grustakprøver i finstofffraksjonen $\leq 0,075$ mm. Ifølge danske spésifikasjoner (Nordisk Vejteknisk Forbund, 1977) bør plastisitetsindeksen i stabil grus være $\leq 5-6\%$.

Oppbygning av poreovertrykk i forsøket med vibrerende belastning skjedde for grusprøver med så vel plastisk som ikke-plastisk finstoff. Grusmaterialet med plastisk finstoff fra Kjellerholen fikk en poretrykkoppbygning og deformasjon i begynnelsen av forsøket, mens for grusprøvene med ikke-plastisk finstoff fra Glomstad var poretrykkoppbygning og deformasjon mer jevnt og skjedde noe senere i forsøket (se kapittel 4.3.3).

6.2.3 Petrografi/mineralogi

Grusmaterialets kvalitet avhenger av bergartssammensetningen. Skifrige bergarter har et høyt innhold av glimmer og gir av den grunn grusmaterialet en noe dårligere kvalitet. Glimmer og leirmineralene har pga. sin struktur en overflateladning og binder vann adhesivt til mineraloverflaten. Dette reduserer mengden av det frie porevannet i grusen og motstanden mot omlagring av korn øker. Grusmaterialet oppnår ikke maksimal densitet under proctorkomprimering. Skiferbergarter kan lett brytes ned mekanisk, og finstoffandelen i grusen øker raskt under komprimeringen og trafikkbelastningen.

Et høyt glimmerinnhold i siltfraksjonen kan ha friksjonsreduserende virkning særlig ved høye finstoffinnhold ($\leq 0,075$ mm). Forsøket med vibrerende belastning viste at grusprøven med glimmerrik finstoff fra Glomstad, og samtidig høyt finstoffinnhold på 12 % $\leq 0,075$ mm, fikk en konstant deformasjon i begynnelsen av forsøket, som plutselig ble avbrutt av en rask, stor deformasjon to ganger etter hverandre mot slutten av forsøket. Her var det nok nedsatt friksjon pga. glimmerinnholdet og en gradvis oppbygning av poretrykket som lå til grunn for denne oppførselen. Grusmaterialet med 12 % finstoff $\leq 0,075$ mm fra Hovinmoen, med et lavere glimmerinnhold, fikk en jevn deformasjon under vibrerende last, uten at poreovertrykket ble bygget opp (se kapittel 4.3.3).

6.3 Sammenheng mellom materialelegenskapene, kornskjelettet og grusmaterialenes stabilitet

Grusprøvene er sammensatt av et grovmateriale ($\geq 0,075$ mm og < 19 mm) av steinklasse 2, uten skifer- eller glimmerrike bergarter, og forskjellige typer finmateriale $< 0,075$ mm (se kapittel 6.1 og 3.2). Av prøvenes deformasjonsforløp og kornskjelettstruktur ser man følgende:

- Grusmaterialets stabilitet innvirkes ikke av finstoffets kornfordeling, dvs. prosentandel materiale $< 0,020$ mm av den totale mengden materiale $< 0,075$ mm. Prosentandel finstoff $< 0,020$ mm kan være 50 % (middelsgradert finstoff) eller 90 % (ensgradert finstoff) av den totale mengde finstoff $< 0,075$ mm og likevel ha samme kornskjelettstruktur og samme deformasjon under vibrerende last. Dette gjelder så lenge den totale finstoffmengden $< 0,075$ mm utgjør mellom ca. 5,5 % og 9,0 % av hele grusprøven (< 19 mm), og finstoffets opphavsmateriale ikke består av skifrige- eller glimmerrike bergarter.
- Grusmaterialets stabilitet innvirkes av finstoffets mineral-sammensetning. Finstoff med mye glimmer eller karbonater, fra grustak der grusfraksjonen (2-8 mm) består av ca. 25 % skifer- og kalksteinsbergarter, fører til en nedsatt bæreevne av grusprøvene allerede ved 7-8,5 % finstoff $< 0,075$ mm i prøven (< 19 mm). Grusprøver fra grustak der slike bergarter ikke er representert, er ikke berørt av bæreevnereduksjon pga. mineralsammensetningen.
- Grusmateriale med $\leq 5,0$ % finstoff $< 0,075$ mm har en ustabil kornskjelettstruktur pga. for lite finstoff. Det lave finstoffinnholdet resulterer i en lav densitet etter proctorkomprimeringen og en kollaps og etterkomprimering av den åpne kornskjelettstrukturen under vibrerende belastning.

- Poreovertrykksoppbygning, samt etterkomprimering av de proctor-komprimerte prøvene, gjør seg gjeldende for grusprøver med et leir-glimmerrikt finstoffinnhold på ca. 12 % $\leq 0,075$ mm under vibrerende last. Grusprøver med leirrikt finstoff fikk en hurtig oppbygning av poretrykket og en meget rask deformasjon i forsøkets startfase. Grusprøver med en glimmerrik siltfraksjon, men leirfattig finstoff gjennomgikk en etterkomprimering med påfølgende poretrykksoppbygning og deformasjon i slutten av forsøket.

7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER TIL VIDERE ARBEID

7.1 Konklusjon

Følgende konklusjoner for finmaterialeegenskapenes innvirkning på grusmaterialenes stabilitet er trukket:

- * Grusmaterialers vannømfintlighet bør klassifiseres på grunnlag av materialenes kornfordeling, der gjennomgang tilsvarende en korndiameter på 0,075 mm av materialet <19 mm er utslagsgivende. Prosentandel materiale <0,020 mm kan variere mellom 50 og 90 % av den totale mengde materiale <0,075 mm uten at dette har innvirkning på grusmaterialenes stabilitet.
- * Når et grusmateriales vannømfintlighet klassifiseres ut ifra kornkurven uten hensyn til bergartssammensetning, bør mengde finstoff <0,075 mm ikke overskride 7,0 %. innhold av skiferbergarter kalksteinsbergarter, eller plastisk finstoff fører til nedsatt friksjon og oppbygning av poreovertrykk.
- * Er grusmaterialet uten skiferbergarter, og er finstoffet ikke-plastisk, kan finstoffinnholdet <0,075 mm være opptil 9,0 %.

7.2 Anbefalinger til videre arbeid

Som en videreføring av forsøkene burde grusmaterialer med et finstoffinnhold på mellom 6,5 og 9,0 %, og med varierende mineralogisk sammensetning undersøkes nøyere. Vejlaboratorium i Roskilde i Danmark har fulgt opp forsøksmetoden for tynnslipundersøkelsene og observert epoksysoner rundt bergartskorn slik det er beskrevet i kapittel 5.2.

Når det gjelder forsøket med vibrerende belastning, burde man også foreta en vurdering av vibrasjonsfrekvens, vibrasjonstid og vibrering av enten hele prøven, eller kun vibrering av CBR-stempelet.

L I T T E R A T U R L I S T E

ALKIRE, B.D. & MORRISON, J.M. (1983)

Change in Soil Structure Due to Freeze - Thaw and Repeated Loading.
TRB rec 918 (Transportation Research Board).

BRALEY, W.A. (1988)

AKPAVE: Computer Aided Design and Evaluation of Flexible Pavements.
State of Alaska Department of Transportation and Public Facilities,
Vol.7, No.10 Research Notes.

BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (1980)

Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification.
Mineralogical Society Monograph No.5,
London. ISBN 0 903056 08 9.

CHAMBERLAIN, E.J., COLE, D.M. & JOHNSON, T.C. (1978)

Influence of Freezing and Thawing on the Resilient Properties of a Silt
Soil Beneath an Asphalt Concrete Pavement.
CRREL Report 78-23.

CHAMBERLAIN, E.J. (1981)

Frost susceptibility of soil; Review of index tests.
CRRL monograph 81-2.

CHAN, C.K & SEED, H.B. (1961)

Undrained shear strength after soaking.
Trans. ASCE Vol. 126.

EIRUM, R. (1973)

Jordarters vannømfintlighet. Veglaboratoriet,
Oslo, Intern rapport nr. 512.

ESCH, D.C. & Mc HATTIE, R.L. (1983)

Prediction of Roadway Strength from Soil Properties.
TRB rec 918 (Transportation Research Board).

FYNBOE, C. CHR. (1982)

Resilient Behaviour of Different Granular Materials.
SINTEF (NTH): Prosjekt nr. 610070.

GASKIN, P. (1981)

Water Susceptibility of Gravel. Veglaboratoriet,
Oslo, Intern rapport nr. 994.

HAUCK, CH. (1986)

Grusmaterialers vannømfintlighet. Litteraturundersøkelse.
Veglaboratoriet, Oslo, Intern rapport nr. 1278.

HAUCK, CH. (1987)

Stabilitet av bærelagsgrus under vibrerende last. Veglaboratoriet,
Oslo, Intern rapport nr. 1320.

HJELLE, A. (1962)

Noen observasjoner fra grunnfjellsområdet mellom Randsfjorden og
svenskegrensen. Norges Geologiske Undersøkelser
NGU nr. 223, Arbok 1962, Oslo 1963.

HOLMSEN, G. (1971)

Nyttbare sand- og grusforekomster i syd-Norge. Del II.
Norges Geologiske Undersøkelser Nr. 271.

HOLTEDAHL, O. (1960)

Geology of Norway. Marine deposits of the Oslofjord - Romerike
district.
Norges Geologiske Undersøkelser Nr.208, 374-389.

HÖBEDA, P. (1985)

Bärlagergrus - en inventering av erfarenheter.
VTI Nr. 442.

LONGVA, O. (1987)

Ullensaker 1915 II, Beskrivelse til kvartærgeologisk kart -
M 1:50 000. Norges Geologiske Undersøkelser.
NGU Skrifter 76.

MAKDISI-ILYAS, F. (1972)

The Effect of Plasticity and Quantity of Fines on Stability of Soil-
Gravel Mixtures. Joint Highway Research Project Number 16,
Purdue University and Indiana State Highway Commission.
IRRD No 625.7.07.

NORDAL, R.S. (1987)

Vegbygging. Institutt for veg- og jernbanebygging.
Norges Tekniske Høgskole, Trondheim.

NORDISK VEJTEKNISK FORBUND (1977)

Bærelagsgrus.
Udvalg 30, Rapport Nr. 9.

NORSK STANDARD NS (1982a)

NS 8000. Geoteknisk prøving. Laboriemetoder.
Konsistensgrenser, begreper, terminologi og symboler.

NORSK STANDARD NS (1982b)

NS 8002. Geoteknisk prøving. Laboriemetoder. Konusflytegrense.

NORSK STANDARD NS (1982c)

NS 8003. Geoteknisk prøving. Laboriemetoder. Plastisitetsgrense.

OFTEDAHL, C. (1981)

Norges geologi.

Tapir 1981, 2. utgave. ISBN 82-519-0446-3.

REFSDAL, G. (1987)

Ringtrykket ødeleggende på tynnt dekke med grus bærelag.

Våre Veger, Bd. 13, nr. 8, 14. årgang.

ROBERTS, F.L., TIELKING, J.T., MIDDELTON, D., LYTTON, R.L. &
TSENG, K.-H. (1985)

Effects of Tire Pressures on Flexible Pavements.

Texas Transportation Institute TTI 372-IF.

SANDVEN, R. (1981)

Finstoffinnholdets innflytelse på skjærstyrke av vannmettet grus.

Hovedfagsoppgave NTH Trondheim.

SELMER-OLSEN, R. (1954)

Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet.

Norges Geologiske Undersøkelser 186.

SOGN OG FJORDANE VEGKONTOR, SINTEF AVD. VEGTEKNIKK og
VEGLABORARIET (1987)

Forskningsprosjekt: Svake bærelag, måle- og forsterkningsmetoder.

STATENS VEGVESEN, NORMALER (1981)

Vegbygging '80. Håndbok 018, 2.opplag,

ISBN 82-7207-095-2.

STATENS VEGVESEN, RETNINGSLINJER (1983)

Laborieundersøkelser. Håndbok 014, 2.utgave,

ISBN 82-7207-164-9.

STATENS VEGVESEN, RETNINGSLINJER (1984)

Feltundersøkelser. Håndbok 015, 2.opplag,

ISBN 82-7207-168-1.

SVEIAN, H. (1979)

Gjøvik. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1816 I -
M 1:50 000. Norges Geologiske Undersøkelser Nr. 345.
NGU Skrifter 26.

SØRENSEN, R. (1980)

De yttre geologiske prosesser. Landbruksbokhandelen Ås-NLH
ISBN 82-557-0083-8.

THOREZ, J. (1976)

Practical identification of clay minerals.
Editions G. Lelotte, B 4820 Dison (Belgique).

TRÖGER, W.E. (1969)

Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2,
2. Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

WELTON, J.E. (1984)

SEM petrology atlas.
Methods in Exploration Series, AAPG.

ØSTMO, S.R. (1975)

Kvartærgeologisk kartlegging med spesiell vekt på registrering og
undersøkelse av sand- og grusforekomster i Ullensaker kommune,
Akershus fylke.
NGU/SRØ/O-75045 Norges Geologiske Undersøkelser, rapport.

FIGURER

- Figur 1: Krav til korngradering for bærelag av velgraderte materialer (Statens vegvesen, 1981)
- Figur 2: Telefarlighetsklassifisering (Statens vegvesen, 1981)
- Figur 3: Overbygning med asfaltdekke (Statens vegvesen, 1981)
- Figur 4: Fordeling av ringtrykk og aksellast i vegens over- og underbygning
- Figur 5: Innvirkning av ringtrykk på kontakttrykk (utregnet for 10.00 x 20.00 lastebilhjul) (Roberts et al., 1985)
- Figur 6: Apparat for CBR-forsøk (Nordal, 1987)
- Figur 7: Prinsipp for Benkelmanbjelke (Statens vegvesen, 1984)
- Figur 8: Variasjon av trykkspenning (ved 15 psi, dvs. 103,42 kPa sidetrykk) ved forskjellig plastisitetsindeks og støvforhold (Makdisi-Ilyas, 1972)
- Figur 9: Oversiktskart over lokalitetene Hovinmoen grustak (1), Hjera grustak (2), Glomstad grustak (3) og Kjellerholen (4)
- Figur 10: Hovinmoen grustak, Ullensaker kommune i Akershus målestokk 1:50 000
- Figur 11: Hjera grustak, Eidsvoll kommune i Akershus målestokk 1:50 000
- Figur 12: Glomstad grustak, Gjøvik kommune i Oppland målestokk 1:50 000
- Figur 13: Kjellerholen, Skedsmo kommune i Akershus målestokk 1:50 000
- Figur 14: Isavsmeltningsforløpet på Romerike (Longva, 1979)
- Figur 15: Kwartergeologisk kart over deler av Øvre Romerike. 1) Isranddelta ved Li og 2) isranddelta ved Trandum (Østmo, 1975)

- Figur 16: Oppbygningen av en sandur (bredelta). Topplag, skrålag (deltafront) og bunnlag. Kjerne av morenemateriale ved den opprinnelige brefronten (Sørensen, 1980)
- Figur 17: Seismisk profil over Hauer seter-sanduren (Longva, 1979; etter Østmo)
- Figur 18: Et sterkt forenklet berggrunnskart over deler av det sydøst-norske grunnfjell, Oslofeltet, den østlandske sparagmitt-regionen og tilstøtende områder (Østmo, 1975)
- Figur 19: Løsmasseundersøkelse i Ullensaker kommune (Østmo, 1975)
- Figur 20: Eksempler på kornkurver med angitt jordartsklassifisering (Statens vegvesen, 1983)
- Figur 21: Beregning av røntgenrefleksjonens arealer. Røntgenrefleksjonens toppintensitet (h) multiplisert med halvverdibredden (w). Bakgrunnslinjen er inntegnet (---)
- Figur 22: Jordartsklassifisering for grusprøvene 02-05 og 12 fra Hovinmoen
- Figur 23: Jordartsklassifisering for finstoffprøvene 06, 07 og 13 fra Hovinmoen og prøve 14 fra Glomstad
- Figur 24: Jordartsklassifisering for finstoffprøvene 08-10 fra Hjera og prøve 15 fra Kjellerholen
- Figur 25: Røntgendiffraktogram for leirprøve fra Hjera (ubehandlet (UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB) prøve)
- Figur 26: Røntgendiffraktogram for leirprøve fra Hovinmoen (ubehandlet (UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB) prøve)
- Figur 27: Sveipe-elektronmikroskopfoto og skisse for gullbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hjera.
- Figur 28: Sveipe-elektronmikroskopfoto og skisse for gullbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hovinmoen.
- Figur 29: Forsøksapparat for forsøk med vibrerende belastning
- Figur 30: Deformasjon av grusprøver fra Hovinmoen med finstoff fra Hovinmoen under vibrerende belastning

- Figur 31: Deformasjon av grusprøver fra Hovinmoen med finstoff fra Glomstad under vibrerende belastning
- Figur 32: Deformasjon av grusprøver fra Hovinmoen med finstoff fra Kjellerholen under vibrerende belastning
- Figur 33: Relasjon mellom tørrdensitet og vanninnhold ved standard Proctor komprimeringsforsøk (Nordal, 1987)
- Figur 34: Tynnslip nr. 1 fra Hovinmoen med 3,6 % finstoff <0,020 mm (dvs. 6,6 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 35: Tynnslip nr. 2 fra Hovinmoen med 4,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,5 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 36: Tynnslip nr. 3 fra Hovinmoen med 4,3 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,9 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 37: Tynnslip nr. 4 fra Hovinmoen med 4,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,5 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 38: Tynnslip nr. 5 fra Hovinmoen med 5,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 9,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02
- Figur 39: Tynnslip nr. 6 fra Hovinmoen med 5,6 % finstoff <0,020 mm (dvs. 10,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02
- Figur 40: Tynnslip nr. 1 fra Hjera med 5,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 5,5 % finstoff <0,075 mm) , målestokk 1:0,02
- Figur 41: Tynnslip nr. 2 fra Hjera med 5,6 % finstoff <0,020 mm (dvs. 6,1 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 42: Tynnslip nr. 3 fra Hjera med 6,1 % finstoff <0,020 mm (dvs. 6,7 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 43: Tynnslip nr. 4 fra Hjera med 6,6 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,2 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,01
- Figur 44: Tynnslip nr. 5 fra Hjera med 6,8 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02
- Figur 45: Tynnslip nr. 6 fra Hjera med 7,2 % finstoff <0,020 mm (dvs. 7,8 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02
- Figur 46: Tynnslip nr. 7 fra Hjera med 7,7 % finstoff <0,020 mm (dvs. 8,3 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

Figur 47: Tynnslip nr. 8 fra Hjera med 8,2 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 8,9 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

Figur 48: Tynnslip nr. 9 fra Hjera med 8,7 % finstoff <0,020 mm
(dvs. 9,4 % finstoff <0,075 mm), målestokk 1:0,02

TABELLER

- Tabell 1: Det vest-tyske telefarlighetskriteriet fra 1979
(Chamberlain, 1981)
- Tabell 2: Det østerrikske telefarlighetskriteriet for grusmaterialer
fra 1980 (Chamberlain, 1981)
- Tabell 3: Løsmasseundersøkelse av grusmateriale fra Hauer seter
israndavsetning (Østmo, 1975)
- Tabell 4: Refleksjoner (Å) benyttet til kvalitativ bestemmelse av
mineralinnhold (etter Brindley & Brown, 1980)
- Tabell 5: Refleksjoner (Å) benyttet til beregning av røntgenprosent
- Tabell 6: Oversikt over resultater fra jordartsklassifiseringen
- Tabell 7: Petrografisk/mineralogisk sammensetning av grusmateriale
fra Hovinmoen (0,125-19 mm)
- Tabell 8: Refleksjonene (Å) til leirprøven fra Hjera (ubehandlet
(UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB)
prøve)
- Tabell 9: Refleksjonene (Å) til leirprøven fra Hovinmoen (ubehandlet
(UB), etylenglykolbehandlet (EG) og varmebehandlet (VB)
prøve)
- Tabell 10: Røntgenprosentberegning for 3,19-4,26 Å mineralene kvarts,
kali-feltspat og plagioklas
- Tabell 11: Blanding av grov- og finmateriale for forsøket med vibrer-
ende belastning

S Y M B O L E R

Cu	graderingstall, d60/d10 eller d75/d25
CBR	California Bearing Ratio
d-verdi	interplanær avstand d i et (atom) krystallplan
EDS	elektron dispersive stråler (se Kap. 3.1.5)
E-modul	elastisitetsmodul
(hkl), (001)	Miller indices (f.eks. (001), (020) og (100)) (nevnt i kapittel 3.1.4)
Ip	plastisitetsindeks
in	lengde, inch (1 in=25,4 mm)
$\bar{k}\alpha$	røntgenstråling
lb	masse, pound (1 lb=0,4535924 kg)
psi	trykk, spenning (1 psi=6,894 kPa)
SEM	sveipe-elektronmikroskop
T1	ikke telefarlig materiale
T2	litt telefarlig materiale
T3	middels telefarlig materiale
T4	meget telefarlig materiale
Wl	flytegrense
Wp	utrullingsgrense, plastisitetsgrense
\bar{x}	middelverdi $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$
XRD	røntgendiffraktometer
A	Angstrøm
ADT-T	årsdøgntrafikk tunge kjøretøyer med totalvekt $\geq 3,5$ tonn
2 θ	avbøyningsvinkel
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	hovedspenningene
σ_x	standardavvik $\sigma_x = \sqrt{\left[\frac{\sum (\bar{x} - x)^2}{n - 1} \right]}$

O R D L I S T E

Ord uten referanse er hentet fra en ordliste i håndbok 018, Vegbygging, (Statens vegvesen, 1981).

aksellast

Den totale last på et kjøretøys aksel.

Benkelmanbjelke

En ca. 4 m lang bjelke til måling av nedbøyningen på et vegdekke. Gir uttrykk for en vegs bæreevne.

bæreevne

For veger, den aksellast vegen kan ta vurdert på grunnlag av nedbøyningsmåling på et tilfeldig tidspunkt. Fordi nedbøyningen vil variere sterkt gjennom året, benyttes i praksis helårsbæreevne og sommerbæreevne for gjennomføring av aksellastpolitikken.

bærelag

Det øverste lag under vegdekket. Deles ofte i nedre og øvre bærelag.

bærelagsgrus

Se materialer, velgraderte.

CBR-verdi

Den belastning som ved et CBR-forsøk gir en nedsynkning på 0,1" i løpet av 2 minutter, uttrykt i % av en standardisert belastning som gir den samme innsynkning i et standardmateriale. (CBR = California Bearing Ratio)

densitet

Masse pr. volumenhet.

E-modul (elastisitetsmodul)

Forholdet mellom belastning og elastisk deformasjon. Bestemmes bl.a. ved platebelastningsforsøk.

flytegrense (W_l)

Det vanninnhold i prosent av tørstoffmengden hvor en jordart går over fra plastisk til flytende tilstand.

forsterkningslag

Lag i vegens overbygning som har til formål å fordele trafikklastene mot undergrunnen.

forvitring

Gradvis nedbrytning av materialer utsatt for klimapåkjenninger og kjemiske stoffer.

graderingstall (Cu)

Forholdet mellom kornstørrelsene, normalt ved 60 % og 10 % gjennomgang, i en kornkurve.

grus

Naturlig forekommende steinmateriale hvor grusfraksjonen (2-60 mm) er den dominerende.

humus

Finfordelte, delvis nedbrutte plante- og dyrerester i jord- og steinmaterialer.

hydraulisk radius

Forholdet mellom en elvs tverrsnitt og omkretsen av tverrsnittet (den våte perimenter), (Bjørlykke, 1984).

hydrometeranalyse

Metode til bestemmelse av kornkurven under 0,075 mm kornstørrelse.

jordart, telefarlig

Jordart som under frysing har evnen til å trekke opp vann kapillært til frostsone.

kornform

Karakteristikk av et steinkorns form (som rundt, kubisk, langstrakt eller flisig) etter forholdet bredde/tykkelse og forholdet lengde/tykkelse.

kornfraksjon

Del av steinmateriale hvor kornstørrelsene i sin helhet ligger innenfor to bestemte yttergrenser (laboratiebegrep).

kornkurve

Grafisk fremstilling av sammensetningen i et steinmateriale etter kornstørrelser.

kornstørrelse

Angis ved minste fri maskevidde i et maskesikt som kornet kan passere ved sikting. dx angir kornstørrelsen ved x% gjennomgang.

kornstørrelse, maksimal

Maskevidden i det minste sikt som 100 % av steinmaterialet passerer. Se kornstørrelse.

leire

Kohesjonsjordart med over 30 masseprosent materiale med kornstørrelse i leirfraksjonen (mindre enn 0,002 mm).

marin grense

Det øverste nivå hvor havet har stått etter at isen smeltet (Longva, 1987).

materialer, velgraderte

Bærelagsmateriale av naturgrus eller knust fjell som fyller spesielle krav mht. korngradering, kornform og mekanisk styrke.

materialtak

Sidetak hvor det tas ut masser til overbygningen.

monokromatisk røntgenstråling

Røntgenstråling bestående av bare en bestemt bølgelengde, f.eks. α . (Brindley & Brown, 1980).

overbygning

Se skisse i kapittel 1.3, side 3, figur 3.

permeabilitet

Uttrykk for evne til vanngjennomtrengelighet. Angis i cm/s.

plastisitetsgrense (W_p)

Se utrullingsgrense (W_p)

plastisitetsindeks (I_p)

Differansen mellom flytegrense og plastisitetsgrense.

porøsitet

Forholdet mellom volumet av luft og vann i en jordartsprøve og prøvens totalvolum. Uttrykkes normalt i %.

Proctor, Standard

Metode for bestemmelse av forholdet mellom vanninnhold og tørr densitet for jordarter som komprimeres i en standardisert form med en 5,5 pund stamper med 30 cm fri fallhøyde.

røntgenstråling α , β

α - og β -stråling genereres i røntgenrøret ved elektron-input på en anode av kobber. α -stråling av kopper er 1,5 418 Å, (Brindley & Brown, 1980).

sand

Naturlig forekommende steinmateriale hvor sandfraksjonen (0,06-2,0 mm) er den dominerende.

sandur

Et glasimarint delta bygget opp over marin grense (Sørensen, 1980).

sikteanalyse

Metode til bestemmelse av kornkurven ved sikting gjennom duk med kvadratiske masker.

siktekurve

Kornkurve bestemt ved sikteanalyse.

silt

Mellomjordart hvor siltfraksjonen (0,002-0,06 mm) er den dominerende.

stabilitet

Materialers evne til å motstå forskyvninger og setninger ved dynamiske og/eller statiske belastninger. Uttrykkes ved E-verdi, CBR-verdi, Marshall-verdi etc.

standardavvik

$$\sigma_x = \sqrt{\left[\frac{\sum (\bar{x} - x)^2}{n - 1} \right]}$$

For en normalfordelt prøve vil standardavvik omfatte 68 % av prøven.

telearlighetsgrad

En jordarts telearlighet, i Norge angitt etter en skala fra T1 (ikke telearlig) til T4 (meget telearlig).

telearøsning

Den periode hvor telen går ut av vegkroppen og hvor bæreevnen er på sitt laveste.

telearstriksjoner

Last- eller kjørerestriksjoner i telearsningsperioden.

telearskader

Skader på vegen pga. telearhiving og/eller nedsatt bæreevne i overbygningen pga. smeltevann som ikke har fritt avløp i telearsningsperioden.

tynnslip

Bergarts- eller mineralkorn som er slipt til en tykkelse på 0,02-0,03 mm. Brukes til analyse under polarisasjons-mikroskop (Sigursen, pers. medd., 1987).

utrullingsgrense (Wp)

Laveste vanninnhold i prosent av tørrstoffmengden hvor en jordart i omrørt tilstand er plastisk. Bestemmes ved utrulling av jordarten til en 3 mm tykk tråd.

vanninnhold

Vanninnholdet i et materiale angitt i masseprosent av tørrstoffmengden.

vanninnhold, optimalt

Det vanninnhold et materiale må ha for å gi størst tørr densitet ved et Proctor-forsøk. Ved praktisk komprimeringsarbeid vil det gunstigste vanninnhold avhenge av komprimeringsutstyret og er som regel forskjellig fra det "optimale".

vegdekke

Den øverste del av overbygningen. Består vanligvis av et slitelag og et bindlag av bituminøse materialer ("asfalt").

viskositet, dynamisk

Forholdet mellom spenningen (i væske som flyter eller utsettes for flyt) og hastighetsgradienten (forandring av hastighet pr. lengde-enhet).

våtsikting

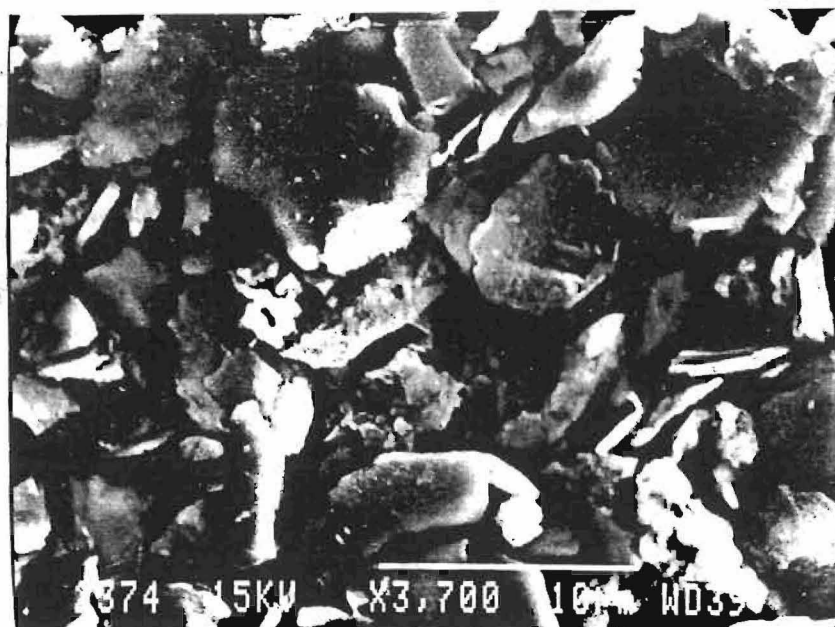
Vasking av materialer som inneholder finstoff som kitter steinmaterialene sammen. Utføres før sikteanalyse foretas for å få en riktig kornkurve.

årsdøgntrafikk, tunge (ADT-T)

Det totale antall tunge kjøretøy ($\geq 3,5$ t totalvekt) som passerer et punkt på en veg i løpet av ett år, dividert med 365.

V E D L E G G

- Vedlegg 1: Sveipe-elektronmikroskopfoto og skisse for karbonbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hovinmoen
- Vedlegg 2: Sveipe-elektronmikroskopfoto og skisse for karbonbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hjera
- Vedlegg 3: Måleverdier for CBR-stempelets innsynkning under vibrerende last
- Vedlegg 4: Bruksanvisning for epoksy Bir-1 fra Rescon A/S
- Vedlegg 5: Bruksanvisning for epoksy XW 396/397 fra CIBA & GEIGY GmbH
- Vedlegg 6: Bir-1 epoksy stabiliserte prøver, tynnslip 1-9
- Vedlegg 7: XW 396/397 epoksy stabiliserte prøver, tynnslip 1-8



Sveipe-elektronmikroskopfoto og skisse for karbonbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hovinmoen



Sveipe-elektronmikroskopfoto og skisse for karbonbelagt siltprøve (0,002-0,020 mm) fra Hjera

Måleverdier for CBR-stempelets innsynkning under vibrerende last

Prøve	Finstoff -type	%	< 0,075 mm	%	< 0,020 mm	Innsynkning i mm med tiden (sek)												
						5	10	15	30	45	60	90	120	180	240	300	360	420
1	Leirig silt	HOV	7,0	3,6	3,6	2,0	2,7	3,0	3,3	4,2	4,2	4,1	-	-	-	-	-	
						2,4	3,1	3,5	4,5	5,0	5,4	5,8	6,1	6,4	6,6	6,8	-	-
						1,4	1,9	2,3	3,0	3,5	3,8	4,3	4,6	5,1	5,5	5,7	5,9	-
2	Leirig silt	GL	7,0	3,4	3,4	1,9	2,5	2,9	3,6	4,1	4,5	4,9	5,2	5,5	5,7	5,9	-	
						1,9	2,7	3,6	5,1	5,7	6,2	6,9	7,3	7,9	8,3	8,6	-	
						1,2	1,9	2,5	3,7	4,7	5,3	6,3	7,2	7,5	9,6	10,5	11,2	11,7
3	Leire	KJELLER- HOLEN	4,5	4,0	4,0	2,0	2,5	2,8	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,3	5,7	6,0	6,4	
						1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	2,9	3,3	3,6	4,0	4,2	4,5	4,7	4,9
						3,0	3,4	3,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	-	6,4	6,5

RESCON EPOXY BIR 1.

RESCON EPOXY BIR 1 er et meget lettflytende løsningsmiddelfri epoxy-system med lang brukstid. Brukes til injeksjon, liming og støping. Det består av to flytende komponenter som må blandes godt sammen (helst med drill og visp, i minst 5 minutter) før bruk.

EGENSKAPER.

Blandingsforhold: 100 vektdeler komp. B (harpiks): 67 vektdeler komp. A (herder)

Egenvekt (blanding): 1,1

Viskositet (blanding): 200 cP (20⁰ C)

Brukstid: ca. 5 t (20⁰ C)

Herdetid: - klebefri: 24 t (20⁰ C)
- gjennomherdet: 7 dager (20⁰ C)



RESCON AS
Brødrene Tjugum

2120 Sagstua, Norway - Tel. (066) 71 688
Telex 76315 RESCO N - Telefax (066) 71 879

RICHARD COLLETT
Siv.ing./B.Sc.
Polymer Chemist



Produsent:

RESCON AS
Brødrene Tjugum

2120 Sagstua - NORWAY
Tlf.: (066) 71 688
Telex: 763 15 RESCO N

Provisorische Verarbeitungsanweisung für Produkt XW 396/XW 397

Transparentes Gießharz für Einbettung und zum Kleben von Glas und anderen Werkstoffen

<u>Eigenschaften der Produkte</u>	<u>Harz XW 396</u>	<u>Härter XW 397</u>
Farbe	wasserhell	wasserhell
Farbzahl (Gardner)	1 - 2	1 - 2
spez. Gewicht g/cm ³	1.12	0,95
Viskosität mPas	150	50 - 100
Brechungsindex des Gemisches	1.553	

Verarbeitung

Mischungsverhältnis:	Harz	XW 396	100 GT
	Härter	XW 397	30 GT

Topfzeit: 100 g/20°C 40 - 50 min.

Aushärtezeit: 20°C - 12 - 15 Std.
Bei spangebener Bearbeitung oder zum polieren, ist Nachhärtung bei 50°C zweckmäßig

Achtung: Schichtdicken bis zu 25 mm im Gießverfahren sind möglich.

Eigenschaften des gehärteten Klebstoffes:

Zugscherfestigkeit:	(am Alu-Prüfkörper)
bei 20°C	N/mm ²
Formbeständigkeit:	(nach Martens) 40°C

-2-

DACKUNGSGROSSEN

XW 396	1 kg	25 kg
XW 397	0.3 kg	7.5 kg

K. W. W. W.

Druckfestigkeit:	730 Kp/cm ²
spez. Durchgangswiderstand:	3,0 10 ¹⁵ cm
Kriechstromfestigkeit:	KA 3c
Lagerung der Gebinde:	Kühl und trocken bei Temperaturen um 18°C. Die Gebinde sind nach Gebrauch sofort zu schließen.
Schutzmaßnahmen:	Die bei der Verarbeitung von Epoxidharzen vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen sind einzuhalten. Hierüber orientiert das von uns herausgegebene Merkblatt "Arbeitshygiene beim Umgang mit Epoxidharzen und Härtern".

Die Angaben in dieser Provisorischen Gebrauchsanweisung stützen sich auf den heutigen Stand unserer Erkenntnisse. Sie zeigen unverbindlich die Anwendungsmöglichkeiten dieses Produktes.

März 1982
Ge/ko
E

Vedlegg 6: Bir-1 epoksy stabiliserte prøver, tynnslip 1-9

Hovinmoen grovmateriale (8 mm - 0,075 mm), Kornkurve nr. 03, blandet med finstoff (<0,075 mm):												
Kornkurve Lab.nr.	Finstofftype	Maksimal kornstørrelse (mm)	%andel materiale <0,020 mm (<0,075 mm) av den totale prøven									
			slip 1	slip 2	slip 3	slip 4	slip 5	slip 6	slip 7	slip 8	slip 9	
07	Hovinmoen finstoff	0,075	3,6(6,6)	4,1(7,5)	4,3(7,9)	4,7(8,5)	5,2(9,4)	5,7(10,4)	6,2(11,3)	-	-	-
08	Hjera finstoff	0,075	5,1(5,5)	5,6(6,1)	6,1(6,7)	6,6(7,2)	6,8(7,4)	7,2 (7,8)	7,7 (8,3)	8,2(8,9)	8,7(9,4)	8,7(9,4)

XW 396/397 epoksy stabiliserte prøver, tynnslip 1-8

Hovinmoen grovmateriale (8 mm - 0,075 mm), Kornkurve nr. 04, blandet med finstoff (<0,075 mm):										
Kornkurve Lab.nr.	Finstofftype	Maksimal kornstørrelse (mm)	%andel materiale <0,020 mm (<0,075 mm) av den totale prøven							
			slip 1	slip 2	slip 3	slip 4	slip 5	slip 6	slip 7	slip 8
06	Hovinmoen finstoff	0,075	3,8 (6,7)	4,1 (7,4)	4,4 (7,8)	4,6 (8,2)	4,8 (8,6)	5,0 (9,0)	5,3 (9,4)	5,7 (10,2)
08	Hjera finstoff	0,075	5,7 (6,2)	6,1 (6,7)	6,3 (6,9)	6,6 (7,2)	6,8 (7,4)	7,2 (7,8)	7,5 (8,1)	8,2 (8,9)