



# Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

## Rapportarkivet

|                                                                                                                     |                      |                                       |                                   |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Bergvesenet rapport nr<br><b>BV 3596</b>                                                                            | Intern Journal nr    | Internt arkiv nr                      | Rapport lokalisering<br>Trondheim | Gradering           |
| Kommer fra ..arkiv<br>Næringsdepartementet                                                                          | Ekstern rapport nr   | Oversendt fra                         | Fortrolig pga                     | Fortrolig fra dato: |
| Tittel<br>Kartlegging av naturstenskvaliteter i Annfinnslett Stenbrudd, samt vurdering av marmoruttak i distriktet. |                      |                                       |                                   |                     |
| Forfatter<br>Larsen, Marit Liv                                                                                      |                      | Dato<br>30.12 1987                    | Bedrift<br>NTH<br>SINTEF          |                     |
| Kommune<br>Lødingen                                                                                                 | Fylke<br>Nordland    | Bergdistrikt<br>Nordlandske           | 1: 50 000 kartblad                | 1: 250 000 kartblad |
| Fagområde<br>Geologi                                                                                                | Dokument type        | Forekomster<br>Annfinnslett Stenbrudd |                                   |                     |
| Råstofftype<br>Bygningstein                                                                                         | Emneord<br>Nautrsten |                                       |                                   |                     |
| Sammendrag                                                                                                          |                      |                                       |                                   |                     |

KARTLEGGING AV NATURSTEINSKVALITETER  
I ANFINNSLETT STEINBRUDD  
SAMT VURDERING AV MARMORUTTAK  
I DISTRIKTET

Hovedoppgave i Malmgeologi

av

Marit Liv Larsen

1987

Geologisk Institutt  
Norges Tekniske Høgskole  
Trondheim

KARTLEGGING AV NATURSTEINSKVALITETER  
I ANFINNSLETT STEINBRUDD  
SAMT VURDERING AV MARMORUTTAK  
I DISTRIKTET

Hovedoppgave i Malmgeologi

av

Marit Liv Larsen

1987

Geologisk Institutt  
Norges Tekniske Høgskole  
Trondheim

## NORGES TEKNISKE HØGSKOLE

BERGAVDELINGEN

TRONDHEIM - N.T.H.  
TELEFON (075) 9480

## HOVEDOPPGAVE for

Navn : MARIT LIV LARSEN

Studieretning : MALMGEOLOGI

Tekst : Kartlegging av naturstenskvaliteter i Annfinn-  
slett steinbrudd samt vurdering av marmoruttak  
i distriktet.

## Utfyllende tekst :

Kandidaten skal med grunnlag i nærmere definerte kvalitetskriterier som blir gitt av bedriften foreta en detaljgeologisk kartlegging av Annfinnslett steinbrudd. I hovedsak vil farge og struktur være kvalitetskriterier, men også andre parametre kan ha betydning.

Kandidaten skal også foreta en undersøkelse av mulighetene for marmoruttak i bestemte lokaliteter i distriktet. Disse velges ut etter befaringer og vurdering av eksisterende kartgrunnlag. Tilknytning til veinett samt nærhet til sjø vil i tillegg til geologiske kriterier være viktige faktorer.

Kandidaten skal utføre petrografiske bestemmelser samt materialtekniske tester av utvalgte prøver. Testene kan også omfatte overflatepoleringer for vurderinger av farge og struktur.

Kandidaten skal med grunnlag i innhentete informasjonen og lit.undersøkelser foreta beskrivelse av tester for naturstein. Spesielt ønskes forskjellige nasjonale standarder beskrevet med særlig vekt på eventuelle forskjeller.

Kandidaten skal også søke å beskrive aktuelle tester for å bestemme langtidssforvitring i storbymiljø av naturstein.

Oppgaven innleveres i 2 - to - eksemplarer til avdelingskontoret  
+ eventuelle ekstra eksemplarer til instituttet etter avtale med  
faglærer.

Oppgaven utlevert : 1-7-87

Oppgaven innlevert :

*Ambores,*

Kopi: Bergavd.

faglærer

ERKLÆRING

Jeg erklærer med dette at arbeidet med  
hovedoppgaven er utført selvstendig  
og i samsvar med høyskolens eksamensreglement.

Trondheim, 30.12.87

*Marit Liv Larsen*  
Marit Liv Larsen

NORGES TEKNISKE HØGSKOLE  
BERGAVDELINGEN

Dato: Institutt:

1x Skjema mottatt :  
2x Hovedoppgaver mottatt :  
2x Hovedoppgaver sendt til  
ansvarlig institutt :

Stud.techn.: MARIT LIV LARSEN .....

HOVEDOPPGAVEN.

Du er tildelt følgende emne for hovedoppgaven:

Kartlegging av naturstenskvaliteter i Annfinnslett Steinbrudd, samt  
vurdering av marmoruttak i distriktet.

Arbeidet blir å utføre ved: Lødingen og NTH .....  
i tiden: høstsemesteret '87.....  
under ledelse av F.M. Vokes og T. Malvik : .....

Kandidaten har krav på minst en ukentlig konferanse med faglærer  
eller dennes stedfortreder.

Kandidaten skal utføre arbeidet selvstendig. Litteratur, tegninger  
eller andre kilder som er benyttet under arbeidet skal angis i be-  
svarelsen. Forøvrig avgjør faglæreren hvilken støtte kandidaten kan  
få under sitt arbeid.

Ved arbeider som utføres ute i bedrifter, har kandidaten anledning  
til å søke opplysninger hos bedriftens personale. Hvis han/hun på  
denne måten mottar råd eller vink som er av betydning for løsning av  
oppgaven, må dette anføres i besvarelsen.

Besvarelsen som bl.a. skal inneholde en detaljert fremstilling av  
arbeidets art, utførelse og resultater, skal leveres avdelingskontore  
i 2 - to - eksemplarer innen den fastsatte tidsfrist. Besvarelsen  
(helst maskinskrevet) skal være innbundet og forsynt med oppgavens  
tittel på første side. Som side 2 inntas en erklæring om at arbeidet  
er utført selvstendig og i samsvar med høgskolens eksamensreglement.

Søknad om utsettelse med innlevering av hovedoppgaven på grunn av  
sykdom eller andre dokumenterte vanskeligheter, må sendes Avdelingen  
i god tid før innleveringsfristen.

I henhold til eksamensreglementets § 14 blir besvarelsen høgskolens  
eiendom og kan av høgskolen benyttes til undervisnings- og forsknings-  
formål. Besvarelsen kan ikke benyttes til andre formål, f.eks.  
økonomiske, uten etter avtale mellom de interesserte parter. Oppgave  
kan heller ikke offentliggjøres uten Avdelingens samtykke.

Arbeidet oppbevares i de respektive institutters arkiv.

.....  
F.M. Vokes,

faglærer

Kopi:

Bergavdelingen  
innen 1. oktober.

## F O R O R D

Det har vært interessant å arbeide med naturstein som emne for diplomoppgaven.

Feltarbeidet i Lødingen, deltakelsen på SIL's årsmøte i Bodø og besøk hos marmorbruddene i Fauske har gitt meg en fin bakgrunn til å arbeide med stoff om naturstein. Jeg føler at jeg er kommet i kontakt med en helt ny del av bergindustrien i forhold til de jeg kjente til fra før, og det har vært lærerikt.

- Takk til:
- Terje Malvik og Lødingen Steinindustri A/S som skaffet meg oppgaven
  - gutten i bruddet på Anfinnslett for hjelpsomhet og en trivelig sommer
  - professor Frank M. Vokes for god hjelp under feltarbeidet
  - laboratorieingeniør Arne Hov, SINTEF - Bergteknikk for stor hjelp under arbeidet på lab'en
  - Johannes Røste, NGU for hjelp til reflektansmålinger
  - Ruth Ahlbom, SIL for lån av litteratur
  - Alf B. Waldum, NBI for climatest
  - Johs. Grønseth A/S, Larvik for rask tilsendelse av polerte prøver

# INNHALDSFORTEGNELSE

|                                                         | Side |
|---------------------------------------------------------|------|
| Oppgavens tittel                                        | I    |
| Erklæring                                               | II   |
| Retningslinjer for hovedoppgaven                        | III  |
| Forord                                                  | IV   |
| Innholdsfortegnelse                                     | V    |
| <br>                                                    |      |
| 1. SAMMENDRAG                                           | 1    |
| 2. INNLEDNING                                           | 2    |
| 3. ANFINNSLETT STEINBRUDD                               | 3    |
| 3.1 Innledning                                          | 3    |
| 3.2 Bryting av monzonitt "Arctic Green"                 | 6    |
| 3.3 Feltarbeid                                          | 9    |
| 3.3.1 Prøvetaking                                       | 9    |
| 3.3.2 Farge som kartleggingsgrunnlag                    | 9    |
| 3.3.3 Strukturmålinger                                  | 10   |
| 3.3.4 Skisser fra bruddet                               | 10   |
| 3.4 Bergarten                                           | 12   |
| 3.4.1 Visuell beskrivelse                               | 12   |
| 3.4.2 Beskrivelse fra slip                              | 12   |
| 3.4.3 Beskrivelse fra XRD                               | 14   |
| 3.4.4 Beskrivelse fra polerte prøver                    | 15   |
| 3.4.5 Bergartskjemi                                     | 15   |
| 3.4.6 Oppsummering                                      | 16   |
| 3.5 Sprekkesoner                                        | 17   |
| 3.5.1 Innledning                                        | 17   |
| 3.5.2 Struktureologiske målinger                        | 18   |
| 3.6 Oppsummering                                        | 19   |
| <br>                                                    |      |
| 4. MATERIALTEKNISKE TESTER AV MONZONITT "ARCTIC GREEN"  | 22   |
| 4.1 Innledning                                          | 22   |
| 4.2 Tester for bestemmelse av mekaniske egenskaper      | 23   |
| 4.2.1 Prøvemateriale                                    | 23   |
| 4.2.2 Beskrivelse av testemetoder                       | 23   |
| 4.2.3 Resultater                                        | 31   |
| 4.2.4 Faktorer som påvirker resultatene                 | 32   |
| 4.2.5 Sammenligning med NBI's resultater                | 33   |
| 4.2.6 Vurdering av resultatene                          | 34   |
| 4.2.7 Konklusjon                                        | 36   |
| 4.3 Test for bestemmelse av reflektans hos polert stein | 37   |
| 4.3.1 Innledning                                        | 37   |
| 4.3.2 Prøvemateriale                                    | 37   |
| 4.3.3 Beskrivelse av metode                             | 37   |
| 4.3.4 Resultater                                        | 38   |

|        |                                                                                  |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.5  | Vurdering av resultater                                                          | 38 |
| 4.3.6  | Konklusjon                                                                       | 39 |
| 4.4    | Test for bestemmelse av klimamotstand                                            | 40 |
| 4.4.1  | Innledning                                                                       | 40 |
| 4.4.2  | Prøvemateriale                                                                   | 40 |
| 4.4.3  | Beskrivelse av metode                                                            | 40 |
| 4.4.4  | Resultat                                                                         | 41 |
| 4.4.5  | Måling av reflektans på klimatestprøvene                                         | 41 |
| 4.4.6  | Vurdering av resultater                                                          | 42 |
| 4.4.7  | Konklusjon                                                                       | 42 |
| 5.     | PRESENTASJON AV KVALITETER I ANFINNSLETT STEINBRUDD                              | 43 |
| 5.1    | Kriterier for kvalitetsbestemmelse                                               | 43 |
| 5.2    | Bruk av kvalitetskriterier                                                       | 43 |
| 5.3    | Resultat av kvalitetskartlegging                                                 | 43 |
| 5.4    | Konklusjon                                                                       | 43 |
| 6.     | VURDERING AV MARMORUTTAK I DISTRIKTET                                            | 44 |
| 6.1    | Bakgrunn for oppgaven                                                            | 44 |
| 6.2    | Kriterier for valg av lokaliteter                                                | 44 |
| 6.3    | Presentasjon av lokalitetene                                                     | 47 |
| 6.4    | Prøvemateriale                                                                   | 47 |
| 6.5    | Lokalitet 1: Fjellidal - Nygård                                                  | 48 |
| 6.5.1  | Geologisk beskrivelse                                                            | 48 |
| 6.5.2  | Vurdering av forekomsten                                                         | 50 |
| 6.6    | Lokalitet 2: Fjellidal - Ranheim                                                 | 50 |
| 6.6.1  | Geologisk beskrivelse                                                            | 51 |
| 6.6.2  | Vurdering av forekomsten                                                         | 51 |
| 6.7    | Lokalitet 3: Trøsen                                                              | 52 |
| 6.7.1  | Geologisk beskrivelse                                                            | 52 |
| 6.7.2  | Vurdering av forekomsten                                                         | 54 |
| 6.8    | Lokalitet 4: Brokvik                                                             | 55 |
| 6.8.1  | Geologisk beskrivelse                                                            | 55 |
| 6.8.2  | Vurdering av forekomsten                                                         | 57 |
| 6.9    | Oppsummering                                                                     | 57 |
| 6.9.1  | Diskusjon                                                                        | 57 |
| 6.9.2  | Videre undersøkelser                                                             | 58 |
| 6.10   | Norske marmorbrudd                                                               | 59 |
| 6.10.1 | Ankerske A/S, Fauske                                                             | 60 |
| 6.10.2 | Koloritt Marmorbrudd, Fauske                                                     | 61 |
| 6.10.3 | Sammenligning mellom brudd i Fauske og undersøkte lokaliteter i Lødingen-området | 62 |
| 6.11   | Konklusjon                                                                       | 63 |

|       |                                                                             |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.    | TESTER FOR NATURSTEIN                                                       | 64 |
| 7.1   | Innledning                                                                  | 64 |
| 7.2   | Innsamling av tester                                                        | 64 |
| 7.3   | Standarder og prøvemeter                                                    | 64 |
| 7.3.1 | Definisjoner                                                                | 64 |
| 7.3.2 | Ulike nasjonale standarder                                                  | 65 |
| 7.4   | Beskrivelse av materialtekniske tester                                      | 65 |
| 7.4.1 | Innledning                                                                  | 65 |
| 7.4.2 | Beskrivelse av testetoder                                                   | 68 |
| 7.4.3 | Forskjeller ved nasjonale standarder                                        | 73 |
| 7.4.4 | Konklusjon                                                                  | 74 |
| 8.    | TESTER FOR BESTEMMELSE AV LANGTIDSFORVITRING AV<br>NATURSTEIN I STORBYMILJØ | 75 |
| 8.1   | Innledning                                                                  | 75 |
| 8.2   | Forvitring                                                                  | 75 |
| 8.3   | Klima i storbyer                                                            | 76 |
| 8.4   | Beskrivelse av tester                                                       | 76 |
| 8.4.1 | NBI's klimatest                                                             | 76 |
| 8.4.2 | Måling av lysreflektans                                                     | 77 |
| 8.4.3 | Stenkontorets klimatest                                                     | 77 |
| 8.4.4 | Andre tester                                                                | 77 |
| 8.5   | Konklusjon                                                                  | 78 |
| 9.    | KONKLUSJON                                                                  | 79 |
| 10.   | BIBLIOGRAFI                                                                 | 80 |

## 1. SAMMENDRAG

Oppgaven inneholder i hovedsak tre deler.

Første del av oppgaven omfatter geologisk kartlegging av Anfinnslett steinbrudd. Området er prøvetatt, det er gjort struktur-geologiske målinger og prøvene er analysert og vurdert. På en del av prøvematerialet fra Anfinnslett er det gjort materialtekniske tester. Testemetoder og resultater er beskrevet i oppgaven.

Fire marmorforekomster i området øst for Lødingen er undersøkt og prøvetatt. Prøvene er analysert med hensyn på mineralogi, og resultatene er beskrevet og diskutert. Forekomstene er vurdert med hensyn på eventuelt uttak av marmor til bygningsstein. I den forbindelse er tekniske egenskaper, produksjonsprosess, eksisterende marmorbrudd og bruk av marmor som bygningsstein omtalt.

Oppgaven inneholder også en litteraturodel. Standarder og prøvemetoder for testing av naturstein er forsøkt fremskaffet. Litteratursøking i bibliotek og databaser har gitt resultater. Det er tatt kontakt med norske og utenlandske forskningsinstitutter, laboratorier, universiteter og andre spesialister på naturstein.

Det er i tillegg arbeidet med å finne frem til tester som kan brukes i bestemmelse av langtidsforvitring av naturstein i storbymiljø. Enkelte forskningsinstitusjoner har bidratt med skriftlige omtaler av testemetoder. Noen av testene er beskrevet i oppgaven.

## 2. INNLEDNING

Oppgaven kom i stand som følge av NTNF og SINTEF - Avdeling for Bergteknikk sin interesse for et forskningsprosjekt på naturstein.

Dr.ing. Terje Malvik ved SINTEF - Avdeling for Bergteknikk, NTH tok i 1986-87 kontakt med NTNF (Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd). Avd. for Bergteknikk var interessert i å sette i gang med forskning på naturstein. NTNF sa seg villig til å gi økonomisk støtte til et prosjekt. Etterhvert ble det klart at det lot seg gjøre å lage en diplomoppgave i tilknytning til prosjektet.

Fylkesgeolog Ola Torsteinson i Nordland ble kontaktet. Han kjente til at Lødingen Steinindustri A/S var interessert i å få gjort undersøkelser i sitt steinbrudd og i distriktet rundt. Bedriften ble forespurt, og den viste interesse for diplomoppgaven.

Da innholdet i oppgaven ble planlagt, var jeg med på å plukke ut emner jeg ønsket å arbeide med. Oppgaveteksten ble utformet av Lødingen Steinindustri A/S og Terje Malvik i fellesskap.

Oppgaven går først og fremst ut på å gjøre en geologisk kartlegging av Anfinnslett steinbrudd. Matreialteknisk testing av bergarten inngår også, og resultatene blir lagt frem. Bakgrunnen for denne delen er et tre uker langt feltarbeid i juli 1987.

Feltarbeidet skulle også legge grunnlaget for vurdering av marmorforekomster i området rundt Lødingen. I oppgaven blir forekomstene analysert og sammenlignet med eksisterende marmorbrudd.

Litteraturundersøkelser i bibliotek og databaser har gitt materiale til beskrivelse av prøvemeter og standarder for testing av naturstein. Oppgaven omfatter både tester for materialtekniske egenskaper hos naturstein og tester for undersøkelse av langtidsforvitring.

### 3. ANFINNSLETT STEINBRUDD

#### 3.1 Innledning

Anfinnslett steinbrudd ligger på Anfinnslett i Lødingen kommune i Nordland. Steinen som tas ut er en mørk grågrønn monzonitt med et slående spill i store krystaller. ARCTIC GREEN er navnet, og det beskriver godt den dype, mørke, grønne fargen på bergarten. Den benyttes i polert form til fasadeplater og monument, og upolert til gulvfliser.

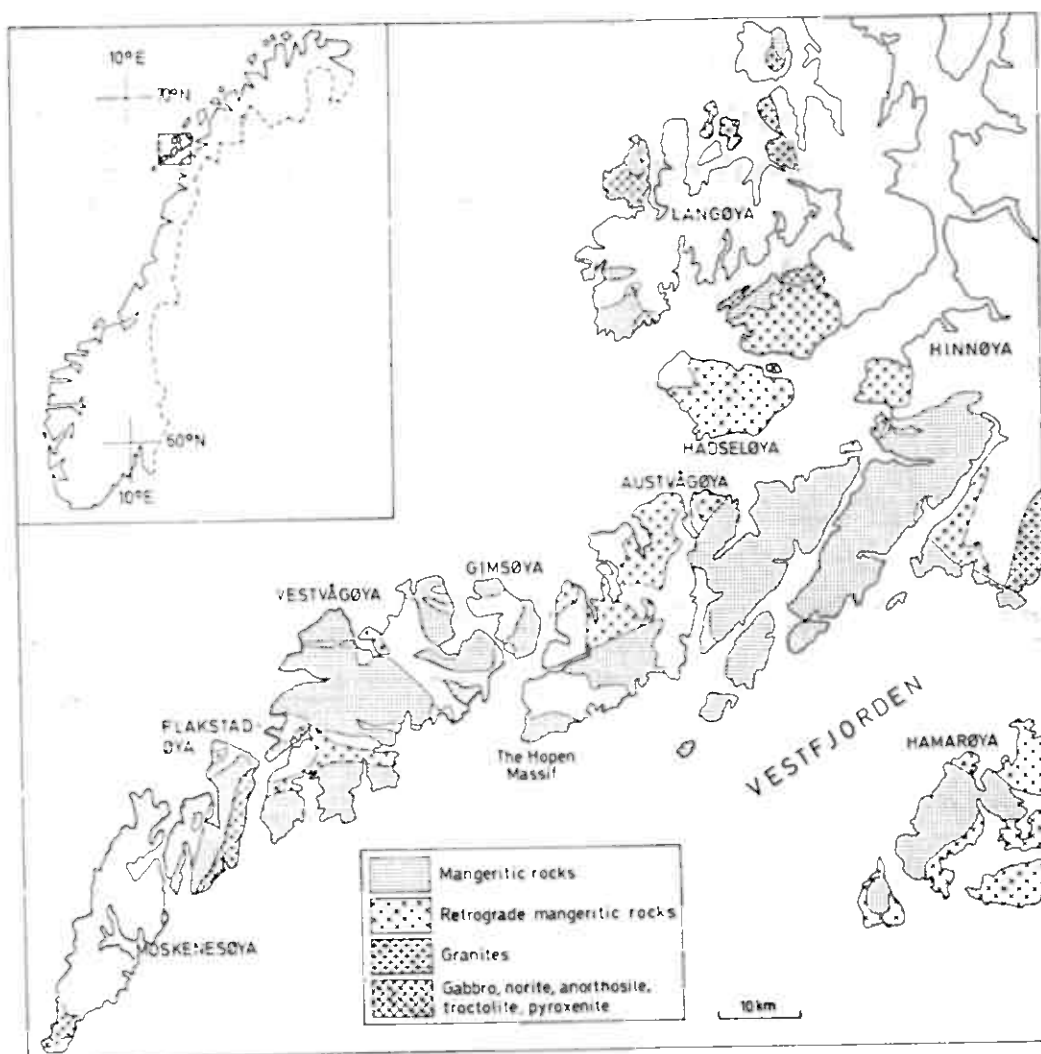
Drift på steinen ble startet opp tidlig i 30-årene. Det ble produsert monumentstein i en periode på tretti år før bruddet ble lagt ned. I 1985 ble det på ny satt i gang drift i bruddet, og nå to år etter er drifts- og markedsforholdene gode. Det tas ut blokk på opptil 17 tonn som sendes til Larvik, Tyskland og Italia.

LØDINGEN STEININDUSTRI A/S har skapt en verdifull bedrift for kommunen. Arbeidsplassene er betydningsfulle i Vestbygda, og bidrar til å skape et godt miljø på det trivelige stedet.

Fig. 3-1 viser bruddet sett fra sjøsiden, slik det så ut i juli 1987. I fig. 3-2 plasseres Lødingen på kartet, og i fig. 3-3 ser man de nærmeste omgivelsene til Anfinnslett. Lødingen ligger på Hinnoya, Norges største øy, på grensen mellom Ofoten, Lofoten og Vesterålen.



Fig. 3-1. Anfinnslett steinbrudd på halvøya Klemningen. Bildet er tatt mot øst. Kløfta midt på bildet gjennomskjærer halvøya i øst-vest-retning. (Juli 1987)



Location map and geological map of the intrusive rocks in the Lofoten-Vesterålen province. Unpatterned areas are dominated by basal gneiss. The Raftsund mangerite mainly includes the unretrograded mangeritic rocks on eastern Austvågøy and western Hinnøy. The southwest Lofoten mangerite includes all mangeritic rocks, unretrograded and retrograded, on Vestvågøy and Gimsøy. Most of the mangeritic rocks on Flakstadøy also belong to this group. Austvågøy acidic mangerite is the dominant mangeritic rock, unretrograded and retrograded, on western Austvågøy.

Fig. 3-2. Geologisk kart over Lofoten og Vesterålen (Ormaasen, 1977)

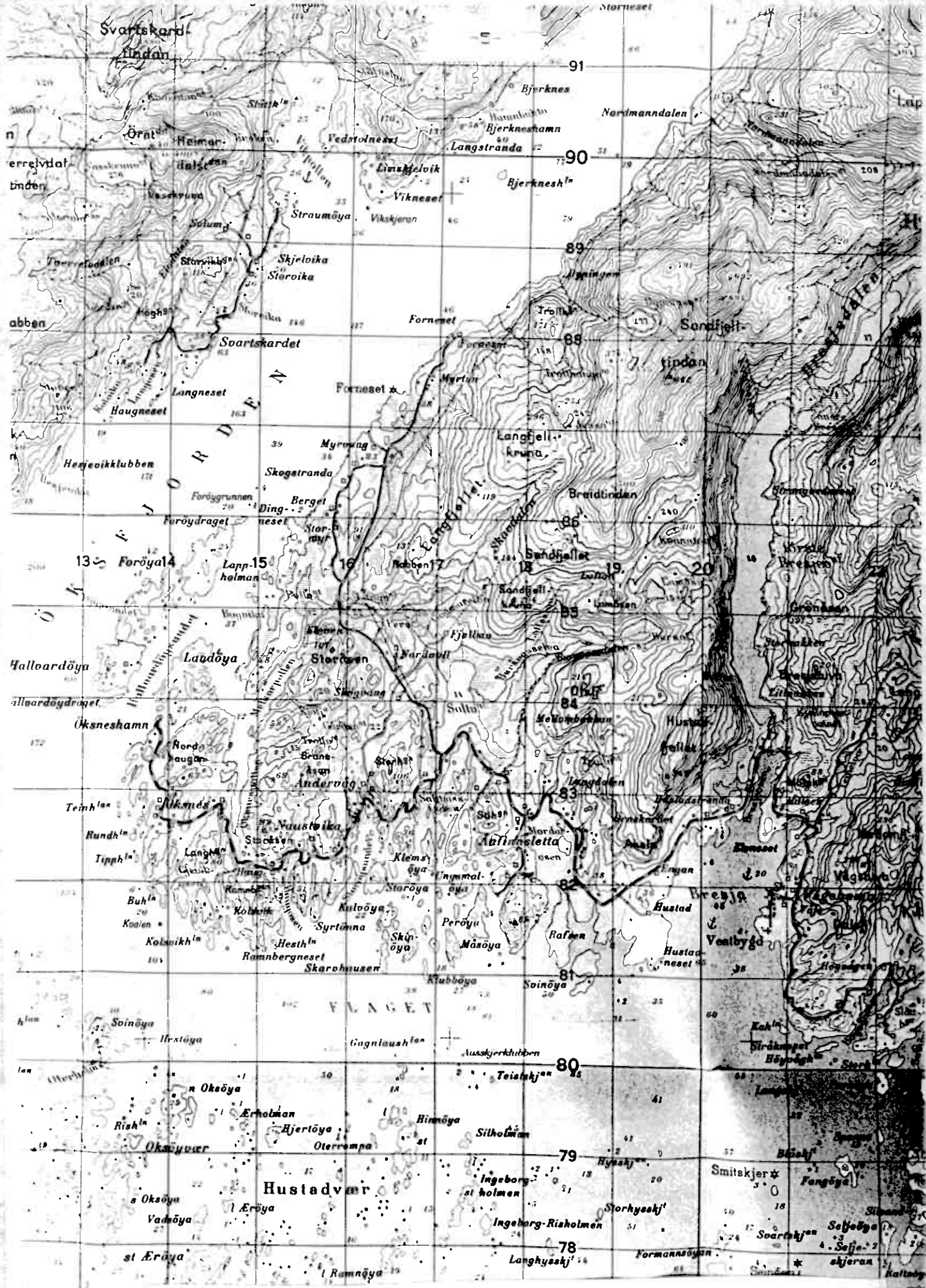


Fig. 3-3. Utsnitt av kartblad 1231 IV Raftsundet 1:50 000

### 3.2 Bryting av monzonitt Arctic Green

Bruddet har en arbeidsstokk på 5 mann. Arbeidsoppgaver som boring, lading, kiling, transport av stein, reparasjoner av utstyr og forefallende arbeid deles i stor grad mellom de fem. Driftslederen tar seg i tillegg av utstyrsbestilling, registrering av uttatt og lagret stein, kontakt med bearbeidingsbedrift og annet. Økonomi og videre kundekontakt ordnes av to deleiere i selskapet.

Anfinnslett steinbrudd ligger så og si i sjøkanten. Blokkstein lastes direkte fra lageret over i båt. Råblokkene fraktes til Larvik og Tyskland for bearbeiding til plater og monumenter. Kundene er hovedsaklig fra Tyskland og Italia. Noe stein går også til bygninger i Norge.

Monzonitten tas ut i form av storblokker (kubber). Det bores med håndholdte, trykkluftdrevne bormaskiner og borserie 11. Bergarten har gjennomsettende vertikal oppsprekking i nord-sør- og øst-vest-retning (kalt kløv og halvkløv). I tillegg har bergarten nær horisontal oppsprekking (bust) som faller mot sør. Brytingen drives mot de åpne flatene, slik at man f.eks. slipper å bore liggere for å få ut blokkene. Boringen begrenser seg oftest til vertikale serier i øst-vest-retning. Se på fig. 3-1 hvordan vertikale kløvflater står igjen etter at blokker er tatt ut.



Fig. 3-4. Bilde av pallhøyde i nordvegg i overbrudd i Anfinnslett steinbrudd. Tre av de fire pallhøydene kan ses ved hjelp av bormønsteret. Den fjerde kan anes såvidt øverst, midt på skjæringen.

Pallhøyden kan bli imponerende stor. Bildet i fig. 3-4 viser den 19 m høye nordveggen som var i overbruddet i sommer. Uttaket av blokk fra denne stuffen har skjedd i flere omganger og med fire ulike pallhøyder (tre av dem ses i fig. 3-4). Bruddet drives nordover, og med en horisontal bust som stiger mot nord vil pallhøyden avta etterhvert på dette nivået.

Storblokkene tas ut ved lading og sprengning med Larvikitt Rørledning. Dette sprengstoffet er spesielt utviklet for natursteinindustrien for å gi minimale skader på steinen i form av sprengningsriss og sprekker.

Når en kubbe er løsnet, deles den opp ved boring og kiling. En kilsøm med 10-20 cm hullavstand bores ved bruk av håndholdte bormaskiner. Bergarten spaltes opp i kløv-, halvkløv- eller bustretning, som alle er naturlige kløvningsretninger i bergarten. Det bores bare hull på en lengde av rundt 1/10 av flaten som skal sprekke opp - resten ordner bergarten. Kiler slås i hullene som vist i fig. 3-5. Hver kile gis et par slag med slegga, og så overlates steinen til seg selv. Det oppstår raskt begynnelige brudd langs kilflatene. Etter en halvtimes tid eller mer slås kilene nok et par ganger med slegge, og bergarten kløver opp og lar delene falle fra hverandre. Kløvningsflatene blir oftest bemerkelsesverdig plane. Hver gang er det like spennende å se hvordan steinen er inni. Stikk, riss og inhomogeniteter som grovkrystallin bergart eller mørkere/lysere partier observeres straks.



Fig. 3-5. Bilde som viser hvordan kilingen blir utført. Hullavstand i kilsøm 10-20 cm. (T.v. R. Nilsen, t.h. F.M. Vokes)

Skivene fra storblokkene deles videre opp med kiling til passende blokkstørrelse. Det foretas også trimming av kanter og flater på blokkene. Skadet og misfarget stein kiles bort. Den mest etter-  
spurte steinen er de største blokkene. Italienske kunder er f.eks. spesielt interessert i blokker som er 2,5 m lange (J.H. Andreassen, pers. komm. 1987).

På for bustflate og et løpende registreringsnummer males på de ferdigkilte blokkene. Hjullasteren tar blokkene med seg de 100-150 m ned til blokklageret, se fig. 3-6. Kubikkstørrelsen på blokkene føres opp i et dataregister etter løpenummer.

Registeret benyttes når kunden bestiller blokk etter spesielle mål. Det er da lett å gå inn for å finne passende blokker. Det noteres hvilke blokker som er solgt og fraktet bort, slik at registeret holdes ajour.



Fig. 3-6. Bilde fra deler av blokklageret i nedrebruddet. Den brunfargede, steiltstående flaten er kløvretningen i bruddet. Hvit bark ses øverst på flaten.

Med jevne mellomrom fraktes en batlast med stein sørover til Larvik og kontinentet. Fra lageret brukes hjullaster/gravemaskin til å få steinen de 50 m bort til kaia. Ved innlastingen brukes kran.

I Larvik losses råblokkene før de bearbeides hos Johs. Grønseth & Co. i Stavern. En del blir også bearbeidet i Tyskland. Blokkene blir sagt opp i plater, slipt ved bruk av flere hardheter på slipemiddelet, polert med tinnoksyd og kappet opp i passende stykker. Det er bustsiden av blokkene som poleres og fremstår som plater og fliser.

Vrakstein er til nå blitt brukt til utfylling av vei og større kaianlegg. Da bergarten er slitesterk, er det aktuelt å finne alternative måter å utnytte vraksteinen på.

Utformingen av bruddet endres stadig etterhvert som brytningen skrider frem. Det drives nå i retning nord, videre langs fjellside på vestsiden av øya, som vist i fig. 3-1.

### 3.3 Feltarbeid

Det ble foretatt et tre uker langt feltarbeid i Lodingen i sommer. Mesteparten av tiden ble tilbrakt på Anfinnslett med kartlegging av monzonitt-bruddet. I oppgaven inngikk imidlertid også vurdering av uttak av marmor i distriktet, så noen dager ble brukt til marmorkartlegging.

#### 3.3.1 Provetaking

Det er tatt prøver fra flere steder og av flere typer stein i bruddet. Prøvene har vært fra  $20 \times 10 \times 10$  til  $20 \times 20 \times 20$  cm<sup>3</sup> (fra 2 til 8 dm<sup>3</sup>).

Fra nedrebruddet er det tatt prøver av massiv bergart og bergart fra oppsprukket parti.

Fra overbruddet er det tatt prøver av massiv bergart på ulike steder og fra en oppknust sone i østveggen. Sonen er vist i fig. 3-9 i kap. 3.5. I tillegg er det tatt prøver fra den kileformede oppknuste sonen i hjørnet mellom nordvegg og østvegg. Derfra er det også tatt prøver til bestemmelse av materialet som er avsatt på hovedsprekkene i bruddet.

Fra inngangen til den gjennomsettende kløfta over øya er det tatt prøve av tydelig forvitret bergart med den karakteristiske hvite sonen ytterst.

Utenfor bruddet er det tatt prøver fra fire lokaliteter. Prøvepunkt 1, 2, 3 og 4 ligger alle lenger øst enn bruddet, opp mot og på toppen av øya. Det ble brukt en Cobra bormaskin til boringen, og prøvestykker på opptil 16 dm<sup>3</sup> ble sprengt ut. Prøvene stammet fra 1/2 til 1 m under overflaten.

I forbindelse med måling av refleksjon på bergarten ble det mottatt 4 skiver  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> polert monzonitt fra Johs. Grønseth & Co. Prøvene stammet fra bergart tatt ut av den siste produksjonen, det vil si fra overbruddet.

#### 3.3.2 Farge som kartleggingsgrunnlag

-Det var lettere sagt enn gjort!

Omfattende prøvetaking og målinger gjort i bruddet har ikke avslørt store fargeendringer på steinen. I polerte prøver er det imidlertid en viss forskjell på stein tatt ut i nedrebruddet (se fig. 3-6) og i overbruddet (se fig. 3-4). Den opprinnelige ARCTIC GREEN var tatt ut i nedrebruddet og hadde en dyp grønnlig farge i polerte flater. ARCTIC BLACK, som bedriften planlegger å kalle den nye varianten, er en mørkere, mer grålig variant tatt ut i

overbruddet. Det er ikke noe skille i bergarten som viser når monzonitten går over fra grågrønn til gråsort variant. Forandringen er sannsynligvis svært gradvis.

Fargeendringene er tydelige i polerte flater, men i friskt fjell og i håndstykkestore prøver er det vanskelig å se forskjell.

Den eneste fargeendringen som opptrer på steinen i bruddet, er overgangen fra gråsort overflate på nybrutt stein til grågrønn farge på overflater som har vært utsatt for et par dagers reaksjon med luft og luftfuktighet. Endringen kan rett og slett skyldes en oksydasjon av overflatemineralene på steinen. Det er ikke funnet forklaring på fenomenet.

Først da det ble tatt prøver med Cobra bormaskin utenfor bruddet, kom fargeendringer frem igjen. Polerte bergartsprøver fra punkt 3 og 4 (se kartet i fig. 3-7) har den dype, grønnlige fargen, mens polerte prøver fra overbruddet har grågrønn til gråsort farge.

### 3.3.3. Strukturmålinger

Bruddet er preget av et markert oppsprekkingssystem som har utstrekning over hele øya. Det ble målt strøk- og fallretning på de flatene som var tilgjengelige i bruddet og oppover mot toppen av øya. Sprekkene var ofte dekket av et mørkt, glimmeraktig materiale.

Både kløv, halvkløv og bust er representert i målingene. Det var vanskeligst å få tatt målinger på bustflatene. Siden de er horisontale, var de ofte dekket av småstein og vrakstein, brukt til lagringsplass el.l. Andre bustflater sto så høyt oppe på pallveggen at det ikke lot seg gjøre å måle dem. Bustflatene er derfor underrepresentert i måleresultatene. Resultatene er presentert og omtalt i kap. 3.5.2.

### 3.3.4. Skisser fra bruddet

Det ble under feltarbeidet laget flere skisser av sentrale flater og oppsprekkingsmønstre i bruddet.

Skissene er vist i vedlegg 1, 2, 3 og 4.

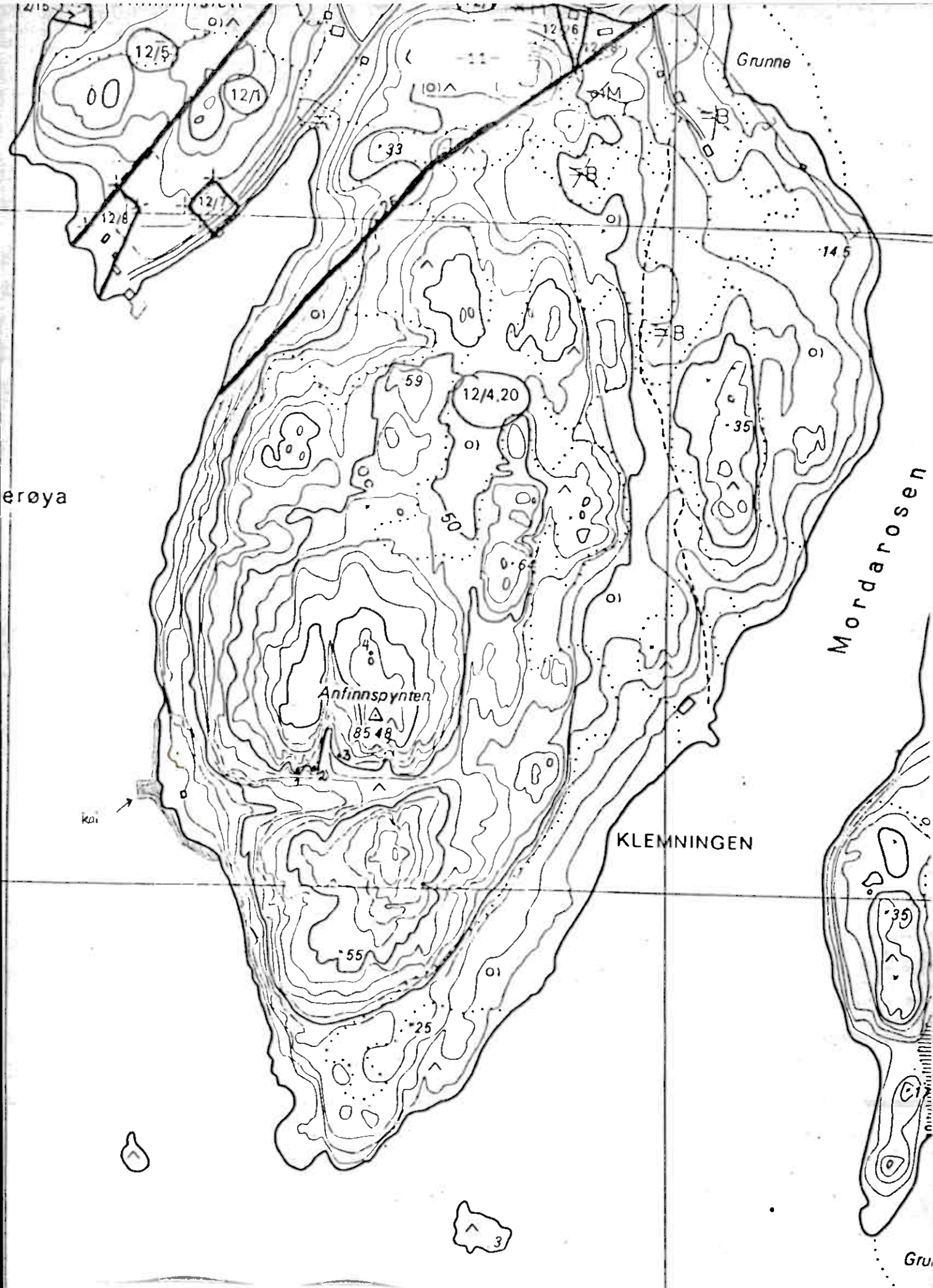


Fig. 3-7. Topografisk kart over Klemningen og Anfinnsletta  
steinbrudd

### 3.4 Bergarten

#### 3.4.1 Visuell beskrivelse

Bergarten har mørk grågrønn farge. Den er grovkornet, med krystaller som er bortimot 0,5 cm store. De mørke feltspatkrystallene er utviklet med gode krystallflater som gir bergarten høy glans og et levende spill. Pyroksen er tilstede i flere former og gir bergarten et grønnlig fargeskjær. Oksyden er tilstede i små korn som danner mørke punkter i bergarten.

#### 3.4.2 Beskrivelse fra slip

Det er laget tynnslip og polerslip av bergartsprøver fra massive og oppsprukne soner i over- og nedrebruddet. Slipene er mikroskopert ved Geologisk Institutt på NTH.

##### Intergranulære teksturer

Bergarten er holokrystallin, ujevnkornet, med sub- til anhedral krystallutvikling. Kornstørrelsen er middels (1-5 mm) med enkelte mindre korn (apatitt, kis). Bergarten har vilkårlig mineralorientering.

Slipene viser at bergarten er gjennomgått av mikrosprekker av varierende lengde - opp til 3 mm. Noen av sprekkeene er fylt med og omgitt av et gulgrønt belegg, muligens jernoksyd.

##### Intra granulære teksturer

##### Apatitt

Apatitt opptrer som runde/femkantete korn på opptil 1,2 mm. Korn grensene er svakt buede. Minerallet har ingen egenfarge og lave 1. ordens grå-sorter interferensfarger. Apatitt opptrer i alkalifeltspat, pyroksen - amfibol og ilmenitt.

##### Alkalifeltspat

Minerallet har amøboidale korn opptil 2,0 mm. Korn grensene er buede. Alkalifeltspat opptrer i sammenvoksning med plagioklas og mesopertitt og utgjør på den måten en slags matriks. Minerallet har lys egenfarge, svak pleokroisme og lave 1. ordens interferensfarger i grått, sort og hvitt.

##### Plagioklas

Plagioklas har amøboidale korn opptil 1,5 mm. Korn grensene er buede. Minerallet opptrer i sammenvoksning med alkalifeltspat og mesopertitt. De karakteristiske tvillingene trer godt frem. Egenfargen er lys, minerallet har svak pleokroisme og lave 1. ordens grå interferensfarger.

##### Mesopertitt

Dette blandingsminerallet mellom alkalifeltspat og plagioklas opptrer med amøboidale korn på opptil 5,2 mm. Korn grensene er buede. Det er en lovmessig pertittsammenvoksning der plagioklas er i alkalifeltspat eller omvendt. Mesopertitt er den mest

dominerende fase i slipene. Det har lav egenfarge og svak pleokroisme. Pertittene er tydelige i planpolarisert lys. Interferensfargene er lave 1. ordens grå.

#### Ortopyroksten

Ortopyroksten har amøboidale korn på opptil 0,8 mm med buede korngrenser. Mineralet er tydelig pleokroittisk; egenfargen varierer rundt lys rosa-gul-svak grønn-brun. Parallell spalteriss trer godt frem. Interferensfargene er høye 1. ordens i skarp rosa-brungult-fiolett. Mineralkornene har rett utslukning 0 og 90°.

#### Klinopyroksten

Klinopyroksten opptrer med subhedrale, kortprismatiske korn opptil 2,2 mm. Korngrensene er rette til svakt buede. Mineralet er pleokroittisk og har egenfarge lys grønn til lys brun. Pyrokstenens spalteriss er tydelig. Interferensfargene er av 3. orden blå til rosa og blå til mintgrønn. Mineralet har skjev utslukning 45°. Inneslutninger av ilmenitt i form av kortprismatiske korn på 0,1 mm finnes i klinopyroksten-korn.

#### Amfibol

Amfibol opptrer med subhedrale langprismatiske korn på opptil 0,4 mm. Korngrensene er svakt buede. Egenfargen går fra lys gul (N-S) til lys gulbrun (Ø-V). Pleokroismen er tydelig. Interferensfargene er 1. ordens gul-gulbrun, og kornene har rett utslukning. Et sted er amfibol observert voksende ut fra et korn ilmenitt mot feltspaten.

#### Biotitt

Biotitt opptrer som amøboidale korn opptil 1 mm med buede korngrenser. Mineralet finnes i sammenvoksning med ilmenitt rundt ilmenittkorn, der det er noe omvandlet. Biotitt er pleokroistisk, og har egenfarger lys olivengrønn (Ø-V-retning) til skarp grønn (N-S). Interferensfargene er av 2. - 3. orden grønn-rosa og tildels brungule. Mineralet har rett utslukning.

#### Titanitt

Titanitt opptrer som spisse, kileformede korn. De finnes i enkelte ilmenittkorn.

#### Ilmenitt

Noen korn er euhedrale og tavleformede på opptil 0,5 mm, andre er amøboidale korn av varierende størrelse. Korngrensene er rette og buede. Egenfargen er lys grå, og mineralet er tildels pleokroittisk lys grå-brunrød. Polarisasjonsfargene går fra grå til brun og rødbrun. Lameller av ilmenitt opptrer nær klinopyroksten og apatitt.

### Magnetitt

Magnetitt opptrer med subhedrale tavleformede korn på opptil 0,4 mm med rette korngrenser. Mineralet er isotropt med hvit egenfarge og gråbrun polarisasjonsfarge. Magnetitt opptrer nær ilmenitt, klinopyroksen og apatitt. Det finnes også i form av runde korn i alkalifeltspat og nær apatitt og amfibol.

### Magnetkis

Magnetkis opptrer med anhedrale, runde korn på opptil 0,1 mm med runde korngrenser. Mineralet er anisotropt med lys gul til kremhvitt egenfarge og brun-grå polarisasjonsfarge. Mineralet opptrer i alkalifeltspat og sammenvokst med ilmenitt (0,15 mm korn) i feltspat.

Beskrivelsene gjelder slip fra frisk bergart tatt i bruddet i sommer.

I slip av helt omvandlet monzonitt er pyroksenene grumsete. Det er tett i tett med mikrosprekker, og mye gult stoff er utfelt - trolig et jernoksyd. Det er spor av begynnende serisittisering i mikrosprekker i feltspat og i små punkt i plagioklas. Klinopyroksen er delvis omvandlet til amfibol. Store, oppsprukne amfibolkorn er observert. I bruddet ses denne omvandlede sonen som bark og bergart like under bark. Barken er den øverste delen av fjellet, der hvor regn og vind har lutet ut f.eks. kalium fra alkalifeltspat og etterlatt seg en hvit sone. Fig. 3-8 viser overgangen mellom bark og friske bergart i en Ø-V-gående flate som fører inn i den store kløfta over øya. I sonen er det spor av glidespeil, et bevis på at sonen kan ha vært forkastningsplan i systemet av oppsprekking.

I slip fra punkt 1, 2, 3 og 4 er mineralogien stort sett den samme som for frisk bergart. Plagioklasen er imidlertid i en begynnende serisittisering. Klinopyroksen er tildels omvandlet til amfibol. Prøvene tatt så langt oppe i overflaten har også tettere med mikrosprekker enn bergartsprøver tatt i bruddet.

### 3.4.3 Beskrivelse fra XRD

Mineralene som ble identifisert ved bruk av XRD-analyse var følgende:

- ortoklas
- albitt (plagioklas)
- diopsid (pyroksen)
- enstatitt (pyroksen)
- hedenbergitt (pyroksen)
- hypersten (pyroksen)
- ilmenitt
- titanitt
- magnetkis
- apatitt

#### 3.4.4 Beskrivelse fra polerte prøver

Fremstillingen av polerte prøver er omtalt i kap. 4.3.

Det ble polert 4 prøver av bergart tatt utenfor bruddet, ved punkt 3 og 4. Fra prøve 3 ble det polert en skive i bustretningen. Fra prøve 4 ble det polert en prøve i hver av retningene bust, kløv og halvkløv.

Fra Larvik fikk vi tilsendt 4 polerte prøver av bergart tatt i bruddet. Prøvene var polert på bustsiden.

Prøvene fra Larvik er fra bergart tatt ut dypt inne i fjellet. De er mørke i fargen, nærmest diagra, og har en jevn struktur. Mørke korn opptrer regelmessig i de polerte flatene.

Prøvene tatt fra punkt 3 og 4 er hentet 1/2 - 1 1/2 m under overflaten. De har dyp mosegrønn farge, og strukturen er ujevn. Bergartskornene er ikke regelmessige av form, men svært "opprevnene" av utseende.

#### 3.4.5 Bergartskjemi

Monzonitten på Anfinnslett har samme kjemiske innhold som beskrevet for mangeritten B7 i Malm & Ormaasen, 1978 (E. Tveten, pers. komm. 1987). "Arctic Green" har to pyroksenvarianter, men ingen spor av olivin. B7 har ekvigranulær tekstur med kornstørrelse 5-10 mm på megakrystaller og 2-5 mm på matriks (Malm & Ormaasen, 1978).

Her følger bergartens modalestimer (Malm & Ormaasen, 1978):

|                  |      |
|------------------|------|
| -kvarts:         | spor |
| -alkalifeltspat: | 54 % |
| -plagioklas:     | 31 % |
| -sum feltspat:   | 85 % |
| -klinopyroksen:  | 4 %  |
| -ortopyroksen:   | 4 %  |
| -hornblende:     | 1 %  |
| -biotitt:        | 1 %  |
| -malmmineraler:  | 3 %  |
| -apatitt:        | 1 %  |
| -zirkon:         | spor |

Modalestimatene viser at mangerittene plotter i Streckeisens monzonitt-felt. Bergartssuiten der Lødingen-monzonitten hører til kalles de mangerittiske intrusivene. B7 er også en del av Raftsundmangeritten (Malm & Ormaasen, 1978).

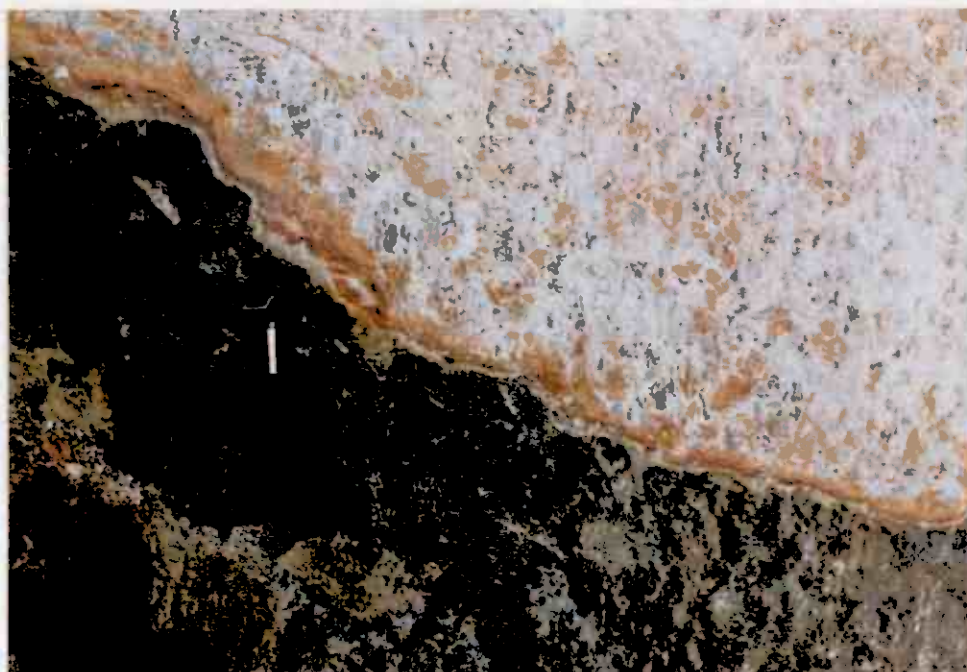


Fig. 3-8. Bilde fra øst-vest-gående halvkløvflate som fører inn mot den store kløfta over dyb

#### 3.4.6 Oppsummering

Bergartens mineralsammensetning går frem av analysene beskrevet ovenfor. De viktigste mineralene er alkalifeltspat og plagioklas, inkludert blandingsfasen mesopertitt. Deretter kommer de to pyroksenene, malmmineralene, oksyder og mineraler som biotitt, hornblende og apatitt. Aksessorier kan være kvarts og zirkon. I monzonitten fra Anfinnslett er det imidlertid ikke sett noe av de to mineralene.

#### 3.5.1 Innledning

Bruddet er preget av de sterke svakhetssonene i nord-syd-retning og i øst-vest-retning. Det er målt strøk og fall på bortimot 100 flater i bruddet. En oppsprekkingssone i østveggen på overbruddet er vist i fig. 3-9.



Fig. 3-9. Bilde som viser en 1,5 m bred oppsprukket sone i østveggen av overbruddet.

### 3.5.2 Strukturgeologiske målinger

Målinger gjort på kløv-, halvkløv- og bustplan har forsterket inntrykket flybildet gir av N-S- og Ø-V-gående svakhetssoner på halvøya der bruddet ligger. Fig. 3-10 viser oppsprekking i N-S-retning på oversiden (østsiden) av der det ble tatt ut stein i sommer. Kløvplanene har denne retningen, og de er forholdsvis vertikale.



Fig. 3-10. Bildet viser oppsprekking rett øst for bruddet.



Fig. 3-11. Bildet viser oppsprekning i fjellet syd for kløfta.

Fig. 3-11 viser den N-S-gående oppsprekningen på sydsiden av kløfta over øya. Sprekkesetettheten på 0,5 - 2 m opprettholdes, men sprekkene står mer på skrå enn de gjør nord for kløfta.

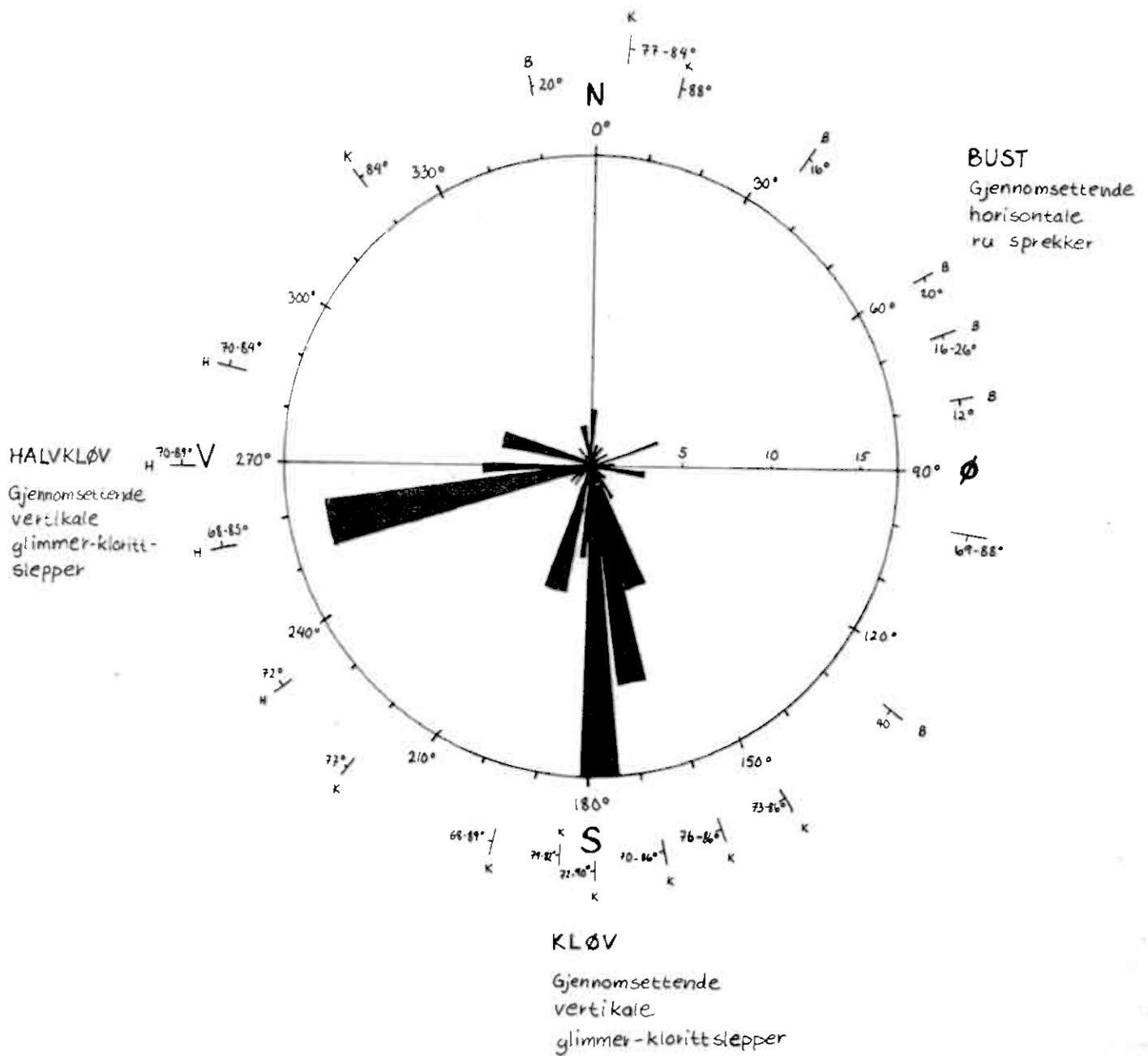
Sprekkerosen i fig. 3-12 viser mengden av målte sprekker plottet i et kompasslignende sprekkediagram. Kløvflatene kommer godt frem og diagrammet viser at mesteparten av dem har en strøketretning på like under  $180^\circ$ . Halvkløvflatene er også greie å finne igjen i diagrammet. De har en strøketretning på rundt  $260^\circ$ . Bustflatene plottes med en strøketretning på rundt  $60^\circ$ . De kommer imidlertid ikke så godt frem i diagrammet.

I fig. 3-13 er alle målinger av strøk og fall plottet i en Lambert flatetro stereografisk projeksjon. Strøkmålingene plottes langs sirkelen som i et kompass, og fallmålingene plottes innover i sirkelen. Horisontale plan plottes nær sentrum i sirkelen, og vertikale plan plottes nær ytterkanten av sirkelen. I denne figuren kommer bustflatene bedre frem. De har strøketretning på  $350-80^\circ$  og fall på rundt  $20^\circ$ .

Sprekkene har et belegg av kloritt og muskovitt. Belegget er mørkeblått, nesten sort, det har høy glans og spalter lett opp i flak. Mineralogien er bestemt ved XRD-analyse. Belegget finnes på de aller fleste dyptgående sprekkene i kløv- og halvkløvetretning. I følge Broch (1985) kalles det slepper når sprekkene er klare, gjennomsettende diskontinuiteter og har mineralbelegg eller mineralfylling. Sleppene i fjellet på Anfinnslett kan kalles glimmer-kloritt-slepper.

### 3.6 Oppsummering

Under feltarbeidet på Anfinnslett ble det gjort en del målinger og tatt mange prøver. Prøvene er analysert, og resultatene er lagt frem i dette kapittelet. Strukturmålingene er plottet, og resultatene er vist.



Målestokk: 17 målinger: 51 mm  
1 måling : 3 mm

Fig. 3-12. Sprekkerose som viser målinger av strek og fall i og rundt bruddet

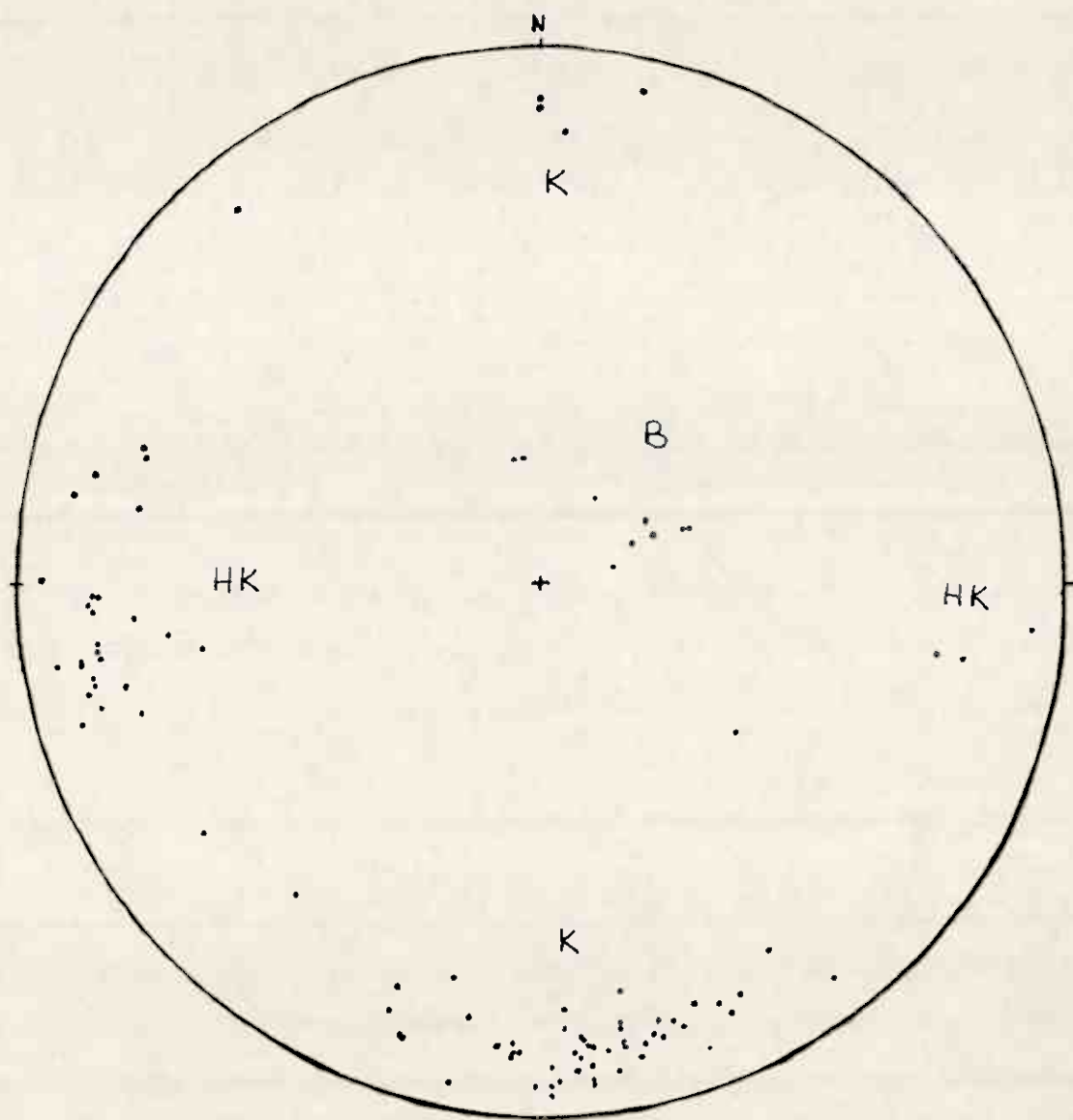


Fig. 3-13. Stereografisk diagram, Lambert flatetro, som viser plottede målinger af strek og fall i og rundt bruddet

#### 4. MATERIALTEKNISKE TESTER AV MONZONITT "ARCTIC GREEN"

##### 4.1 Innledning

Materialtekniske tester omfatter prøving av bergartenes mekaniske egenskaper, deres motstandsevne mot kjemisk forvitring, holdbarhet av polering, motstandsevne mot klimaforvitring i sin alminnelighet og andre egenskaper. Testene utføres gjerne etter bestemte forskrifter, kalt standarder, og de varierer fra land til land og fra prøveinstitutt til prøveinstitutt.

Avhengig av hva slags formål er bergart skal brukes til, er det flere typer tester den bør gå gjennom. Det stilles ulike krav til stein som skal brukes til fyllmasse i vei og stein som skal brukes i form av polerte plater på fasader og gulv.

Stein som skal brukes til veimateriale testes med hensyn på mekaniske egenskaper som flisighet, sprøhet, pakningsgrad og abrasjonsverdi. I tillegg ser man på densitet, humusinnhold, lyshet, evt. belegg og vedhefting til bitumen. En petrografisk beskrivelse hører med, og bergartens reaksjon med saltsyre undersøkes (Veilaboratoriet, 1987).

Stein som skal brukes til grovt betongtilslag testes på samme måte med hensyn på flisighet og sprøhet (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a).

I vurdering av en bergarts borbarehet og sprengbarhet testes bl.a. bergartens sprøhet, Sievers J-verdi og slitasjeverdier AV (Abrasion Value) og AVS (Abrasion Value Steel). Borsynkindeksen DRI (Drilling Rate Index), borslitasjeindeksen BWI (Bit Wear Index) og indeksen for kutteringlevetid CLI (Cutter Life Index) kan deretter beregnes ut fra de målte verdiene (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a,c, 1985).

Stein som skal brukes til bygningsstein vurderes bl.a. med hensyn på bergartens bestanddeler og fare for misfarging (Stenhåndboken bd 1, 1983), mekaniske egenskaper, motstand mot klimamessig og annen forvitring, holdbarhet av polering (Müller, 19 ) og fargens lysbestandighet (Borgström, 1957).

I dette kapittelet skal det redegjøres for hvilke tester som er utført på monzonitten "Arctic Green" fra Anfinnslett steinbrudd. Testene er utført ved Ingeniørgeologisk laboratorium på NTH i Trondheim. Fremgangsmåtene er de som brukes ved laboratoriet.

## 4.2 Tester for bestemmelse av mekaniske egenskaper

### 4.2.1 Prøvemateriale

De mekaniske egenskapene ble testet på prøver av monzonitten hentet et stykke fra bruddet. Det dreide seg om 4 prøver, hver på 5-6 dm<sup>3</sup> (10-16 kg), fra prøvepunkt 1, 2, 3 og 4 (se kartet i kap. 3). Prøvene ble merket med kløv, halvklov og bust da de ble tatt ut.

Av bergartsprøvene ble det saget ut kjernep prøver med diameter 21 mm og 31 mm. Prøvene ble tatt ut parallelt kløv- og bustretning. 31 mm-kjernene ble saget og planslipt til 8,0 cm lengde. 21 mm-kjernene ble ikke kappet jevne i endene, men beholdt sin ujevne endeflate og sin lengde på 9-17 cm.

|          |                                                        |
|----------|--------------------------------------------------------|
| Prøve 1: | 2 borkjerner 31 mm parallelt med kløv, normalt på bust |
|          | 2 borkjerner 21 mm parallelt med kløv, normalt på bust |
| Prøve 2: | 5 borkjerner 31 mm parallelt med bust                  |
|          | 5 borkjerner 21 mm parallelt med bust                  |
| Prøve 3: | 5 borkjerner 31 mm parallelt med bust                  |
|          | 3 borkjerner 21 mm parallelt med bust                  |
| Prøve 4: | 2 borkjerner 31 mm parallelt med kløv                  |
|          | 2 borkjerner 21 mm parallelt med kløv                  |

Samtlige prøver ble vannmettet før forsøkene. Dette ble gjort for å teste egenskapene i bergartens antatt svakeste tilstand (A. Hov, pers. komm. 1987). Kjernene ble først tørket i tørkeskap ved 105°C i 2 døgn. Deretter ble de avkjølt i eksikator. Prøvene ble så lagt ned i destillert vann i eksikator, all luft ble evakuert, og undertrykket ble ikke erstattet med atmosfæretrykk før alle luftbobler var forsvunnet. Det skjedde først etter 4-5 timer. Prøvene ble stående neddykket i 2 døgn før testingen begynte.

### 4.2.2 Beskrivelse av testemetoder

#### Vannabsorpsjon

(Norges Byggeforskningsinstitutt, 1972)

Materiale: 14 borkjerner; diameter  $d = 31$  mm og lengde  $l = 8,0$  cm

Etter to døgn i tørkeskap ved 105°C ble prøvene veid. Vekten ble notert til  $M_t$ . Prøvene ble vannmettet som beskrevet ovenfor og deretter veiet til vekten  $M_v$ .

Vannabsorpsjon ved atmosfæretrykk :

$$W_v = \frac{M_v - M_t}{M_t} \times 100 \% \quad (\%)$$

Spesifikk vekt

(Norges Byggforskningsinstitutt, 1972)

Materiale: som ovenfor

Diameter  $d$  og lengde  $l$  av tørkede kjerneprøver ble målt ved hjelp av skyvelær. Tørr vekt  $M_t$  var allerede bestemt (se ovenfor).

Romvekt :

$$\rho = M_t / V_t = \frac{M_t}{\pi (d/2)^2 l} \quad (\text{g/cm}^3)$$

Porøsitet

(Norges Byggforskningsinstitutt, 1972)

Materiale: som ovenfor

Vekt av tørt prøvestykke  $M_t$  og vått prøvestykke  $M_v$  var allerede bestemt (se ovenfor). Volumet  $V_t$  av tørkede prøver var også bestemt (se ovenfor). Porevolumet  $V_p$  ble bestemt indirekte ved differansen mellom våt vekt og tørr vekt.

Porøsitet:

$$P = V_p / V_v = \frac{M_v - M_t}{\pi (d/2)^2 l} \times 100 \% \quad (\%)$$

Lydhastighet

(Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978b)

Materiale: som ovenfor

Lydhastigheten ble målt på vannmettede prøver. Det ble brukt et Pundit ultralydapparat med digital avlesning av gangtiden  $t$ . Prøvestykkene ble plassert mellom sender og mottaker, og det ble målt aksielt på borkjerner med planslippte endeflater. Lengden  $l$  av prøvestykkene var 8,0 cm.

Lydhastighet:

$$v = l/t \quad (\text{m/s})$$

Trykkfasthet

(Norges Byggforskningsinstitutt, 1972)

Materiale: som ovenfor

Trykkfastheten ble målt på vannmettede prøver. Det ble benyttet en hydraulisk presse for testing av bergarter med en lastcelle på 50 tonn. Prøvene ble belastet aksielt inntil brudd. Se fig. 4-1. Maksimal bruddlast  $P_{maks}$  ble lest av. Arealet av målt trykkflate var  $A_0 = \pi (d/2)^2$ . Resultatene er vist i vedlegg 5.

Trykkfasthet:

$$\sigma_c = P_{maks} / A_{cs} \quad (\text{kp/cm}^2)$$

$$1 \text{ kp} = 9,8 \text{ N}$$

$$1 \text{ kp/cm}^2 = 0,098 \text{ MPa} = 0,098 \text{ N/mm}^2$$

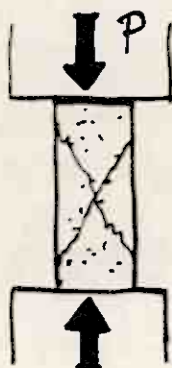


Fig. 4-1. Prinsippskisse for måling av enakset trykkfasthet (Myrvang, 1987).

#### Bøyestrekfasthet

(Norges Byggeforskningsinstitutt, 1972).

Materiale: 12 borkjerner;  $d = 21 \text{ mm}$  og  $l = 9-17 \text{ cm}$

Bøyestrekfasthet ble målt på vannmettede prøver. Det ble benyttet en LOSENHAUSEN hydraulisk presse. Apparaturen var innstilt på  $1/20$  av maksimalt trykk for å oppnå en pålastning på  $40 \text{ mm/min}$  eller  $500 \text{ kp/min}$  inntil brudd. Kjerneprøvene ble lagt oppå to parallelle knivformede kanter og belastet med en knivformet kant parallelt med de to under. Se fig. 4-2. Spennvidden  $L$  mellom knivkantene under prøvestykket var  $3,5 \times$  diameteren  $D$  av prøvestykkene, dvs.  $73,5 \text{ mm}$ . Prøvene ble belastet inntil brudd. Maksimal bruddlast  $P_{maks}$  ble lest av.

Bøyestrekfasthet (Myrvang, 1987):

$$\sigma_t = \frac{8 P_{maks} L}{D^3} \quad (\text{kp/cm}^2 \text{ eller MPa} = \text{N/mm}^2)$$

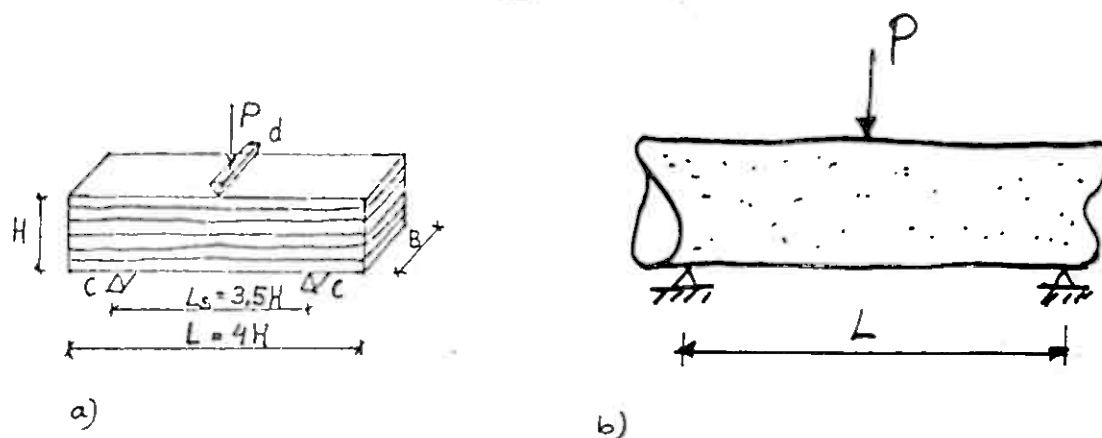


Fig. 4-2. a) Måling av bøyestrekfasthet på stavformet prisme (Norges Byggforskningsinstitutt, 1972)  
b) Måling av bøyestrekfasthet på borkjerne (Myrvang, 1987)

### Punktlasttest

(Ingeniørgeologisk laboratorium, 1974b)

Materiale: 21 mm borkjerner som ble avklippet under testing av bøyestrekfasthet. 31 mm avkappede ender fra kapping av plane endeflater på borkjerner til testene omtalt tidligere.

Punktlasttest er en indirekte metode for bestemmelse av strekkfasthet (Myrvang, 1987).

Punktlasttesten ble utført på vannmettede prøver. Det ble benyttet en LOSENHAUSEN hydraulisk presse og samme pålastningshastighet som ved testing av bøyestrekfasthet. Borkjernene ble påført en punktlast diametralt og aksialt. Se fig. 4-3. Kjernene ble belastet inntil brudd. Bruddlasten  $P$  ble lest av. Punktlastindeksen  $I_p$  kan settes tilnærmet lik strekkfastheten (Myrvang, 1987).

Punktlastindeks (Myrvang, 1987):

$$I_p \approx G_t = K \times (P/D^2) \quad (\text{kp/cm}^2)$$

$K = 1$  for vanlige borkjernediametere (Myrvang, 1987):

$$I_p \approx G_t = P/D^2 \quad (\text{kp/cm}^2)$$

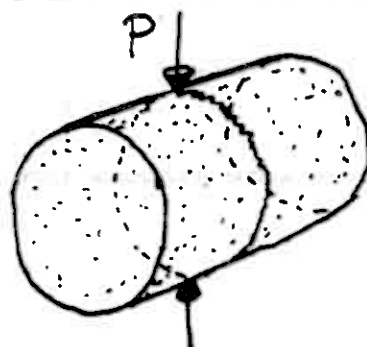


Fig. 4-3. Prinsippskisse for punktlasttest (Myrvang, 1987)

## Fallprøven

(Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a)

**Materiale:** Avklippede kjerner som hadde gjennomgått måling av trykkfasthet, bøyestrekfasthet og punktlastindeks. Resterende materiale etter utboring av kjerner. (Kjernene var tørket i romtemperatur etter vannmettingen. Restmaterialet hadde ikke vært vannmettet.)

Bergartsmaterialet ble knust i kjeftetygger. Knusingen ble utført to ganger. Materialet ble siktet på 11,2 og 16,0 mm kvadratsikt til borbarehetsanalyse og på 8,0 og 9,5 mm kvadratsikt til veimaterialeanalyse. Mellomfraksjonene (11,2-16,0 mm og 8,0-9,5 mm) ble siktet på stavsikt henholdsvis 11,2 (B) og 8,0 (C) mm og 8,0 (B) og 5,6 (C) mm.

### **Flisighet:**

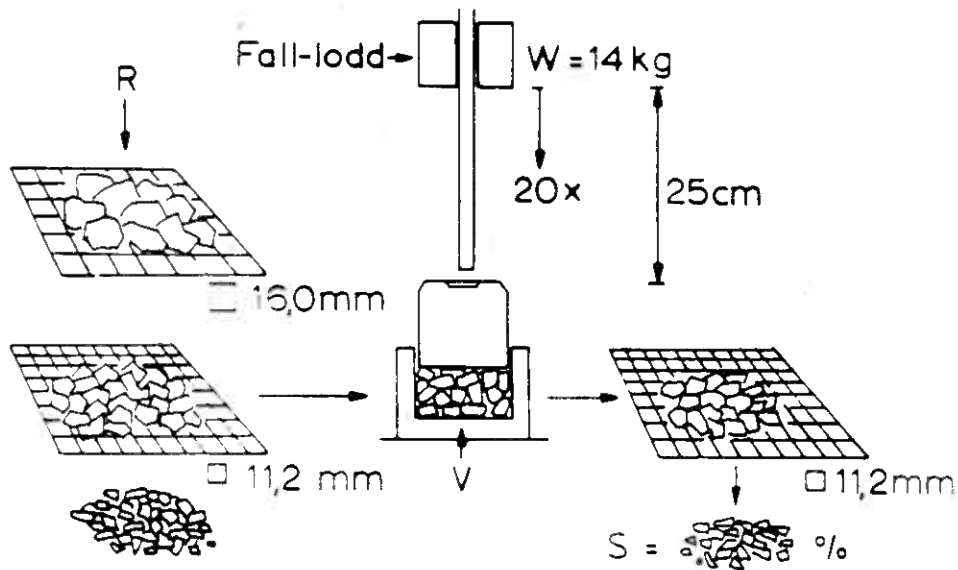
Prosent materiale >B og prosent materiale >C ble plottet i nomogram for flisighetstall (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1987a). Se vedlegg 6. Til beregningen ble det benyttet et dataprogram ved SINTEF - Bergteknikk. Se vedlegg 7 og 8 for resultater.

Flisigheten av et materiale er definert som forholdet mellom midlere bredde og tykkelse innen en gitt fraksjon:  $f = b/t$ .

### **Sprøhet:**

Densiteten av bergartsmaterialet ble bestemt ved veiing av vann og deretter knust bergart og vann i et glass med kjent volum. Mengden materiale til bestemmelse av sprøhet ble korrigert med hensyn på egenvekt (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a). Stavsiktfraksjonene <C, C-B og >B ble korssplittet og innveid etter prosentdel av total mengde til prosentdel av korrigert mengde materiale. Det ble kjørt fire paralleller av hver serie gjennom fallapparatet. Se fig. 4-4 og 4-5. Falloddet ble sluppet ned på hver prøve 20 ganger. Pakningsgraden på prøven ble notert da materialet ble tatt ut av morteren (0 = løst pakket, ..., III = fullstendig hardpakket). Det knuste materialet ble for hver parallell siktet på B mm kvadratsikt.

Sprøhetstallet ble beregnet som den prosentvise delen av prøven som etter nedknusing i fallapparatet passerte siktet for fraksjonens nedre grense (B). Korrigert sprøhetstall ble funnet ved å justere for pakningsgrad. Til beregningene ble det benyttet et dataprogram ved SINTEF - Bergteknikk. Se vedlegg 9 for resultat.



Utstyr og prinsipp for bestemmelse av sprøhetstall (S) på et materiale (R). Fallapparatet er skissert midt på tegningen, sikteprosessen på sidene. Kornantallet, dvs. volumet av prøven (V), er bestemt ved en innveiling av prøve lik med  $0,5 \cdot \gamma / 2,65$  kg hvor  $\gamma$  er bergartens egenvekt.

Fig. 4-4. Prinsipp for bestemmelse av sprøhetstall (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a)

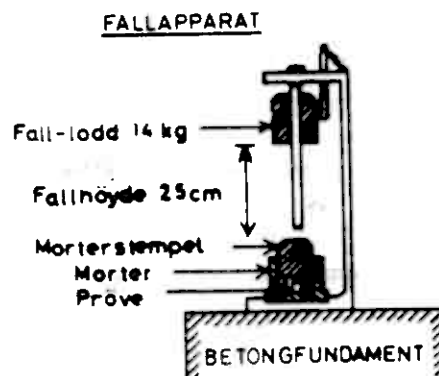


Fig. 4-5. Fallapparat (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a)

### Slitasieverdi

(Ingeniørgeologisk laboratorium, 1985)

Materiale: Bergartsmateriale knust i kjeftetygger

Det knuste bergartsmaterialet ble malt til  $-1$  mm. Pulveret ble helt oppi siloen til slitasjeapparatet, se fig. 4-6. To prøvestykker av hardmetall ble slipt og veid med 0,5 g nøyaktighet. Prøvestykkene ble montert, et om gangen, slik som vist i figuren. Maskinen ble satt i gang, malingen av pulver startet, og loddet med prøvestykket ble holdt over strømmen av bergartspulver. Den roterende tallerkenen gikk med 200 omdreininger per minutt i 5 minutter. Deretter ble prøvestykket tørket rent og veid.

Slitasjeverdien AV (Abrasion Value) angir vekttapet i milligram for prøvestykket av hardmetall.

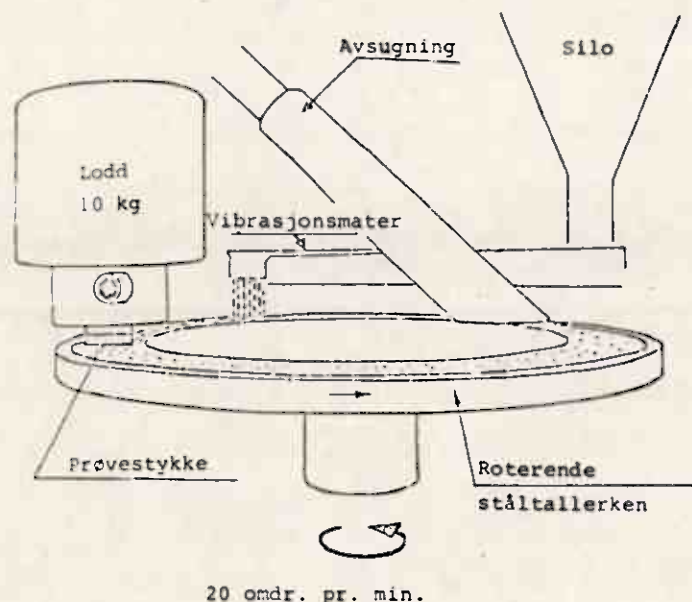


Fig. 4-6. Slitasjeapparat (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1985)

### Sievers J-verdi

(Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978c)

Materiale: Fire planslippte prøver, en fra hver av de fire prøvepunktene 1, 2, 3 og 4.

Det ble brukt et Sievers miniatyrborapparat, hardmetallbor og mikrometer. Apparaturen er vist i fig. 4-7. Det ble boret med et hardmetallbor to ganger i hvert prøvestykke. Boret ble slipt på nytt for hvert forsøk. Boret gikk med 200 omdreininger på ett minutt. Deretter ble hulldybden i prøven målt med mikrometer.

Sievers J-verdi angir hulldybden i tidels millimeter etter boringen i prøvestykket.

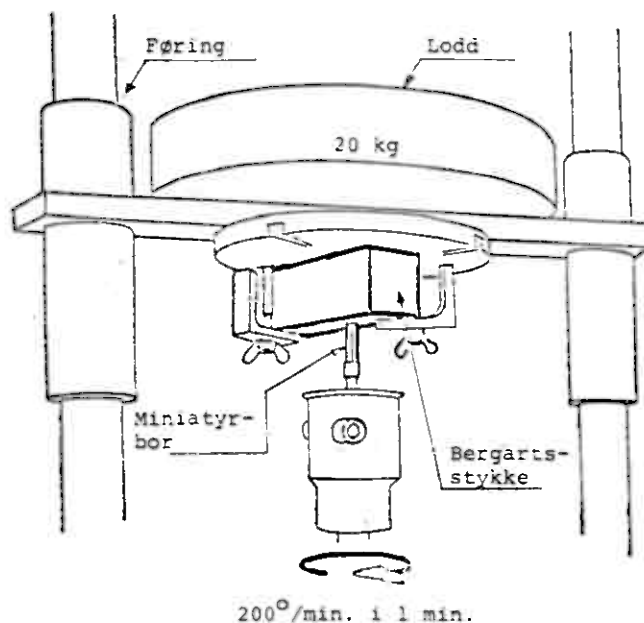


Fig. 4-7. Prinsskisse for måling av Sievers J-verdi (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978c)

#### Differentialtermisk analyse - DTA

(Ingeniørgeologisk laboratorium, 1974a)

Materiale: Prøver fra hvert av de fire prøvepunktene.

Hver bergartsprøve ble knust og malt ned til en middelværdi på 15-20  $\mu\text{m}$ . Prøvematerialet ble pakket i nikkeldigel rundt et termoelement koblet til et tilsvarende element plassert i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pulver. Se fig. 4-8. Apparaturen ble satt inn i en oppvarmingsovn og varmet opp fra romtemperatur til rundt 1000°C. Ved visse temperaturer ble det avgitt eller tatt opp varme fra spesielle mineraler, slik at det gikk strøm mellom elementene. Strømutslagene ble registrert på fotografisk papir. Kjøringen tok 2 timer. Eksempler på DTA-kurver er vist i vedlegg 10. Resultatene er vist i vedlegg 11, 12 og 13.

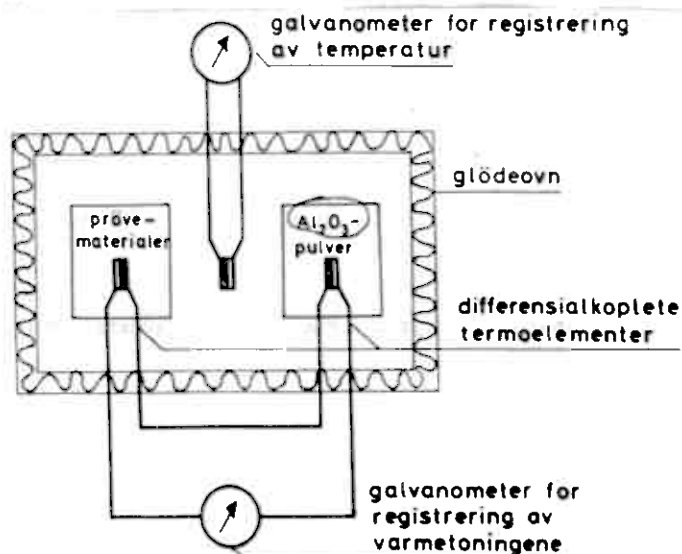


Fig. 4-8. Prinsskisse for DTA-apparatur (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1974a)

### 4.2.3 Resultater

Tabell 4-1. Resultater fra tester utført på borkjerner fra prøvepunkt 1, 2, 3 og 4.

|                                   | Prøve 1 | Prøve 2 | Prøve 3 | Prøve 4 |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vannabsorpsjon, vekt%             | 0,32    | 0,31    | 0,31    | 0,36    |
| Spesifikk vekt, g/cm <sup>3</sup> | 2,71    | 2,69    | 2,69    | 2,71    |
| Porøsitet, volum%                 | 0,87    | 0,82    | 0,85    | 0,99    |
| Lydhastighet, m/s                 | 4608    | 5198    | 5046    | 4858    |
| Trykkfasthet, MPa<br>(31 mm)      | 77,1    | 71,8    | 67,7    | 69,3    |
| Bøyestrekfasthet, MPa<br>(21 mm)  | 12,0    | 22,0    | 21,9    | 15,4    |
| Strekfasthet, MPa                 |         |         |         |         |
| diametralt, 31mm                  | -       | 9,4     | 8,5     | 5,2     |
| diametralt, 21mm                  | 8,8     | 12,6    | 12,2    | 9,1     |
| aksialt, 31mm                     | -       | 10,8    | 8,8     | -       |
| aksialt, 21mm                     | -       | -       | 8,0     | 6,2     |
| Sievers J-verdi, mg/10            | 6,3     | 4,7     | 6,3     | 5,3     |
| DTA: kis (%)                      | spor    | spor    | 0,04    | 0,1     |
| DTA: kvarts (%)                   | 0       | 0       | <1      | 1       |

Tabell 4-2. Middelverdier av utførte tester på materiale fra prøvepunkt 1, 2, 3 og 4.

|                                   | Middelverdi |
|-----------------------------------|-------------|
| Vannabsorpsjon, vekt%             | 0,32        |
| Spesifikk vekt, g/cm <sup>3</sup> | 2,70        |
| Porøsitet, volum%                 | 0,86        |
| Lydhastighet, m/s                 | 5011        |
| Trykkfasthet, 31mm, MPa           | 70,7        |
| Bøyestrekfasthet, 21mm, MPa       | 20,2        |
| Strekfasthet, diam. 31mm, MPa     | 8,3         |
| Strekfasthet, diam. 21mm, MPa     | 11,5        |
| Strekfasthet, aks. 31mm, MPa      | 9,3         |
| Strekfasthet, aks. 21mm, MPa      | 7,5         |
| Sievers J-verdi, mg/10            | 5,5         |

Tabell 4-3. Resultater fra tester utført på knust og blandet bergartsmateriale fra prøvepunkt 1, 2, 3 og 4.

|                             | Fraksjon: | -1 | 8-11 | 11-16 |
|-----------------------------|-----------|----|------|-------|
| Flisighetstall              |           |    | 1,34 | 1,28  |
| Densitet, g/cm <sup>3</sup> |           |    | 2,73 | 2,73  |
| Sprøhetstall                |           |    | 47,1 | 49,7  |
| Pakningsgrad                |           |    | I    | I     |
| Korrigert sprøhetstall      |           |    | 49,4 | 52,1  |
| Slitasje-verdi AV, mg       | 7         |    |      |       |
| DRI                         |           |    |      | 47    |
| BWI                         |           |    |      | 34    |

Borsynkindeksen DRI beregnes ved å plote Sievers J-verdi mot sprøhetstall. Borslitasjeindeksen BWI beregnes ved å plote DRI mot slitasje-verdien AV. Se vedlegg 14, 15, 16 og 17.

#### 4.2.4 Faktorer som påvirker resultatene

Resultatene som er fremkommet under testing av bergartsprøvene kan ha vært påvirket av flere forhold.

Fremgangsmåten som er brukt under forsøkene vil i første rekke gi utslag. Ved sammenligning med andre resultater vil man lett få forskjeller dersom testene er utført på ulik måte.

Flere faktorer av betydning for prøveresultatene er omtalt i Myrvang, 1987:

Ytre faktorer som kan påvirke resultatene:

- prøvestykkets fuktighetsgrad
- kontaktflatenes beskaffenhet
- prøvestykkets lengde/diameterforhold
- prøvestykkets volum
- belastningshastighet

Bergartsprøvens fuktighetsinnhold virker inn på styrkeegenskapene. Vannmettede prøver er vanligvis bare omtrent halvparten så sterke som tørre prøver. Årsaken kan ligge i bergartenes porevolum. Med porer som er mettet på vann bygges det opp et poretrykk inne i bergarten når den påkjennes av spenning. Foretrykket vil føre til at styrken i bergartsprøven avtar. Dette gjelder også for tette, homogene bergarter.

Dersom bergarten som skal testes skal brukes i anlegg et stykke under jordoverflaten, bør prøvestykkene vannmettes før de testes i laboratoriet. De fleste anlegg i fjell ligger under grunnvannspeilet, og her er bergartene oftest vannmettet. Den store styrkereduksjonen som er påvist for bergarter i vannmettet tilstand (f.eks. 35 % nedgang i trykkfasthet for Iddefjordsgranitt) er det helt nødvendig å ta hensyn til ved planlegging av bruksområde for en gitt bergart.

Kontaktflatenes beskaffenhet virker inn på testresultatene ved aksiell belastning av bergartsprøver. Endeflatene på prøvestykkene må være planparallelle for å hindre skjev belastning. Et smøremiddel brukes ved måling av lydshastighet på borkjerner for å gi god kontakt mellom prøvestykke og elektrode (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978b). Mellomlegg av myke materialer gir jevnt fordelte laster. Dersom materialet flyter plastisk kan det imidlertid utvikles laterale strekkspenninger i prøvestykkets endeflate, og resultatet kan bli for lav trykkfasthet.

Prøvestykkets lengde/diameterforhold er enda en faktor som påvirker endeeffektene. Endeeffektens virkning går rundt en diameter ned i prøvestykket. Prøvestykker til bestemmelse av trykkfasthet bør følgelig ha en lengde på minst to ganger diameteren.

Prøvestykkets volum virker også inn på resultatet av testingen. Et lite prøvestykke har vanligvis høyere trykkstyrke enn et stort stykke. Det kommer av at det kan finnes et større antall sprekker og svakhetsplan i store bergartsstykker enn i små, og de vil føre til at styrken til prøven reduseres.

Pålastningshastigheten er avgjørende ved måling av bergartens styrke. Styrke og stivhet vil øke med økende pålastningshastighet. En forklaring kan være de mikrosprekker og riss som opptrer i en bergart. Med høy pålastningshastighet vil deformasjoner inne i bergarten ikke rekke å utvikle seg så mye før bruddet som ved lav pålastningshastighet. Resultatet blir tilsynelatende høyere styrke hos bergarten.

Utviklingen av deformasjoner i bergartsprøven etter brudd kan også påvirkes av stivhet i prøvemaskinen. Oppladet spenning i apparatet kan utløses ved brudd i prøvestykket og forårsake større deformasjoner enn antatt på den resterende delen av prøven.

#### 4.2.5 Sammenligning med NBI's resultater

Prøver av monzonitten fra Anfinnslett ble i 1985 testet ved Norges Byggeforskningsinstitutt. En sammenligning av verdiene oppnådd ved testing hos NBI og ved testing på Ingeniørgeologisk laboratorium, NTH følger nedenfor.

Tabell 4-4. Materialdata fremkommet ved testing hos NBI og på Ingeniørgeologisk laboratorium, NTH.

|                             |                   | NBI                  | Ing.geol. lab, NTH |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| Trykkfasthet,               | MPa               | 216,3                | 70,7               |
| Bøystrekkfasthet,           | MPa               | 18,5                 | 20,2               |
| Vannabsorpsjon,             | vekt%             | 0,17                 | 0,32               |
| Egenvekt,                   | g/cm <sup>3</sup> | 2,72                 | 2,70 - 2,73        |
| Slitasjetap, 2000 omdr., mm |                   | 2,01                 |                    |
| Slitasjetap, 2000 omdr., g  |                   | 20,82                |                    |
| Slitasjetall                |                   | 2,0                  |                    |
| Varmeutvidelseskoeffisient  |                   | $5,1 \times 10^{-6}$ |                    |

(NBI har testet trykk- og bøyefasthet på tørre prøver som trolig stammer fra bruddet. På NTH er de egenskapene testet på vannmettede prøver som er tatt i overflaten.)

#### 4.2.6 Vurdering av resultatene

Først omtales bare de resultatene som er oppnådd ved testing på Ingeniørgeologisk laboratorium. Deretter trekkes sammenligninger med resultatene oppnådd av NBI.

Vannabsorpsjon på 0,32 vekt% er en god verdi. Ved vannabsorpsjon på mindre enn 0,5 vekt% regnes et materiale som frostbestandig (Stenhåndboken bd 1, 1983).

Spesifikk vekt på 2,73 g/cm<sup>3</sup> tilsvare verdier målt på lys og mørk larvikitt. Granitt og gneis har lavere egenvekt, mens bergarter som gabbro og glimmerskifer har høyere egenvekt (Stenhåndboken bd 1, 1983).

Porøsitet på 0,86 volum% tilsvare verdier målt på granitt (0,5-1,5), basalt (0,1-1,0) og gneis (0,5-1,5). Det er middels poreverdi som er av størst betydning for frostbestandighet, men den er ikke undersøkt her (Winkler, 1973).

Lydhastighet på rundt 5000 m/s er vanlig i norske prekambriske og paleozoiske bergarter. De høyeste verdiene på monzonitten er de som er målt i bustretningen. Hastigheten er oftest høyere i en tett og tung bergart enn i en porøs og lett. Spredninger i resultatene kan skyldes ulik fordeling av mikroriss og sprekker i bergartsprøvene. Grovkornede bergarter gir oftest størst spredning i målte verdier (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978b).

Trykkfasthet (enakset) på 70,7 MPa angir en liten til middels styrke på bergarten (Myrvang, 1987). Trykkfastheten er høyest i prøvene tatt parallelt med kløvretningen og normalt på bustretningen og lavest i prøvene tatt parallelt med bustretningen. Bergarten ser dermed ut til å tåle trykk best normalt på bustretningen. At bergarten var vannmettet under forsøket har trolig slått sterkt ut på resultatet og gitt lave verdier. Trykkfasthet hos granitt og larvikitt ligger på 100-275 MPa, målt på tørr bergart (Stenhåndboken bd 1, 1983).

Bøyestrekfasthet på 20,2 MPa målt på vannmettet bergart må sies å være et godt resultat. De høyeste verdiene er oppnådd normalt på bustretningen. Bergarten ser dermed ut til å tåle bøyning best normalt på bustretningen. Bøyestrekfasthet hos granitt og larvikitt ligger på henholdsvis 6-15 og 10-24 MPa, målt på tørr bergart (Stenhåndboken bd 1, 1983).

Strekfasthet ved punktlasttest på 8-11 MPa diametralt og 7-9 MPa aksialt stemmer godt overens med de tidligere resultatene. De høyeste verdiene er oppnådd normalt på bustretningen. Forholdet punktlaststyrke:bøyestrekfasthet er rundt 1:2 (Myrvang, 1987). Verdien for strekfasthet er vanligvis 1/7 - 1/11 av verdien for trykkfasthet (Winkler, 1973). I dette tilfellet ligger forholdet på 1/6 - 1/10.

Flisighet og sprøhet plottet mot hverandre viser at fraksjon 8-11 ligger tett opptil den beste klassen (klasse 2) for stein til

veimateriale. Fraksjon 11-16 plotter midt i klasse 3, og også den er av god kvalitet. Klassifisering av materialet etter skjemaet Stein til vegmateriale (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1978a) viser at steinen er brukbar som tilslag i de fleste asfaltdekker, i enkelte grusdekker, i bærelag og som grovt betongtilslag. Se vedlegg 18, 19 og 20.

Sievers J-verdi på 5,5 gir sammen med sprøhet 49,7 (fraksjon 11-16) en DRI-verdi på 47. Verdien angir at boring i monzonitten gir i underkant av middels borsynkindeks (Institutt for anleggsdrift, 1979).

Slitasjeverdien AV gir sammen med DRI en BWI-verdi på 34. Verdien viser at boring i monzonitten gir middels borslitasje (Institutt for anleggsdrift, 1979).

DTA-analysen viste at det var spor av kvarts og kis i bergarten. I så små mengder som 0-0,1 % vil kisen neppe volde skade på bergarten som bygningsstein, siden den ser ut til å være finfordelt i bergarten (det er ikke observert større enkeltkorn av kis). Kvarts kan skape et ekspansjonstrykk på opptil 545 kg/cm<sup>2</sup> hvis oppvarmet 40°C, en temperaturforskjell som ikke er uvanlig i ørken- eller byklima, og en slik ekspansjon vil kunne skade bergarten (Winkler, 1973). Kvarts kan også bidra til økt borslitasje, men i monzonitten er det kun påvist spor av mineralet, og det vil neppe gi noen særlig innvirkning. Vedlegg 17 viser imidlertid at DRI plottet mot BWI antyder et kvartsinnhold i monzonitten på 10-30%. Det kan skyldes den høye andelen av mineraler med høy hardhet i bergarten. Feltspat har f.eks. hardhet 6, mens kvarts har hardhet 7.

Det må påpekes at prøvene som ble testet var tatt et stykke ovenfor det eksisterende bruddet. De var tatt ut med Cobra bormaskin fra 0,5 - 1,5 m under dagen. Følgelig kan bergartene ha vært mer oppsprukne og dermed svakere enn frisk bergart tatt fra bruddet. Spesielt vil dette gi seg utslag ved måling av trykkfasthet, vannabsorpsjon, porøsitet og sprøhet og flisighet.

Ved sammenligning av måledata fra NBI og fra NTH for de målte egenskapene går det klart frem at NBI gir de beste resultatene. Det er imidlertid ikke riktig å sammenligne tall fra forsøk som ikke er utført på nøyaktig samme måte.

Et annet poeng er at NBI trolig har testet på stein tatt et stykke nede i bruddet, mens testene utført på NTH er gjort på stein tatt like under overflaten. Frisk stein har sannsynligvis bedre egenskaper enn svakere stein fra nær overflaten.

NBI oppga i rapporten at prøvene ikke var merket med kløvretning eller lignende. Dette kan ha ført til at alle forsøkene er utført normalt på bergartens sterkeste plan (bustplanet, i følge NTH's tester). Middelerdiene vil dermed bli høye.

Størst utslag har det trolig likevel gitt at NBI testet på tørre bergarter, mens forsøkene på NTH er gjort på vannmettede bergarter. Den styrkereduksjonen som ofte oppstår ved vannmetning er omtalt i kap. 4.2.4.

#### 4.2.7 Konklusjon

Monzonitten fra Anfinnslett er godt egnet både til bygningsstein og veimateriale.

De gode styrkeegenskapene gjør at vrakstein av bergarten med hell kan utnyttes i form av pukk til veimateriale. Den slitesterke bergarten må også kunne brukes til kantstein til fortau, som foreslått i Lødingen i sommer.

#### 4.3 Test for bestemmelse av reflektans hos polert stein

##### 4.3.1 Innledning

Etter forslag fra dr.ing. Terje Malvik ble det gjort reflektansmålinger på polerte skiver av monzonitt.

Forsøket ble utført ved NGU (Norges geologiske undersøkelse) i Trondheim.

##### 4.3.2 Prøvemateriale

Fra Johs. Grønseth i Stavern ble det bestilt 4 ferdigpolerte plater i størrelsen  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . Prøvene var slipt i flere graderinger (1-5) og polert med tinnoksyd. Alle var behandlet på bustsiden.

Av prøvematerialet fra punkt 3 og 4 ovenfor bruddet på Anfinnsløtt ble det saget ut og kappet opp 4 skiver på  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  og 1 cm i tykkelse. Fra prøve 3 ble det tatt en skive i bustretning. Fra prøve 4 ble det tatt en prøve i hver av retningene bust, halvklov og klov. Prøvene ble planslipt og deretter slipt med karborundum på støpejernskive. Graderinger: 320 grit i 5 min, og så 600, 800 og 1000 grit i 2 min (A. Monsey, pers. komm. 1987). Deretter ble prøvene slipt med borkarbid på glasskive: 1200 grit i 2 min. Til slutt ble de fire skivene polert med tinnoksyd.

##### 4.3.3 Beskrivelse av metode

Det ble benyttet et ELREPHOMAT apparat fra Zeiss (Vest-Tyskland) til forsøket. Apparatet ble vanligvis ellers brukt til hvithetsmålinger av papir og andre produkter.

Apparatet målte reflektans gjennom fire filtre. Et rødt, et grønt, et blått og et hvithetsfilter ble benyttet under kjøringen. Det grønne filteret målte på 557 nm i lysspekteret. Det blå filteret og hvithetsfilteret målte begge på 457 nm.

Instrumentet ble først kalibrert med hensyn på filter X (rød), Y (grønn) og Z's (blå) hvithetsgrad. Det ble brukt hvit standard  $\text{BaSO}_4$  etter DIN 5033. Den var målt i forhold til hvitheten til  $\text{MgO}$ . Filter X ble kalibrert til 99,5 % av hvit standard, filter Y til 99,4 %, og filter Z og hvithetsfilteret til 99,1 %. Deretter ble det kalibrert med hensyn på sort fløyel - "Dunkelkörper". Alle filtrerene var kalibrert med den hvite standarden stilt inn med glans.

Det ble målt i 10 felter langs en diagonal over hver av de 6 polerte prøvene. (To prøver av de åtte ble ikke testet.) Reflektansen ble målt både med og uten glans. Verdiene som ble lest av var prosentverdier av hvit standard. Verdien for glans ble funnet som differansen mellom reflektans målt med og uten glans.

#### 4.3.4 Resultater

Tabell 4-5. Resultater fra reflektansmåling. Middelerverdier av utslag for rødt (X), grønt (Y) og blått (Z) filter og hvithetsfilter målt med og uten glans. Middelerverdier av glans.

| Filter / Prøve:             | L1   | L3   | 3B   | 4B   | 4H   | 4K   |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Reflektans målt med glans:  |      |      |      |      |      |      |
| X                           | 7,51 | 7,62 | 8,77 | 9,06 | 9,04 | 8,99 |
| Y                           | 7,50 | 7,61 | 8,63 | 8,87 | 8,86 | 8,83 |
| Z                           | 7,19 | 7,21 | 7,67 | 7,67 | 7,63 | 7,68 |
| hvit                        | 7,20 | 7,23 | 7,70 | 7,68 | 7,65 | 7,69 |
| Reflektans målt uten glans: |      |      |      |      |      |      |
| X                           | 2,83 | 2,93 | 4,25 | 4,57 | 4,67 | 4,43 |
| Y                           | 2,83 | 2,91 | 4,12 | 4,38 | 4,49 | 4,26 |
| Z                           | 2,45 | 2,44 | 3,10 | 3,14 | 3,23 | 3,03 |
| hvit                        | 2,46 | 2,46 | 3,12 | 3,16 | 3,25 | 3,04 |
| Glans:                      |      |      |      |      |      |      |
| X                           | 4,69 | 4,69 | 4,52 | 4,48 | 4,37 | 4,56 |
| Y                           | 4,68 | 4,70 | 4,51 | 4,49 | 4,36 | 4,58 |
| Z                           | 4,74 | 4,77 | 4,57 | 4,53 | 4,40 | 4,65 |
| hvit                        | 4,75 | 4,78 | 4,58 | 4,53 | 4,40 | 4,65 |
| Snitt, glans:               | 4,71 | 4,74 | 4,55 | 4,51 | 4,38 | 4,61 |

(Prøve L1 og L3 er polert i Larvik/Stavern. Prøve 3B er tatt i bustretning fra punkt 3. Prøve 4B, 4H og 4K er tatt i bust-, halvklov- og kløvretning fra punkt 4.)

#### 4.3.5 Vurdering av resultater

Prøvene polert i Larvik har høyest glans av de seks som er undersøkt. Prøvene polert på NTH har lavere verdier for glans, og dårligst resultat ble funnet hos en prøve polert på halvklovssiden (4K). Beste verdi for glans blant NTH-prøvene var på en prøve polert på kløvssiden (4K).

Den tydeligste forskjellen mellom prøvene tatt fra bruddet og polert i Larvik og prøvene tatt utenfor bruddet (nær overflaten) og polert på NTH er å finne i utslagene på rød- og grønnfilterne. De fire prøvene tatt nær overflaten viser høye utslag på rød- og grønnfilter sammenlignet med prøvene tatt i bruddet.

Den lille forskjellen i glans på prøver polert i Larvik og prøver polert på NTH kan komme av ulik poleringsteknikk. Det kan ha vært brukt ulik poleringstid, -styrke, -middel el.l. Forskjellen kan også skyldes at prøvene tatt i bruddet, inne i fjellet, tar polering bedre enn prøvene tatt utenfor bruddet og nær overflaten.

Arsaken til høyere rød- og grønnfilterutslag på prøvene tatt utenfor bruddet og nær overflaten lar seg godt se på de polerte

prøvene. Mens prøvene fra bruddet er mørkt gråblå i fargen, er prøvene tatt nær overflaten brunlige i fargen. Ettersom brun farge består av rødt og grønt, gir prøvene tatt utenfor bruddet høye utslag på rød- og grønnfilter.

Etter at de polerte skivene hadde gått gjennom et 30 dager langt klimatestforsøk, omtalt i kapittel 4.4, ble det på ny målt reflektans på dem.

Fem av seks prøver fikk lavere verdier for glans etter forsøket. Reduksjonen var på 1,1-4,6 %.

På en prøve (4K) ble det målt 0,2 % høyere glans etter forsøket. Årsaken kan være at det ikke helt sikkert ble målt på samme diagonal som sist. Økningen kan også skyldes at prøven ikke var helt fri for støv/belegg under forrige måling, og at den var blitt renere til siste måling. Endelig kan endringen skyldes at metoden ikke er skikkelig utprøvet enna, og at det ble gjort målefeil. Det er usannsynlig at glansen på prøven skulle øke i løpet av klimatesten.

Høyest glans etter klimatestforsøket ble funnet hos en prøve fra bruddet polert i Larvik. Deretter kom prøve 4K og den andre prøven polert i Larvik. Den innbyrdes rekkefølgen ut fra høyest glans ble lite endret.

Det var tydelige forandringer på utslagene på fargefiltrene før og etter klimatestforsøket. Prøvene fra bruddet, polert i Larvik, hadde fått lavere fargefilterutslag etter forsøket. Prøvene tatt utenfor bruddet hadde fått økning i fargefilterutslag etter forsøket. Endringene kan skyldes målefeil. De ikke friske prøvene tatt utenfor bruddet kan også ha gjennomgått en svak fargeendring under forsøket, men dette er ikke nærmere undersøkt.

#### 4.3.6 Konklusjon

Målinger gjort på kun én prøve fra hver retning (bust, kløv, halvklov) fra hvert sted, i tillegg til de to fra bruddet, er et tynt grunnlag å trekke slutninger på. Metoden ble først og fremst testet ut for å se hva slags resultat man fikk på polerte prøver; om farge og polering kunne la seg kvantifisere.

Ut fra foreløbige resultater ser det ut til at visuelle fargeforskjeller kan tallfestes ved hjelp av reflektansmålinger.

Ulikheter og endringer i glans fremkommer også ved bruk av reflektansmålinger.

#### 4.4 Test for bestemmelse av klimamotstand

##### 4.4.1 Innledning

Klimatestforsøket ble utført ved Norges Byggforskningsinstitutt i Trondheim. Kontaktperson ved NBI var Alf B. Waldum.

##### 4.4.2 Prøvemateriale

Prøvene som ble testet var de samme som ble polert og gjennomgikk reflektansmålinger. Se kap. 4.3.

Det ble brukt 6 polerte prøver i størrelse  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . To av prøvene var tatt ut i bruddet på Anfinnslett og polert i Larvik/-Stavern. De fire andre var fra prøvepunkt 3 (1 prøve) og 4 (3 prøver).

##### 4.4.3 Beskrivelse av metode

Klimamotstanden til materialet ble observert ved akselerert testing i et spesielt apparat hos NBI. Motstanden kunne uttrykkes i de endringer eller mangel på endringer som inntraff under forsøket. Eksempler på endringer var ulike typer sprekker, synlig skade, tap av glans eller fargeforandringer, endringer i vekt og mål, endringer i mekaniske egenskaper osv. (NBI, 1983).

Prøvestykkene ble montert i apparatet vist i fig. 4-10. I løpet av fire timer gikk prøven en gang rundt i apparatet. Den oppholdt se 1 time under sterk lysstråling, 1 time i slagregn, 1 time i kulde og frost og 1 time i romtemperatur (NBI, 1983).

A. Stråling: fra sollyslamper Osram Ultra Vitalux GUR 53 300 W. Samtidig oppvarming til en høy temperatur. Stralingsintensitet  $2400 \text{ W/m}^2\text{h}$ .

B. Regn: med en spray av demineralisert vann,  $15 \pm 2$  liter per kvadratmeter og time ved en temperatur på  $291 \pm 5 \text{ K}$  ( $18 \pm 5^\circ\text{C}$ ).

C. Kjøling og frysing: til en temperatur på  $253 \pm 5 \text{ K}$  ( $-20 \pm 5^\circ\text{C}$ ).

D. Tining: ved romtemperatur  $296 \pm 2 \text{ K}$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) og  $40 \pm 10 \% \text{ RH}$ , med muligheter for å inspisere og bytte prøvestykkene uten å stoppe testapparatet (NBI, 1983).

De polerte prøvene av monzonitt gikk gjennom en periode på 30-31 dager i testapparatet.

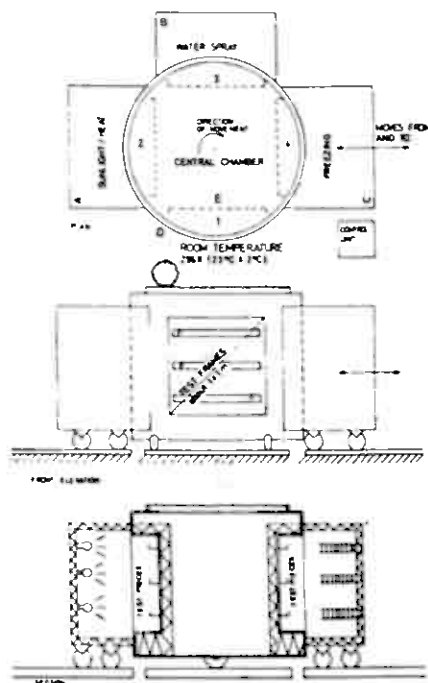


Fig. 4-10. Skisse av apparatur for klimatestmåling  
(NBI, 1963)

#### 4.4.4 Resultat

Følgende beskrivelse ble levert etter at klimatesten var ferdig:  
(Se også vedlegg 21.)

"Ad prøving av polert stein.

Prøvetid 1 mnd (31 dager) tilsier ca 1 1/2 års praktisk eksponering. Ingen påviselige mekaniske skader. Noe skjolding på enkelte prøver (fukt bak poleringen?). Forøvrig ingen merknader som tap av glans etc.

NBI 14/12-87 Alf B. Waldum"

#### 4.4.5 Måling av reflektans på klimatestprøvene

Som beskrevet i kapittel 4.3 ble det målt reflektans på prøvene både før og etter klimatesten.

Etter klimatesten var glansen på fem av prøvene redusert med 1,1-4,6 %. Den sjette prøven viste en økning i glans på 0,2 %. Økningen kan skyldes målefeil eller at prøven var dårlig rengjort før den første målingen.

#### 4.4.6 Vurdering av resultater

Bergartsprøvene hadde ikke fått noen påviselige mekaniske skader under klimatesten. Testen forsterker inntrykket av at det dreier seg om en sterk og holdbar bergart.

Skjoldingen på flatene kan ha gjort utslag under reflektansmålingene.

#### 4.4.7 Konklusjon

Bergarten "Arctic Green" ser ut til å ha god motstand mot klimaforvitring.

## 5. KVALITETER I ANFINNSLETT STEINBRUDD

### 5.1 Kriterier for kvalitetsbestemmelse

Farge, struktur, mineralogi og visuelle inntrykk er kriterier som er brukt i kvalitetsbestemmelse av monzonitten.

### 5.2 Bruk av kvalitetskriterier

Fargen varierer lite i bruddet. Den mørke, grågrønne fargen finnes hos all stein jeg har sett bli tatt ut. Prøver tatt nærmere overflaten er mer mosegrønne enn prøver tatt dypt inne i fjellet.

Strukturen ser ikke ut til å forandre seg mye. De markerte oppsprekkingsretningene kløv, halvkløv og bust er utholdende og finnes igjen over hele halvøya.

Mineralogien er forholdsvis lik i prøver tatt på ulike steder i bruddet. Prøve 1, 2, 3 og 4 tatt utenfor bruddet viser større grad av mikrosprekker og omvandling av pyroksen og feltspat enn hos de friske prøvene.

Av visuelle inntrykk er det først og fremst de polerte prøvene som trekkes inn i bedømmelsen. Polerte prøver fra bruddet har en mørkere farge og mer homogen struktur enn polerte prøver tatt fra toppen av halvøya.

### 5.3 Resultat av kvalitetskartlegging

Den mosegrønne fargen fra overflateprøvene kan skyldes stor grad av mikrooppsprekking og dannelse av jernoksyder som farger bergarten. I tillegg vil trolig omvandlingen av pyroksen til amfibol gi en annen fargenyanse på prøver tatt nær overflaten.

### 5.4 Konklusjon

Alle kvalitetskriterier tilsier at så lenge man holder seg unna dagfjellet, vil bergarten fortsette å ha en mørk farge og jevn struktur.

## 6. VURDERING AV MARMORUTTAK I DISTRIKTET

### 6.1 Bakgrunn for oppgaven

Etter ønske fra Lødingen kommune ble det sett på mulighetene for å ta ut annen bygningsstein i distriktet. Marmor ble valgt som en aktuell steinsort. Lødingen Steinindustri A/S kjente til noen lokaliteter, og geologiske kart ble brukt til å finne frem til områder å foreta kartlegging i.

Området øst for Lødingen består av flere store marmorsoner. Berggrunnskart Narvik 1:250 000 viser at det går flere foldede årer av kalkspatmarmor og tildels fargebåndet kalkspat- og dolomittmarmor fra Ballangen over Ofotfjorden og nordover mot Harstad. Se fig. 6-1. De to marmortypene omtales som mellomste tektoniske enhet i de alloktone lagrekker av metasedimenter og gneiser (Gustavson, 1974). Marmorårene er metasedimenter av kambro-silurisk alder, fra 600-395 millioner år gamle. Flere av de store marmorforekomstene har vært undersøkt med henblikk på utnyttelse (Gustavson, 1974).

Berggrunnskart Ofoten gradteig M.9 i målestokk 1:100 000 viser hvordan marmorårene er forkastet 4 km nordover på vestsiden av Tjeldsundet. Se fig. 6-1. Sonen strekker seg fra 1 km sør for Tjeldsundbrua til 3 km nord for brua. Her opptre linser og årer av hvit, finkornet dolomittmarmor og fargebåndet marmor i en større pakke med grå kalkspatmarmor. På østsiden av Tjeldsundet er det i følge kartet stort sett grå kalkspatmarmor.

### 6.2 Kriterier for valg av lokaliteter

Ved utvelgelsen av mulige lokaliteter for marmoruttak ble det lagt vekt på kort avstand til vei og sjø. Transporten av stein fra et steinbrudd til foredlingsbedriften/kunden skjer gjerne i flere prosesser, og hver prosess er avhengig av farbar vei på land eller til sjøs. Se fig. 6-2.

Plass til lager av uttatt stein bør ligge så nær bruddet som mulig. Lødingen Steinindustri A/S på Anfinnslett og Ankerske A/S i Fauske (marmor) har blokklager i en del av bruddet. Det bør også være mulig å plassere vrakstein nær bruddet, slik at man slipper å koste transport på den.

Neste hovedprosess i fremstillingen av bygningsstein er transport av stein fra blokksteinlager til kunde. Den skjer vanligvis via en foredlingsbedrift. Mange steinbrudd har ikke utstyr og kapasitet til selv å foredle sitt produkt. For Lødingen Steinindustri A/S sitt tilfelle sendes all stein ut i form av blokkstein (1-17 tonn, evt. større). Blokksteinen fraktes med båt til Larvik, der den sages, slipes, poleres og kappes opp etter kundenes ønsker.

Frakt med båt er fortsatt det rimeligste alternativet for transport av store volum over store avstander. Dersom transporten av blokker skal skje med båt, er det viktig at bruddet og i alle fall lageret av stein ligger nær en utskipningskai. Her bør sjødybden ikke være for liten dersom det kan bli aktuelt med båter som tar store transporter. Det kan være lønnsomt å gå sammen om



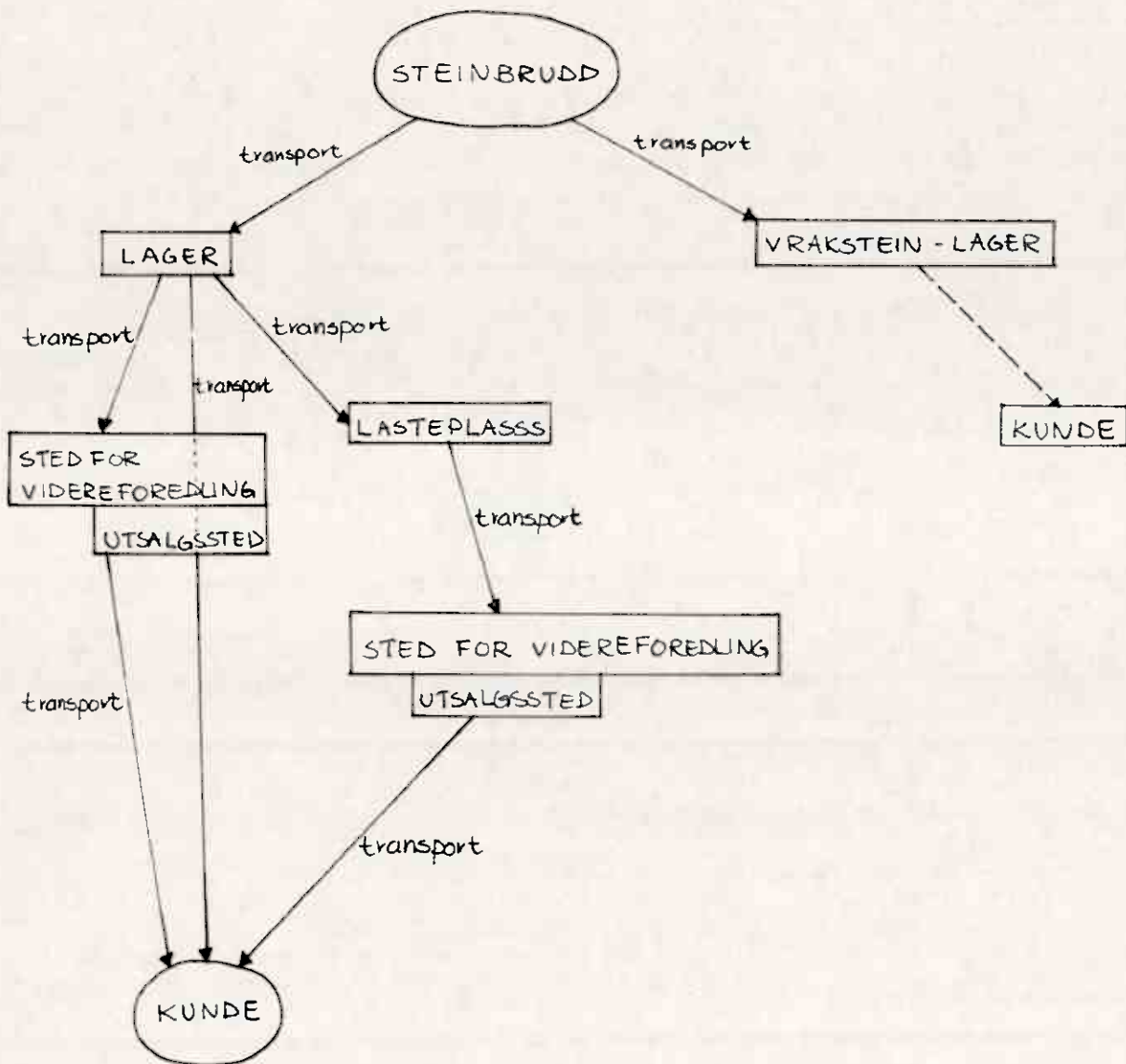


Fig. 6-2. Transport av stein fra Brudd til kunde

transport med andre bedrifter i nærheten som også sender gods per båt. I et slikt tilfelle kan det bli brukt større båter som krever god sjødybde.

Ut fra de omtalte kriteriene ble det først og fremst sett på lokaliteter hvor blotningene var synlig fra vei. Oftest var det kort avstand til sjøen. Det ble også tatt prøver fra en lokalitet som lå i en dalside vel 150 m fra vei.

### 6.3 Presentasjon av lokalitetene

Det ble valgt ut fire lokaliteter med marmor i området øst for Lødingen. De ligger i Tjeldsund kommune i Nordland fylke og i kommunene Harstad og Skånland i Troms fylke. Se fig. 6-3. Avstanden fra Anfinnslett til lokalitetene er 10-15 mil i kjøreevstand.

På to av stedene var det tidligere tatt ut marmor til gravstøtter. De andre to var veiskjøringer der drift av veianlegg hadde avdekket inngangen til marmorpartier.

### 6.4 Prøvemateriale

Fra samtlige lokaliteter er det tatt fra én til fem prøver på 0,5-2,0 dm<sup>3</sup>. Prøvene er analysert ved hjelp av XRD-analyse og mikroskopering av slip. Slipene har gitt opplysninger om mineralogi, kornstørrelse og tekstur, mens de røntgendiffraktometriske resultatene har gitt forholdsvis nøyaktige mineralidentifikasjoner.

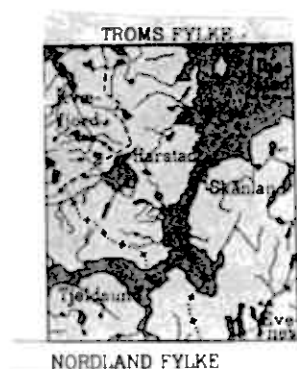


Fig. 6-3. Området der marmorlokalitetene ble funnet. Forekomstene er markert på kartskissen. (Kartblad 1332 III Tjeldsundet 1:50 000, M 711; 1982)

## 6.5 Lokaltitet 1: Fjellidal - Nygård

Fjellidal ligger ved rv. 824 i Tjeldsund kommune. Lokaltiteten er på Nygård og ligger i en dalside 150 m ovenfor veien. Terrenget er lett kupert med tildels tett løvskog. Se fig. 6-5. Det er tidligere brutt heller til gravstein fra forekomsten. Driften startet opp i 1925-30 (K. Nygård, pers.komm. 1987).

### 6.5.1 Geologisk beskrivelse

Bergarten er en lakserød, fin- til middelskornet kalkspatmarmor.

|             |             |                                                                         |
|-------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Mineralogi: | -kalkspat   | $\text{CaCO}_3$                                                         |
|             | -dolomitt   | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$                                            |
|             | -albit      | $(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$                           |
|             | -flogopitt/ | $\text{KMg}_2(\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_{10})(\text{OH})_2$        |
|             | -muskovit   | $\text{KAl}_2(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ |
|             | -opaker     |                                                                         |

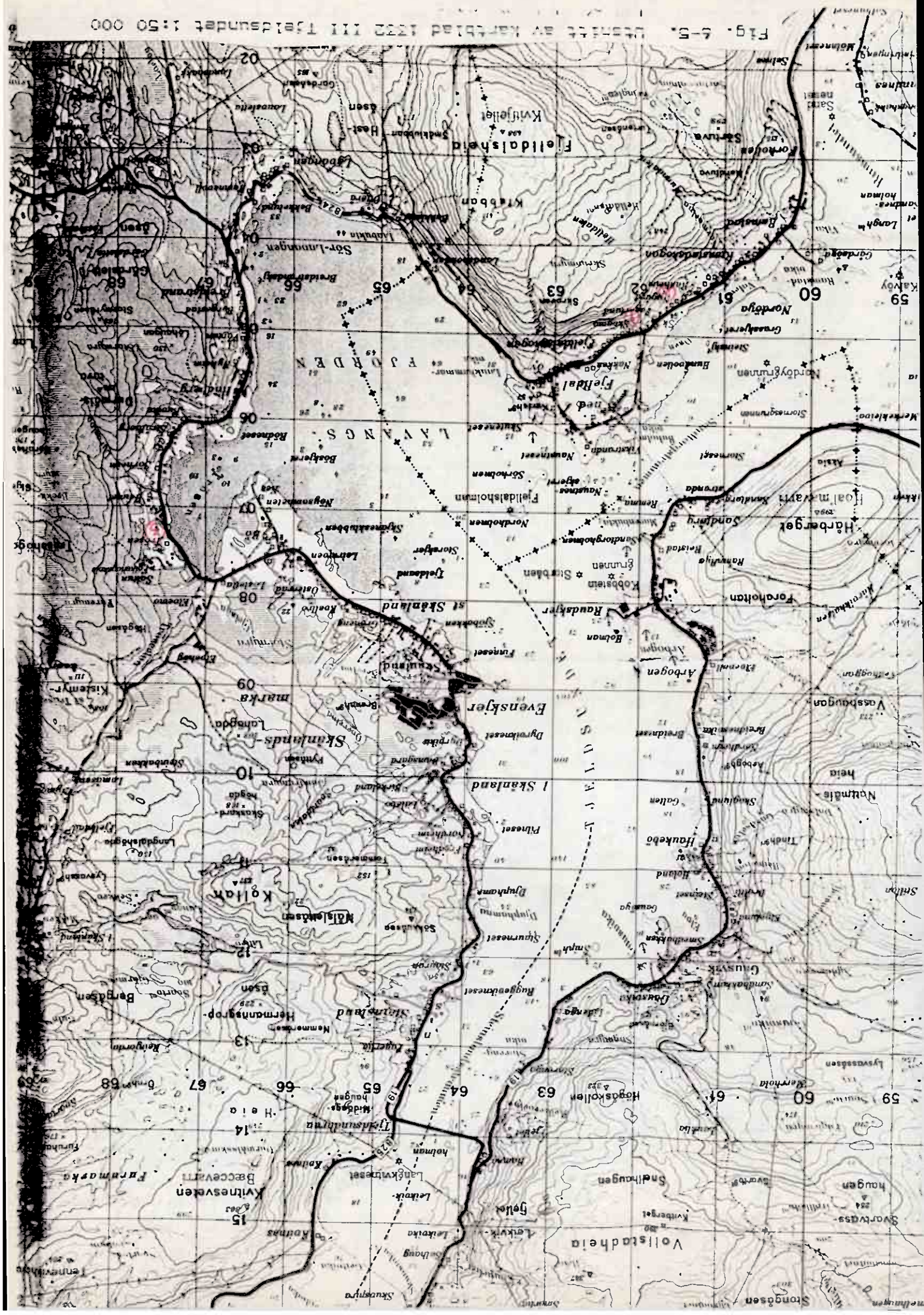
**tekstur :** Subhedral kalkspat/dolomitt med en kornstørrelse på 1,0-1,6 mm. Anhedrale rundede korn av feltspat på 0,2-0,4 mm i en grunnmasse av karbonat. Små mengder glimmer (flogopitt/muskovit) som langprismatiske, subhedrale korn på opptil 0,6 mm opptrer i sprekker. Likeledes opptrer opaker som aksessorier; de er oftest godt rundet og fra 0,05-0,6 mm.

Bildet i fig. 6-4 viser deler av marmorforekomsten som er blottet i dagen. Blotningen er 15-20 m lang og 1-2,5 m høy.



Fig. 6-4. Bilde fra Fjellidal - Nygård som viser den vestligste delen av marmorblotningen. Blotningen strekker seg ytterligere 10-20 m mot øst (til venstre i bildet).

Fig. 6-5. Utsnitt av kartblad 1232 III i Seisundet 1:50 000



Bergarten ligger i lag med fall mot sørvest på gjennomsnittlig 131°/10° SV (malt oppå blotningen). Lagene av marmor er 10-30 cm tykke og atskilt av tynne glimmerlag på noen millimeters tykkelse. Mikroskopering av slip viser at det er lite glimmer spredt i marmorlagene.

I tillegg til den horisontale lagdelingen har forekomsten en vertikal oppsprekking i vest. Bergarten kløver skrått/vertikalt 70°-80° ned mot øst (se fig. 6-4). Vertikal oppsprekking ble også funnet igjen i gråhvit marmor lenger nordøst.

Det ble tatt prøver fra flere steder i blotningen. I vest (til høyre for bildet i fig. 6-4) var marmoren nærmest lakserød av farge, med et millimetertynt, jordfarget forvittringslag utenpå. I øst (til venstre for bildet i fig. 6-4) var marmoren rød med mye hvitt i. De hvite lagene hadde et rødaktig forvittringslag utenpå. Det røde belegget ble også funnet på hvit, ruhogget marmor brukt som gravstein på kirkegården på Fjelldal.

Gråhvit marmor ble funnet i en mindre blotning 100-200 m lenger nordøst enn lokalitet 1. Også der hadde det vært drift på marmor til gravstein.

Marmoråren går muligens helt opp til Bukkan, åsen bak Nygård (K. Nygård, pers.komm. 1987). Fra blotningen og ned mot veien ble det funnet flere delvis overgrodde blokker av rød marmor på 0,5 m² og mindre. Det er også funnet hvit marmor med grå striper lenger sørvest, inn mot Ranheim (K. Nygård, pers.komm. 1987).

#### 6.5.2 Vurdering av forekomsten

Bergarten ser ut til å ha homogen struktur. Det er ingen tegn til foldning av bergarten, og lagdelingen ser jevn ut. Fargenyansene fra lakserødt til hvitt kan skape dekorative strukturer i polerte flater.

Den vertikale oppsprekkingen i blotningen kan begrense seg til den øverste delen av forekomsten. "Dagfjellet" er gjerne oppsprukket som følge av transport av vann fra overflaten ned i steinen og påfølgende fryse/tineprosesser (Broch, 1985). Utvidelse av vann medfører sterke krefter og mulighet for oppsprekking.

Med mindre de opake mineralene inneholder lettløselig jern, ser det ikke ut til å være skadelige forurensninger i bergarten.

#### 6.6 Lokalitet 2: Fjelldal - Ranheim

Lokaliteten ligger ved rv. 824 på Fjelldal, vel 1,5 km sørvest for lokalitet 1 på Nygård. Se fig. 6-5. Blotningen av marmorforekomsten befinner seg bak forsamlingshuset på Ranheim. Det er tidligere tatt ut stein til gravstøtter fra stedet, men bruddet er nå delvis fylt igjen.

### 6.6.1 Geologisk beskrivelse

Bergarten er en hvit, middelskornet kalkspatmarmor.

Mineralogi: -kalkspat

Tekstur : Bergarten er granoblastisk og jevnkornet. KalkspatkrySTALLene er tilnærmet euhedrale og har tydelige kryssende spaltesett/tvilling-lameller. Mineralet er fargeløst og har høye interferensfarger. Kornstørrelsen er på 1,4-2,4 mm; gjennomsnittlig 2,0 mm. Korngrensene er tildels suturerte.

I håndstykket ser bergarten grovkornet ut (>3mm kornstørrelse). Den har velformede kalkspatkrySTALLer med høy glans.

Blotningen på 10-15 m viste hele veien en ren, hvit marmor. Det var dype, vertikale sprekker å se nedover i det gamle bruddet. Sprekkene gikk i NV-SØ-retning, og avstanden mellom dem var på rundt 1 m.

Den hvite marmoråren skal i følge lokalkjente gå et godt stykke opp i åsen mot Helldalselva. Det ble sagt at bergarten har vertikal oppsprekking også innover i fjellet. Bergarten ble også sagt å ha vertikal bust (den retning der den kløver vanskeligst). Bustretningen kan dermed stå normalt på den synlige vertikale oppsprekkingsretningen.

Under befaringen var det tilstede folk som kjente til det tidligere marmoruttaket. Marmoren var blitt tatt ut ved å lade og sprengne med svartkrutt og kile ut blokker. Det ble fortalt at den grovkornede marmoren hadde hatt lett for å tape seg når den ble brukt til gravstein; poleringen ble vitret bort.

Vi besøkte kirkegården på Fjelldal, der det fantes flere gravsteiner i hvit marmor, også marmor fra Ranheim. På en stein datert 1927 (trolig satt opp senere) var den polerte flaten glatt og fin. Den riflehamrede flaten var ru, tydelig tørret på av vær og vind, men ikke overgrodd av mose. Ytterflatene på steinen var grovt tilhugget. De var ru og dekket av grått lav og et rødfarget belegg. Andre gravsteiner av hvit marmor hadde fått angrepet polerte flater i større eller mindre grad. Poleringen var dels blitt skjoldet, dels var den tørret vekk.

### 6.6.2 Vurdering av forekomsten

Bergarten har tilsynelatende homogen farge og struktur. De vertikale sprekkeene kan være et dagfjellfenomen. De kan også være en kløvretning i forekomsten. Et eventuelt blokkuttak kan da gjøres med støtte i den naturlige kløven - den blir en åpen flate man kan bryte mot. Forekomsten har ikke verken lagdeling eller strukturer som tyder på foldning.

Det er ikke spor av ertsmineraler som kan gi rustflekking av bergarten.

Ellers bør man merke seg at marmoren som var brukt til gravstøtter bar tydelig preg av å ha stått ute.

## 6.7 Lokalitet 3: Trøsen

Trøsen ligger ved rv. 19, 8-9 km sørvest for tettstedet Even-skjør, i Skånland kommune i Troms. Se fig. 6-5. Lokaliteten er en veiskjæring der det er tatt ut steinmasse til veiformål el.l. Skjæringen er vel 60 m lang, 20 m bred og 5-7 m høy. Langsiden ligger i NV-SØ-retning, rundt 30 m fra riksveien.

### 6.7.1 Geologisk beskrivelse

Bergarten er en flerfarget, fin- til middelskornet kalkspatmarmor. Fargene på bergarten er rød, oransje, gul, grå og hvit. Glimmerlag opptrer i hele skjæringen. Kvarts opptrer som innsluttede partier på opptil  $2 \times 0,3 \text{ m}^2$ .

Mineralogi: rød marmor: -kalkspat  $\text{CaCO}_3$   
 -muskovitt  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$   
 -flogopitt  $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$   
 -opaker

hvit/grå : -kalkspat (se ovenfor)  
 -muskovitt (se ovenfor)  
 -kvarts  $\text{SiO}_2$   
 -flogopitt (se ovenfor)  
 (-dolomitt  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )  
 -opaker

glimmerlag: -kalkspat (se ovenfor)  
 -flogopitt  $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})\text{F}_2$   
 -dolomitt (se ovenfor)  
 -muskovitt (se ovenfor)  
 -kvarts (se ovenfor)  
 (-flogopitt  $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ )  
 -opaker

Tekstur : Teksturen er tilnærmet lik i de ulike delene av marmorlagene. Kalkspat opptrer som anhedrale korn på 0,8-3,0 mm, de største i den røde delen og de minste i glimmerdelen. Mineraliet viser tegn til begynnende omvandling/oppløsning; tvillingmønsteret er utydelig og enkelte steder er kornene fylt av en grumset, mikrokrystallinsk substans. Flogopitt og muskovitt opptrer som svakt fargede til ufargede langprismatiske korn på inntil 1,4 mm i marmor og 2,0 mm i glimmerlag. Kornene er tildels vilkårlig orientert, men opptrer også i lange kjeder, spesielt i glimmerlagene. Kvarts finnes i form av rundede og anhedrale korn på opptil 0,6 mm i kalkspat. Opakene er rundede og anhedrale korn på opptil 0,4 mm spredt i kalkspat og i kjeder med glimmer.

Bildet i fig. 6-6 viser et utsnitt av den 60 m lange NØ-veggen i skjæringen. Det svarte belegget som dekker deler av skjæringen er trolig utfelt fra vann som har rent gjennom jordlaget ovenfor. Belegget er kun en millimeter tykt, og det ser ikke ut til å ha trengt inn i marmoren. Enkelte steder har det grønn farge.



Fig. 6-6. Bilde fra Trøsen som viser rundt halvparten av den 60 m lange marmorskjæringen.

Det meste av marmoren er hvit og grå. Lag med gul, oransje og rødlig farge opptrer innimellom de hvite og grå lagene. De gråhvite lagene er opptil 30-40 cm tykke, mens de fargede er opptil 20 cm tykke. Gjennomsnittlig tykkelse på lagene er imidlertid på 2-5 cm. Glimmerlag opptrer mellom de fleste lagene. De er fra 2 mm og oppover i tykkelse.

Som det går frem av bildet i fig. 6-6 er marmoren foldet i flere retninger. Til venstre på bildet ses foldede lag med foldningsakser (FA) parallelt med skjæringen. Se fig. 6-7 a. Andre steder, som nede til høyre på bildet, ser foldningsaksen ut til å gå normalt på skjæringen. Se fig. 6-7 b.



Fig. 6-7. a) Skisse av foldning med foldningsakse (FA) parallell med veggens bak  
b) Skisse av foldning med foldningsakse normalt på veggens bak (FA er tenkt ut av figuren)

Hovedsaklig går foldningsaksene parallelt med langveggen i skjæringen, dvs. i retning nordvest - sørøst. Målinger gjort på langveggen viser at foldningsaksene er nær horisontale og har en strekretning på rundt 310°. Berggrunnskart Ofoten gradteig M.9 antyder en VNV-ØSØ horisontal foldningsakse for en fargebåndet marmor nord for lokalitet 3. Kartet viser ellers at strøket av foliasjon/lagdeling i marmor går fra en NS-retning i sør ved Ofotfjorden til en mer ØV-retning der marmorsonen krysser Tjeldsundet ved Tjeldsundbrua. Den observerte NV-SØ-retningen som er observert på foldningen ved Trøsen stemmer dermed godt overens med kartets opplysninger.

I det nordlige hjørnet av skjæringen (til venstre på bildet i fig. 6-6) er bergarten mye oppsprukket. Vertikale sprekker går fra overflaten og helt ned til bunnen av skjæringen. Partiene imellom er oppknuste. En liggende foldning er observert. Den er enda et bevis på de store endringene som er skjedd med bergarten siden den ble avsatt og konsolidert til kalkstein.

Den sydøstlige kortveggen i skjæringen er ikke så oppsprukket. Foldningene som ble observert i NV-veggen er ikke å se i SØ-veggen. Her er det følgelig snakk om store lokale variasjoner i bergartens struktur.

Marmoren består av tynne, oppspaltede lag øverst i skjæringen og bredere benker nedover. Dagfjellsonen, dvs. den sonen der fjellet er spesielt mye oppsprukket, er på vel 0,5 m. Sonen er forholdsvis konstant i tykkelse over hele skjæringen.

Marmoråren strekker seg innover bak langveggen i skjæringen. Der er den overdekket med tildels kraftig vegetasjon. 20 m lenger nordvest for skjæringen finnes det fortsatt fargebåndet marmor, foldet og med innesluttete boller av kvarts. Lenger unna blir marmoren ensfarget gråhvit. Sørøst for skjæringen er marmoråren gråhvit av farge.

#### 6.7.2 Vurdering av forekomsten.

Bergarten har heterogen farge og struktur. Foldede glimmerlag kan gjøre det vanskelig å ta ut gode blokker av forekomsten. Fig. 6-6 viser hvordan det har foregått avskallinger langs glimmerlagene; se på restene av foldningene som står igjen.

Bergarten kan ha fått en parallellorientering av bladige eller stenglige mineralkorn ved kompaksjon av sedimentet etterfulgt av metamorfose og foldning. Parallellorienteringen gir bergarten ulike mekaniske egenskaper i ulike retninger. Bergarten vil ofte ha høy strekkfasthet langs planstrukturen og lav strekkfasthet normalt på planstrukturen (Broch, 1983). En slik anisotropi kan føre til ujevne og skjeve oppspaltinger ved sprengning og uttak av blokk.

I neste omgang kan fliser og plater fremstilt av bergarten få klare svakheter, spesielt i punkt normalt på planstrukturen.

Det er uvisst om de opake mineralene kan gi rustflekking av marmoren.

## 6.8 Lokalitet 4: Brokvik

Brokvik ligger ved rv. 83, 2-3 mil sør for Harstad, i Harstad kommune i Troms. Se fig. 6-9. Lokaliteten består av to motstående veiskjæringer langs riksveien. Skjæringene er rundt 100 m lange og 10-15 m høye på det høyeste. Fig. 6-8 viser en forenklet skisse av den østlige delen av lokaliteten.

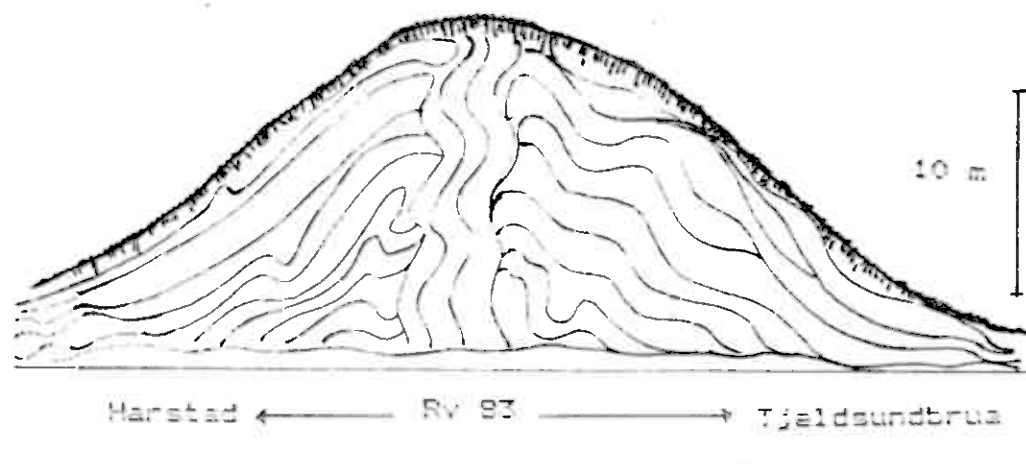


Fig. 6-8. Skisse av østlig del av veiskjæring ved Brokvik.

### 6.8.1 Geologisk beskrivelse

Bergarten i skjæringen er en fargebåndet, fin- til middelskornet kalkspatmarmor. Marmoren er hovedsaklig hvit og grå, med røde, oransje og gule lag innimellom. Glimmer opptrer i hele lag og spredt innenfor marmorlagene.

Mineralogi: farget marmor: -kalkspat (formler: se lok. 3)  
 -muskovitt  
 -flogopitt  
 -kvarts  
 -opaker

glimmerlag : -kalkspat  
 -muskovitt  
 -kvarts  
 -flogopitt  
 -dolomitt  
 -opaker

Tekstur : Kalkspat opptrer i anhedrale korn på opptil 2,0 mm. Mineralet viser tegn på begynnende omvandling/oppløsning (utydelig tvillingmønster og grumsete korn). Muskovitt og flogopitt opptrer som subhedrale tynne nåler, tildels bøyde, på opptil 2,0 mm (de største i glimmerlag). Kvarts finnes i rundede og anhedrale korn på opptil 1,6 mm. Noen korn har inneslutninger av glimmer, mens andre opptrer finfordelt i små sprekker sammen med glimmer. Opakene



Fig. 6-9. Utsnitt av kartblad 1332 III Tjeldsundet 1:50 000

opptrer som aksessoriske, anhedrale korn på opptil 1,0 mm innesluttet i kalkspat og blant glimmerkorn.

Marmorlagene har en tykkelse på opptil 20-30 cm på fargede lag. Glimmerlagene er 4-5 cm tykke. Særlig langs vestsiden av skjæringen kommer en mer ensartet marmorpakke oppå. Den er finkornet og grå/hvit av farge. En svak banding kan observeres.

Marmoråren har vært igjennom flere foldefaser, noe som har gitt seg utslag i foldningsakser i flere retninger. Skjæringen hadde ingen synlige og lett tilgjengelige flater å måle på. Begge sidene av skjæringen er intenst foldet.

Veien er drevet gjennom et høydedrag som faller mot øst. Fargebåndet marmor opptrer utover i begge retninger fra veiskjæringen. På vestsiden av veien, oppover i åsen, er blotninger av farget marmor observert opptil 50 m fra skjæringen. På østsiden av veien faller åsryggen bratt.

#### 6.8.2 Vurdering av forekomsten

Bergarten har heterogen farge og struktur. De omfattende glimmerlagene er foldet i flere retninger og kan gjøre blokkuttak vanskelig. Dette er diskutert i kap. 6.7.2.

Det er uvisst om de opake mineralene inneholder jern som kan løses og gi bergarten rustflekker.

Siden blotningen ligger like ved riksveien, bør uttak av marmor finne sted et stykke unna blotningen. Et egnet sted kan være oppover i dalsiden på vestsiden av veien.

### 6.9 Oppsummering

#### 6.9.1 Diskusjon

-Er de utvalgte lokalitetene representative for hva distriktet rundt Lødingen kan tilby av marmor til bygningsstein?

Det finnes store områder med marmor i form av årer og større massiver i Ofoten. På Hinnøya og langs rv. 19 fra Tjeldsundet mot Ramsund og Evenes er tallrike flerfargede og grå/hvite marmorærer blottet i veiskjæringer.

I løpet av tre uker med feltarbeid skulle det drives både kartlegging og prøvetaking i Anfinnslett steinbrudd og undersøkelse av marmorforekomster i distriktet. Arbeidet med marmor ble i første rekke konsentrert om å finne skjæringspunkt mellom kjente marmorpartier og vei. Det var ikke regnet med noe omfattende feltarbeid i områder langt fra hus og vei. Driftslederen for Lødingen Steinindustri A/S kjente til noen lokaliteter det var ønskelig å få undersøkt, og disse ble valgt. De store avstandene og den korte perioden gjorde at det ikke ble anledning til å finne frem til flere lokaliteter.

Området kan inneholde både flere og bedre kvaliteter av marmor enn de som er undersøkt. For videre arbeid bør det nevnes at skjæringene mellom marmor og vei er svært iøynefallende, og det finnes et stort antall fylkesveier og mindre veier i området å drive kartlegging langs.

-Det ble kun tatt prøver av håndstykkestørrelse fra forekomstene. Under kartleggingen ble det lagt vekt på å vurdere forekomstenes struktur, farge og mineralogi. Variasjoner utover det som er synlig i blotning er ikke tatt med i bedømmelsen av bergartene.

-Bergartenes mekaniske egenskaper er ikke testet.

-Bergartene er ikke testet med hensyn til kjemisk forvitring. Innhold av jern og kismalm kan gi flekker av rust (Borgström, 1957).

#### 6.9.2 Videre undersøkelser

Det bør tas ut blokker fra forekomstene til materialteknisk testing. Egenskaper som trykkfasthet, bøyestrekfasthet, slitasjetall, vannabsorpsjon og varmeutvidelse må testes for å avgjøre hvor sterk steinen er. Bruksområdene til steinen avhenger av hvilke egenskaper den har. Som eksempel nevnes egenskaper og bruksområder til ulike marmorbergarter fra Norge (Stenhåndboken bd 1, 1983) og Polen (Müller, 1980) i tabell 6-1 og 6-2.

Tabell 6-1. Materialdata og bruksområder for norsk marmor (Stenhåndboken bd 1, 1983).

| MATERIALDATA,<br>middelverdier |                      | Norwegian Rose,<br>Fauske | Tundra,<br>Bindal |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|
| egenvekt,                      | kN/m <sup>3</sup>    | 27,0                      | 28,2              |
| trykkfasthet,                  | N/mm <sup>2</sup>    | 115,5                     | 105,5             |
| bøyestrekfasthet,              | N/mm <sup>2</sup>    | 12,5                      | 19,0              |
| slitasjetall,                  | mm/2000 omdr         | 7,0                       | 3,25              |
| varmeutvid. 0-110°C,           | 10 <sup>-6</sup> /°C | 4,0                       | -                 |
| vannabsorpsjon,                | % av vekt            | 0,1                       | 0,17              |
| BRUKSOMRÅDER                   | (Bla Olav,<br>Snåsa) | Norwegian Rose,<br>Fauske | Tundra,<br>Bindal |
| fasader                        | x                    |                           |                   |
| innvendige vegger              | x                    | x                         | x                 |
| gulv                           | x                    | x                         | x                 |
| trapper                        | x                    | x                         | x                 |
| innv. bygn.detaljer            | x                    | x                         | x                 |
| utv. bygn.detaljer             | x                    |                           | x                 |
| utsmykninger                   | x                    | x                         | x                 |
| monumenter                     | x                    |                           |                   |

Tabell 6-2. Materialdata og bruksområder for polsk marmor  
(Müller, 1980).

| MATERIALDATA<br>(1 kp = 9,8 N) | Biala<br>Marianna | Zielona<br>Marianna | Slawniowice |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|-------------|
| råvekt, $\text{kp/dm}^3$       | 2,70-2,75         | 2,70-2,74           | 2,70-2,74   |
| trykkfasthet, $\text{kp/cm}^2$ | 450-700           | 600-1050            | 560-800     |
| nedslitingsfasthet, mm         | 4,0-6,0           | 3,0-5,0             | 5,0-7,0     |
| vannopptak, vekt%              | 0,04-0,17         | 0,04-0,13           | 0,05-0,11   |
| motstand mot frost             | fullkommen        | fullkommen          | fullkommen  |
| maks. blokkomfang, m           | 1,5x1,5x1,0       | 2,5x1,5x1,0         | 2,0x1,0x1,0 |
| maks. plateomfang, m           | 1,3x0,8           | 2,3x1,3             | 1,8x1,0     |
| min. platetykkelse, cm         | 2,0               | 2,0                 | 2,0         |
| BRUKSOMRÅDER                   |                   |                     |             |
| trappetrinn                    | -                 | x                   | -           |
| sterkt frekventerte gulv       | -                 | x                   | -           |
| fasader                        | -                 | x                   | -           |

(- angir data ikke kjent)

Det fremgår av tabellene at de ulike marmortypene har omtrent samme verdier for vannabsorpsjon. Norsk Tundra har høyere egenvekt enn de andre. Blant de polske marmortypene er det kun Zielona Marianna som kan måle seg med de norske i trykkfasthet (merk at 1 kp = 9,8 N). Det må imidlertid understrekes at det kan ha vært brukt ulike metoder ved testing av de mekaniske egenskapene.

Etter materialteknisk testing av bergartene kan testresultatene og slipte/polerte prøver av bergartene legges frem for produsenter og forhandlere av marmor. Spesielt kan folk som er i direkte kontakt med kundene ha bakgrunn for å uttale seg om hvor egnet steinen vil være som bygningsstein.

Dersom en bergart viser seg å være av god kvalitet, og den er et salgbart produkt, bør det gjøres en grundig kartlegging av forekomstens utstrekning. Det bør foretas diamantboring for å se hvor dypt forekomsten strekker seg nedover og innover i fjellet. Ved logging av kjernene vil man kunne studere homogenitet i farge, struktur og tekstur, og se på grad av oppsprekning og forurensninger (innslag av andre bergarter, mineraler som lett forvitrer og vil skjemme en bygningsstein, uønskede fargekvaliteter o.l.).

#### 6.10 Norske marmorbrudd

Marmorbruddene til Ankerske A/S og Koloritt Marmorbrudd på Fauske ble besøkt i høst. Begge bruddene drives på lagdelt, flerfarget marmor.

### 6.10.1 Ankerske A/S, Fauske

Ankerske A/S har i løpet av 100 år tatt ut marmor fra flere brudd og utviklet et omfattende foredlingsanlegg. Bruddet som ble besøkt er vist i fig. 6-10.

Marmorforekomsten har stor utstrekning, og den blir drevet på flere stuffer og i flere brudd. Bergarten er homogen i farge over store områder (metertykke lag). Den har flere fargekombinasjoner: rød/hvit, hvit, grønn, sitrongul, gråblå (Skjetne, 1987, pers. komm.). To av kvalitetene er Norwegian Rose (rød og hvit) og Antique Fonce (hvit) (Stenhandboken bd 1, 1983). Det kan tas ut flere kvaliteter av marmor til enhver tid, alt etter hva markedet vil ha.

Bildet i fig. 6-10 viser litt av størrelsen på bruddet og lagdelingen av marmor. Det øverste laget består av rød og hvit marmor. Blokker fra dette laget ligger i forkant av bildet. Den linseformede strukturen kan såvidt anes på langsiden av blokkene. Under det røde og hvite laget ligger en gråblå marmor. Det er en variant de først nylig har funnet (Skjetne, 1987, pers. komm.).

Marmoren er verken foldet eller oppknust. Kun det øverste partiet av forekomsten, rundt 1/2 m tykt, er så oppsprukket og forvitret at det må fjernes.

Foredlingsanlegget til bedriften produserer fliser og plater av marmor. Blokker på opptil 10 tonn fraktes ned fra bruddet og kappes opp, sages i skiver, slipes, poleres og kuttet. Produktene går bl.a. til Italia.



Fig. 6-10. Bilde fra Ankerske A/S sitt marmorbrudd på Fauske.

### 6.10.2 Koloritt Marmorbrudd, Fauske

Braseth & Sønn driver på en båndet, flerfarget marmor. Bergarten er stripet i rødt, oransje, gult, grått og hvitt. Den regelmessige bandingen i bergarten går frem av bildet i fig. 6-11.



Fig. 6-11. Bilde fra Koloritt Marmorbrudd sitt brudd på Fauske.



Fig. 6-12. Marmorplater fra Koloritt Marmorbrudd, Fauske. Plater saget normalt på (nederst) og langs (øverst) lagdelingen. (T.v. J.H. Andreassen, t.h. Braseth)

Bergartens handelsnavn er Koloritt/Krystalitt.

Glimmerlag opptrer med jevne mellomrom i marmoren. Marmor- og glimmerlagene varierer i tykkelse fra millimeter til desimeter. Lagene ser ut til å være jevntykke over store avstander.

Det oppnås ulike kvaliteter ut fra hvordan marmorblokkene sages opp. Saging parallelt med båndingen og saging normalt på den gir to vidt forskjellige produkter. Fig. 6-12 viser et eksempel på begge sorter.

Braseth & Sønn har et foredlingsanlegg hvor de bl.a. produserer monumentstein. Både marmor og andre bergarter benyttes i produksjonen.

#### 6.10.3 Sammenligning mellom brudd i Fauske og undersøkte lokaliteter i Lødingen-området

Lokalitet 1, Fjelldal - Nygård, har lakserød marmor med innslag av hvitt. Fargen minner om den i platene fra Koloritt Marmorbrudd. Se fig. 6-12. Bergarten er lite oppsprukket, og minner i så måte om marmoren i bruddene på Fauske.

Lokalitet 2, Fjelldal - Ranheim, består av en ren, hvit marmor. Ankerske A/S i Fauske produserer en hvit kvalitet kalt Antique Fonce (Stenhåndboken bd 1, 1983). Antique Fonce har imidlertid innslag av lys rødt og grått i det hvite, og den virker mer finkornet enn marmoren fra Ranheim.

Lokalitet 3, Trøsen, har en foldet, fargebåndet marmor. Fargene minner om fargene i marmorblokken som blir tatt ut på bildet i fig. 6-11. Marmoren i bruddet til Koloritt Marmorbrudd er ikke foldet som den ved Trøsen, men har plane, utholdende lag. I bruddet til Ankerske A/S kan det heller ikke påvises slike grader av folding som Trøsen har.

Lokalitet 4, Brokvik, består av en tilsvarende marmor som den i lokalitet 3, men den er enda mer foldet. Fargene på marmoren svarer til fargene på marmor tatt ut i bruddet til Koloritt Marmorbrudd. En stor forskjell er graden av foldning og oppsprekking ved Brokvik.

De homogene bergartene i lokalitet 1 og 2 faller best ut i sammenligningen. Lokalitet 3 og 4 har for store inhomogeniteter i farge, struktur (oppsprekking, foldning) og mineralogi (kraftige glimmerlag) til å kunne måle seg med Fauske-marmor.

### 6.11 Konklusjon

Det er gjort en foreløbig kartlegging av ulike marmorforekomster i distriktet rundt Lødingen. Fire lokaliteter er prøvetatt og beskrevet. Med vektlegging på farge og struktur og sammenligning med Fauske-marmor ser det ut til at Fjelldal - Nygård og Fjelldal - Ranheim er interessante lokaliteter. Det må imidlertid gjøres flere undersøkelser, deriblant testing av bergartenes mekaniske egenskaper og bestemmelse av forekomstenes utstrekning. Når disse forholdene er avklart kan det vurderes å starte opp drift på forekomsten.

## 7. TESTER FOR NATURSTEIN

### 7.1 Innledning

Som nevnt i kapittel 4 finnes det mange typer tester for naturstein. De materialtekniske testene er viktige for vurdering av bergartenes mekaniske egenskaper og evne mot kjemisk og annen klimamessig nedbryting. I tillegg er det forsket mye, spesielt i utlandet, på hva som skjer med bygningssteinen når den brukes i storbymiljø. Det er utviklet tester for å undersøke forvitringen i løpet av kort tid. Testene omtales gjerne som akselererte klimatester.

### 7.2 Innsamling av tester

Oppgaven gikk ut på å samle inn testemetoder som omhandlet naturstein. Det ble forsøkt flere metoder for å finne ut av hvor oversikten over tester befant seg.

#### Litteratursøk på bibliotek

Det aller første som ble gjort var å oppsøke bibliotekene på NTH og NGU. Det ble funnet noe litteratur om naturstein, bøker fra 1896 og frem til 1970-årene. Et par av bøkene omtalte ASTM- og DIN-standarden, og slik ble det funnet frem til mulige referanser. Biblioteket på NTH (NTUB) hadde både ASTM- og DIN-standarder.

#### Litteratursøk i databaser

Ved Dokumentasjonsavdelingen på NTUB ble det søkt i utenlandske databaser etter artikler som omhandlet naturstein. Søket falt heldig ut og skaffet i løpet av høsten 10 artikler om emnet. Flere av artikkelforfatterne var spesialister på naturstein, og de ble tilskrevet og spurt om de hadde informasjon om testing av naturstein. 4-5 av forfatterne svarte på henvendelsen. En del av stoffet ankom såpass sent at det ikke er blitt gjennomlest.

### 7.3 Standarder og prøvemetoder

#### 7.3.1 Definisjoner

Standarder omfatter testemetoder, definisjoner, anbefalte fremgangsmåter, klassifikasjoner og spesifikasjoner (ASTM, 1978). I følge ASTM skal standarder være formelt tatt opp i stiftelsen. ASTM står for The American Society for Testing and Materials.

Prøvemetoder omfatter testeprosedyrer som brukes i bestemmelse av egenskaper, sammensetning o.l. (ASTM, 1978).

### 7.3.2 Ulike nasjonale standarder

En del land har sine egne standarder. Det er også vanlig å modifisere utenlandske standarder for å danne egne prøvemeter.

Nedenfor følger eksempler på navn på nasjonale standarder. Opplysningene er hentet fra NTUB og Dokumentasjonsavdelingen ved NTUB (ved Hilde Bakken).

|       |                                                                                                                                                                                                                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASTM  | The American Society for Testing and Materials (USA)                                                                                                                                                                    |
| CIB   | Concrete Industry Board<br>el.<br>Conceil International du Bâtiment pour la Recherche, l'Etude, et la Documentation (Rotterdam, Nederland)<br>(International Council for Building Research, Studies, and Documentation) |
| DIN   | Deutsches Institut für Normung (Tyskland)                                                                                                                                                                               |
| NBN   | Nasjonal belgisk standard (Belgia)                                                                                                                                                                                      |
| NBS   | National Bureau of Standards<br>el.<br>New British Standard (Storbritannia)                                                                                                                                             |
| NRC   | National Research Center/Corporation/Council/Committee (uvisst hva som brukes i forb. m. naturstein)                                                                                                                    |
| NS    | Norsk Standard (Norge)                                                                                                                                                                                                  |
| RILEM | Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions<br>(International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)                     |
| VDI   | Verein Deutscher Ingenieure (Tyskland)                                                                                                                                                                                  |

## 7.4 Beskrivelse av materialtekniske tester.

### 7.4.1 Innledning

Stein har vært brukt som bygningsmateriale i århundrer. Mennesket ble tidlig kjent med steinens gode egenskaper - Akropolis i Hellas ble bygget av marmor i det 5. århundre e.Kr. (Gyldendals store konversasjonsleksikon, 1965). Teknikken med platebeklødning ble brukt i middelhavslandene allerede i romertiden (Borgström, 1957).

En av årsakene til at stein er blitt benyttet er åpenbart at det bestandig har vært god tilgang på den. Materialet er bestandig mot råte, vær og vind, og det brenner ikke. Høy trykkfasthet gjør at materialet kan brukes i buer og hvelvede tak. Steinens gode varmeledningsevne er derimot ugunstig for et bygningsmateriale. Naturstein brukes nå mest som beklødningsmateriale, mens den tidligere ble brukt som konstruksjonsmateriale (Borgström, 1957).

Egenskapene som testes ved materialtekniske tester er i hovedsak nevnt i kapittel 4. Her følger en liten oppsummering:

- vannabsorpsjon
- spesifikk vekt (romvekt)
- porositet
- lydhastighet
- trykkfasthet
- bøyestrekfasthet
- induert strekkfasthet (ved punktlasttest)
- elastisitetsmodul (E-modul)
- slitasjeverdi
- svelling
- permeabilitet
- varmeutvidelse

Bygningsstein bør ha liten vannabsorpsjon, fortrinnsvis under 0,5 vekt% (Stenhåndboken, 1983). Lav grad av vannabsorpsjon gir et frostbestandig bygningsmateriale. Av samme grunn bør porositeten være lav. Den angir vannopptaket i volumprosent av bergartsvolumet.

Det som skjer ved steinsprengning på grunn av frostvirkning kan forklares ved følgende: 1) Vann som fryser til is øker sitt volum, 2) Porevann forflyttes vekk fra den fremskridende frosten, 3) Porevann omdannes til bundet vann, 4) Ufrosset vann øker sitt volum ved temperaturer under frysepunktet. I tillegg må det nevnes at en middels porestørrelse på mer enn 5  $\mu\text{m}$  gjør bergarten mer frostbestandig, siden vann da kan dreneres bort fra det frostangrepne området (Winkler, 1973).

Trykkfastheten angir den høyeste påkjenning steinen kan utsettes for uten at det oppstår brudd. Høy trykkfasthet gjør som nevnt tidligere at stein kan brukes i konstruksjon av buer og hvelvede tak. En høy trykkfasthet kan imidlertid aldri utnyttes fullt ut i en konstruksjon. Man vil ha vanskelig for å oppnå en jevn trykkfordeling, og det er alltid en risiko for at materialet har usynlige stikk og sprekker som kan føre til brudd (Borgström, 1957).

Bøyestrekfastheten uttrykker motstanden i et bergartestykke mot bending eller bøyning. Med unntak av leirskifer har all stein lav bøyestrekfasthet. Spenninger som følge av sterk vind og tyngden av store snømengder kan gi bøyepåkjenninger. Eventuelle skjulte feil i materialet vil dermed kunne gi spesielt alvorlige virkninger ved bøyepåkjenninger. Stein bør derfor bare unntaksvis brukes i konstruksjonsdeler som utsettes for bøyning (Borgström, 1957, Winkler, 1973).

Strekfastheten er en svært viktig parameter når man skal estimere en bergarts motstand mot ekspanderende salter og frysende vann (Winkler, 1973).

Elastisitetsmodulen uttrykker bergartens evne til elastisk formforandring.  $E$  er forholdet mellom spanning og tøyning og angis ved uttrykket  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ . Stein har generelt høy  $E$ -modul, det vil si lav elastisitet, og dermed god motstandsevne mot dynamiske påkjenninger. Granitt og syenitt har  $E$ -modul på henholdsvis 2-6 og 6-8  $(\text{kg/cm}^2) \times 10^5$  (Borgström, 1957, Winkler, 1973).

Krypning defineres som en tidsmessig deformasjon av en bergarts-

substans som utsettes for konstante spenningsforhold. Verdiene for krypning er influert av bergartens E-modul; krypningen er høy i ikke-elastiske bergarter.

Lengdeutvidelse kan forekomme ved oppvarming og ved vannabsorpsjon. Termisk utvidelse er spesielt viktig å ta hensyn til i områder der steinen er utsatt for raske temperatursvingninger i daglige varmesykluser.

-Kvarts kan som nevnt tidligere produsere et ekspansjons-trykk på  $545 \text{ kg/cm}^2$  ved  $40^\circ\text{C}$  oppvarming, og denne temperaturforskjellen kan man få i ørken- eller byklima.

-Skade på granitt har forekommet som følge av opphetting-avkjøling-sykluser. Skadene er vanligvis observert der opphetting og avkjøling var kombinert med fuktighetsutvidelser.

-Kalkspat i marmor med utpreget krystallorientering ekspanderer parallelt med krystallens C-akse og trekker seg sammen normalt på den. Dette skjer selv ved temperaturer under  $100^\circ\text{C}$ . Kalkstein er likevel bare halvparten så ekspansiv som dolomitt ved temperaturer fra  $-20^\circ\text{C}$  til  $20^\circ\text{C}$  (Winkler, 1973).

Lengdeutvidelse ved vannabsorpsjon skjer ved at absorbert vann fører til volumutvidelse av steinen. Utvidelsen er relativt stor hos kalkstein. Den merkes spesielt godt når tynne plater fuktes på den ene siden ved at materialet blir krokete. Dersom det er mulig, tar materialet tilbake sin form når det tørker ut (Borgström, 1957).

Varmeledningsevnen eller den termiske ledningsevnen reflekterer isoleringsevnen til en stein, og er en viktig egenskap for stein som skal brukes til bygningsmateriale. Stein har dårlig varmeisoleringssevne. Eksempler: Granitt 4-8, basalt 3-7, marmor 5-6 ( $\text{cal cm}/(\text{s cm}^2 ^\circ\text{C})$ ). Luft og vann har til sammenligning verdier på henholdsvis 0,0057 og 0,0072 (Borgström 1957, Winkler, 1973).

#### 7.4.2 Beskrivelse av testemetoder

##### Vannabsorpsjon

ASTM C97-83: Absorption and Bulk Specific Gravity of Natural Building Stone

Prøvestykkene kan ha form av kuber, prizmer, sylindere el.l. Minste dimensjon kan være 2 tommer (50,8 mm), største dimensjon 3 tommer (76,2 mm). Forholdet volum:overflateareal skal være fra 0,3 til 0,5 tommer. Prøvene skal ha glatt overflate.

Prøvene tørkes først i ventilert ovn ved 105±2°C. De avkjøles i 30 min i romtemperatur og veies til nærmeste 0,02 g (A). Deretter senkes prøvene ned i filtrert/destillert vann ved 20±5°C i 48 timer. Prøvene tas ut en og en, tørkes med fuktig håndkle og veies på nytt (B).

$$\text{Vannabsorpsjon i vekt\%} = ((B-A)/A) \times 100.$$

DIN 52103: Bestimmung der Wasseraufnahme

Det benyttes prøver på 350 g og med mest mulig sammentrengt form. Vannopptaket kan måles på tre måter: under atmosfæretrykk (vekt  $m_{w,a}$ ), under 150 bar trykk etter utlufting av prøven under vann (vekt  $m_{w,d}$ ), og under 150 bar trykk etter utlufting av tørket prøve under tørking (vekt  $m_{w,t}$ ). Fremgangsmåten er omtrent som beskrevet over. Vekt av tørket prøve  $m_t$  bestemmes til slutt etter tørking i varmeskap og avkjøling i romtemperatur. Formlene varierer for hver fremgangsmåte. Det vises til standarden.

NBI: Vannabsorpsjon (etter ASTM C97-47 og DIN 52103)

Det benyttes sylindere, terninger el.l. med vekt 150-350 g. Antall prøvestykker er 5.

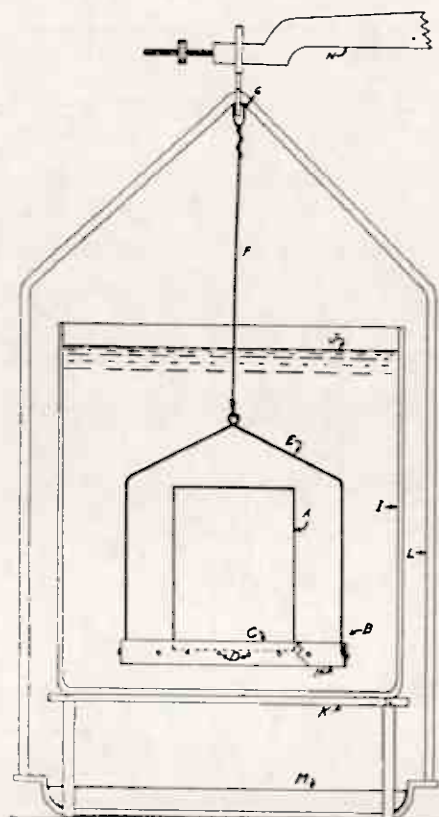
Prøvene tørkes 24 timer i varmeskap ved 105±2°C. De avkjøles i 30 min, og veies  $M_t$ . Deretter senkes prøvene ned i filtrert/destillert vann ved 20±5°C i 48 timer. Prøvene tas opp, tørkes med fuktig klut, og veies  $M_v$ . Vannabsorpsjonen  $W_v$  beregnes slik:

$$W_v = \frac{M_v - M_t}{M_t} \times 100 \%$$

##### Tetthet/romvekt

ASTM C97-83: Absorption and Bulk Specific Gravity of Natural Building Stone

Det benyttes samme prøver som under bestemmelse av vannabsorpsjon. De vannmettede prøvene veies i filtrert/destillert vann rett etter at vannabsorpsjonen er testet. Vekten av neddykket prøve finnes som differansen mellom vekt av nedsenket veieglass med bare vann og med vann og prøvestykke. Se fig. 7-1.



A—Specimen.  
 B—Suspension basket.  
 C—Brass ring.  
 D—Bottom of basket of No. 13 B & S gage (1.83 mm) brass wire (all joints soldered).  
 E—Bail of basket of No. 13 B & S gage (1.83 mm) brass wire.  
 F—Suspension wire of No. 20 B & S gage (0.812 mm) brass wire.  
 G—Loop for attachment to stirrup of balance.

H—Cutaway section of basket.  
 I—Water jar.  
 J—Water level.  
 K—Water jar support.  
 L—Balance pan suspension rod.  
 M—Balance pan.  
 N—Beam of balance.

Fig. 7-1. Veiling av prøvestykke neddykket i vann (ASTM C97-83)

Dersom vannabsorpsjonen ikke er testet på forhånd, bestemmes først tørrvekt (A) ved tørking (som nevnt under vannabsorpsjon). Prøvene senkes ned i filtrert/destillert vann ved  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  i minst en time eller til luftbobler ikke dannes på flaten i løpet av en 5 min periode. Prøvene tas opp, tørkes med fuktet håndkle og veies (B). Deretter tas prøvene tilbake i vannbadet. Vekten av prøven i vann (C) bestemmes før prøvene har vært i vannet i mer enn 5 min.

$$\text{Romvekt} = A / (B - C)$$

#### DIN 52102: Bestimmung der Dichte

Det kan benyttes regelmessige eller uregelmessige steinprøver. På geometrisk enkle prøver skal det være minst 40 mm lange kanter. Uregelmessige prøver skal ha et volum på minst  $50 \text{ cm}^3$ . Det trengs minst 3 prøver.

Ved bestemmelse av ratetthet (Rohdichte) tørkes prøvene først i varmeskap ved  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  inntil konstant vekt (maks 0,1 % endring i løpet av en 24 timers periode). Prøvene avkjøles i romtemperatur. Man bruker den siste vekten som ble funnet ved kontrollmåling av

om bergarten hadde fått konstant vekt. Volumet  $V_r$  av prøvestykket bestemmes ved geometrisk beregning, ved måling av oppdrift el.l.

$$\rho_r = m/V_r$$

Ved bestemmelse av nettotetthet (Reindichte) bruker man en 2 kg prøve av bergarten. Prøven knuses/males ned til -10 mm, og en fjerdedel splittes ut. De 500 g knuses/males ned til -0,2 mm. En fjerdedel, 125 g, av materialet males ned til -0,063 mm.

Materialet tørkes inntil konstant vekt (se over). Et pyknometer fylles 1/4 - 1/2 fullt med luftfritt, kokt, destillert vann (evt. annen fluid om nødvendig). Pyknometeret veies. Temperaturen skal være litt under romtemperatur. 10 cm<sup>3</sup> has oppi, og pyknometeret veies. Temperaturen skal holdes konstant. Differansen mellom vekt av pyknometer med vann og pyknometer med vann og bergart settes lik E. For å fjerne luftblærer settes pyknometeret i vakuum, f.eks. i en eksikator. Pyknometeret fylles nesten til randen. Det skal stå i ro, f.eks. over natten, til materialet har lagt seg fullstendig på bunnen i pyknometeret. Deretter fylles det forsiktig opp med væske til randen. Glasstopp settes på og overflatevæske på glasset fjernes.

Pyknometeret settes under termostad. Det varmes til  $2 \pm 0,2^\circ\text{C}$  over romtemperatur, og dette defineres som prøvetemperatur. Væske vil trenge ut av korken på pyknometeret, og når det tar slutt, har innholdet nådd prøvetemperaturen. Tørket pyknometer veies til  $m_1$ . Pyknometeret tømmes og rengjøres, væske has i, det settes under termostad og veies  $m_2$ . Til beregning av nettotettheten brukes vekten E (se over), tettheten til benyttet fluid ved prøvetemperatur  $\rho_F$ ,  $m_1$  og  $m_2$ :

$$\rho_0 = \frac{E \cdot \rho_F}{m_2 + E - m_1}$$

Samtidig beregnes tetthetsgrad d og totalporøsitet p:

$$d = \rho_r / \rho_0$$

$$p = (1 - \rho_r / \rho_0) 100 \% = (1 - d) 100 \%$$

NBI: Romvekt (etter C97-47 og DIN 52102)

Testen utføres som en fortsettelse av vannabsorpsjonstesten.  $M_t$  og  $M_v$  forutsettes kjent. Rett etter at  $M_v$  er funnet, veies prøvestykket helt neddykket i vann  $M_{ned}$  med en hydrostatisk vekt. Differansen ( $M_v - M_{ned}$ ) gir volumet av prøvestykket med porer. Romvekten beregnes slik:

$$\rho = \frac{M_t}{V} = \frac{M_t}{M_v - M_{ned}}$$

### Porøsitet

NBI: Porøsitet (modifisert DIN 52103, 52102)

Det benyttes prismar, terninger eller sylindrer som prøvestykker. De må ha et volum på minst 50 cm<sup>3</sup>. Det trengs 5 prøvestykker.

Prøvene tørkes i varmeskap ved 105±2°C. Deretter avkjøles de i 30 min og veies  $M_t$ . Volumet  $V_t$  måles med mikrometer. Prøvestykkene legges i vann ved atmosfæretrykk i 2 timer. Så legges de i en trykkgryte med destillert vann, og trykket økes til 150 kp/cm<sup>2</sup> inntil prøvene er fullstendig nettet. Etter 24 timer tas prøvene ut, tørkes med fuktig klut, og veies  $M_{v,t}$ . Vanntapet, differansen ( $M_{v,t} - M_t$ ) gir porevolumet  $V_p$ . Porøsiteten beregnes slik:

$$P = \frac{V_p}{V_t} = \frac{M_{v,t} - M_t}{V_t} \times 100 \%$$

### Svelling

NBI: Svelling (egen metode)

Det benyttes prøver med form som prismar, terninger eller sylindere, med et volum på minst 50 cm<sup>3</sup>. Det trengs 5 prøvestykker.

Prøvene tørkes i 24 timer i varmeskap ved 105±2°C. De avkjøles til romtemperatur, og volumet  $V_t$  måles med mikrometer med 1/100 skala. Prøvene tas i en trykkgryte med destillert vann, og trykket økes til 150 kp/cm<sup>2</sup>. Etter 24 timer tas prøvene ut, tørkes med fuktig klut og volumet  $V_v$  måles. Svellingen  $S$  beregnes slik:

$$S = \frac{V_v - V_t}{V_t} \times 100 \%$$

### Bøystrekkfasthet

ASTM C99-85: Modulus of Rupture of Natural Building Stone

Det benyttes prøver på 4 x 8 x 2 1/4 tomme (101,6 x 203,2 x 57,2 mm). Det trengs 5 prøver for hver kløvretning og for hver våt/tør tilstand som skal måles. Tørre prøver skal tørkes i 24 timer ved 105±2°C. Våte prøver skal neddykkes 48 timer i vann ved 25±5°C. Prøvestykkene legges på egger som vist i figur 7-2. Alle eggene skal være parallelle under forsøket. Pålastningen er maksimalt 4450 N/min inntil brudd. Bøystrekkfastheten  $R$  beregnes ut fra bruddlast ( $N$ ), spennvidde mellom eggene ( $mm$ ), bredde  $b$  ( $mm$ ) og høyde  $h$  ( $mm$ ) på prøvestykket:

$$R = 3W/2bd^2$$

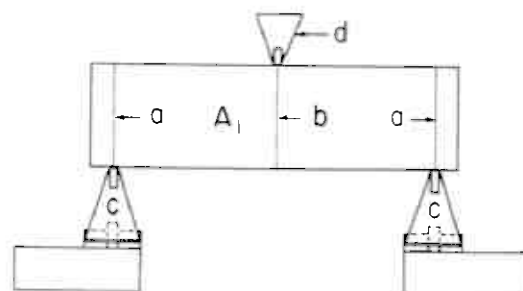


Fig. 7-2. Opplagring av prøvestykke ved måling av bøyestrekfasthet (ASTM C99-85, 1985)

DIN 52112: Biegeversuch

Det kan benyttes prøver av kvadratiske tverrsnitt, uregelmessige prøvestykker og plateformede skiferprøver. Kvadratiske: kantlengde 50 mm, lengde 300 mm, uregelmessige: 100 mm, 600 mm, skifer: 200 x 100 mm. Prøvestykkene testes i lufttørket tilstand. Det trengs 5 prøvestykker. Prøvestykkene pålastes av en eller to kniveggformede laster normalt på prøvelengden. Pålastingen skal være jevn - 0,2 N/mm<sup>2</sup> per sekund inntil brudd. Bruddlasten leses av i kN.

$$\sigma_{bb} = \frac{3}{2} \frac{1000 F_{maks} l_n}{bh^2}$$

NBI: Bøyestrekfasthet (etter ASTM C99-52 og DIN 52112)

Det benyttes prøvestykker formet som staver på 5 x 5 x 20 cm. Flatene skal være parallelle. Det måles på tørre prøver (24 timer i varmeskap ved 105±2°C). Måten prøvene lagres opp på ses av fig. 7-2. Pålastningen er på 500 kp per min inntil brudd. Bøyestrekfastheten  $\sigma_{bb}$  beregnes ut fra bruddlasten  $P_{maks}$ , spennvidden  $L_n$ , høyden  $H$  og bredden  $B$ :

$$\sigma_b = \frac{3P_{maks} L_n}{2BH^2}$$

Trykkfasthet

ASTM C170-85: Compressive Strength of Natural Building Stone

Prøvene kan ha form som kuber, firkantede prismer eller sylindre. Diameter eller lateral dimensjon må være minst 2 tommer (50,8 mm). Forholdet høyde:diameter må være minst 1:1.

Prøven sentreres i maskinen og påføres startlast. Se fig. 7-3. Pålastningen skal være maksimalt 690 kPa/s eller 0,05 tommer (1,3 mm) per min. Trykkfastheten  $C$  beregnes som forholdet mellom bruddlast  $W$  og pålastet areal  $A$ :

$$C = W/A$$

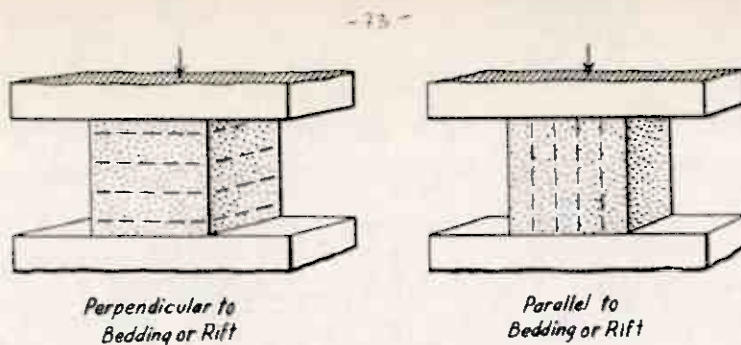


Fig. 7-3. Skisse fra trykkfasthetsforsøk (ASTM C170-85)

DIN 52105: Druckversuch

Det kan benyttes terninger, sylindere eller uregelmessig formede steinprøver. Terninger: kantlengde 50 mm, sylindere: diameter = høyde = 50 mm, uregelmessige prøvestykker: 100 mm lengder. Det trengs 5 prøvestykker. Prøvene skal testes lufttørkede. Det brukes en trykkprøvemaskin, og prøvestykkene sentreres ved innsetting. Trykkflatene må være rene og ufettede. Pålastningen skal være regelmessig og gi brudd i løpet av 60-90 sekunder.

$$\sigma_{d8} = P_{max} / A_0$$

NBI: Trykkfasthet (etter ASTM C170-50 og DIN 52105)

Prøvene kan ha form som terninger på 50 x 50 x 50 mm eller som sylindre med diameter 50 mm og høyde 50 mm. Det trengs 5 prøvestykker. Det måles vinkelrett på eller parallelt med lagdelingen. Prøvestykket settes i maskinen, pålastning settes i gang, og bruddlasten  $P_{max}$  leses av. Trykkfastheten  $\sigma_T$  beregnes ved bruk av målt trykkflate  $A_0$  og bruddlasten:

$$\sigma_T = \frac{P_{max}}{A_0}$$

Blant andre materialtekniske tester som utføres ved NBI kan nevnes slitastyrke, permeabilitet, varmetvidelse og elastisitetssmodul.

#### 7.4.3 Forskjeller ved nasjonale standarder

Det vil her trekkes sammenligninger mellom de omtalte og beskrevne standardene ASTM, DIN og NBI for å se på eventuelle ulikheter.

Prinsippene for utføringen av forsøkene er stort sett like.

Ved krav til prøvestykkenes form er både ASTM- og DIN-standardene fleksible. Det kan brukes både strengt geometriske former og helt uregelmessige prøvestykker. NBI har på sin side helt klare krav til hvordan prøvestykkene skal være utformet.

Underveis i forsøkene er det en liten forskjell med hensyn til temperatur i varmeskap under tørking av prøvene. DIN opererer med  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , mens ASTM og NBI brukes  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Ved måling av tetthet bruker DIN-standarden flere metoder for beregning av ulike tettheter. ASTM og NBI viser kun til én fremgangsmåte og én sort tetthet.

DIN-standardene bruker i flere av testene begrepet konstant vekt. I løpet av en periode på 24 timer skulle endringen i vekt ikke være på mer enn 0,1 % for at forsøket kunne fortsette. En slik nøyaktighet finner jeg ikke hos verken ASTM eller NBI i test-beskrivelsene.

#### 7.4.4 Konklusjon

Standardene som er beskrevet er kun ASTM, DIN og NBI (NBI bruker andre standarder og egne metoder, men tas likevel med i sammenligningen). Testene utføres i hovedsak likt, men det eksisterer enkelte mindre ulikheter. Testemetodene kan være justert etter hva de enkelte institusjoner synes det er hensiktsmessig å arbeide med.

Sammenligningen viser at man ikke uten videre kan bruke verdier fra ulike tester om hverandre.

## 8. TESTER FOR BESTEMMELSE AV LANGTIDSFORVITRING AV NATURSTEIN I STOREMILJØ

### 8.1 Innledning

Det har vært vanskelig å skaffe stoff til dette emnet. Noen av personene som ble tilskrevet i forbindelse med innsamlingen av standarder har bidratt med tester, men det meste av materialet ankom for sent til å bli gjennomarbeidet i oppgaven. Alt innkommet materiale om standarder og tester er imidlertid overlatt til dr.ing. Terje Malvik ved SINTEF- Avdeling for Bergteknikk.

I Tyskland og Sveits ser det ut til å ha blitt arbeidet med klimaforvitring av bygningsstein i flere tiår. Forløpere til tester er omtalt i bøker skrevet før århundreskiftet. Det fremgår videre av det tilsendte materialet at forskningen er i full gang også i dag.

### 8.2 Forvitring

Det opereres med flere typer forvitring, bl.a. mekanisk og kjemisk. Forvitring forårsaket av klimaforhold gir seg utslag i både mekaniske og kjemiske skader på bygningsstein.

Temperatursvingninger fører ofte til gjentatt frysing og tining i steinen. Vann som fryser til is og ufrosset vann under frysepunktet vil gi en utvidelse av volum, og bergarten kan sprenge i stykker (Winkler, 1973). I første omgang dannes det sprekker og riss der forvittringskreftene får enda bedre tak.

Vinden kan komme med så stor styrke at plater av stein kan brette tvers av. Det samme kan skje dersom tunge lass av snø blir liggende oppå steinplater (Winkler, 1973).

Planter kan også sprengte steinen i stykker dersom rotsystemet får utvikle seg innover i sprekker. Røtter kan utvikle store ekspansjonstrykk (Müller, 1973).

Materialene kan også ganske enkelt utmattes gjennom gjentatte temperatursvingninger sommer og vinter, natt og dag, i kjølige og i varme værslag og i klart og i skyet vær (Müller, 1973).

Videre er det store krefter i hardtslående regnvann. Mineralkorn kan slås løs fra bergarten, og polering kan skades.

Av de kjemiske forvittringsfaktorene er forurenset regnvann av stor betydning. Forurenset luft gir fra seg skadelige bestanddeler til regn og tåke. Forurenset fuktighet som blir liggende på bergartsflater kan gjøre dype ødeleggelser på steinen (Winkler, 1973). Oppløst i vann og luft finnes bl.a. aggressiver som syrer, baser og salter. Om temperaturen i et utsatt område i tillegg er høy, vil reaksjonene mellom aggressiver og bergart gå fortere.

Vann kan i seg selv virke løsende, selv uten noen form for kjemiske stoffer innblandet. Kalkstein, dolomitt og gips kan lett løses bort av rent vann. Om vannet i tillegg er varmt, øker reaksjonshastigheten (Müller, 1973).

Kjemiske syrer fra dyr og planter, f.eks. humussyrer, kan virke ødeleggende på bygningsstein og annen stein (Müller, 1973). Syrer reagerer spesielt med sulfater og karbonater og løser slike

forbindelser opp.

Den kjemiske forvitringen er det mest virksomme verktøy i forbindelse med ødeleggelse av stein. Karbonater og sulfater løses opp og forsvinner helt, mens silikater rekrystalliserer til en mer stabil form. Misfarging og oppmyking av kanter følges av korrosjon og gropdanning og smuldring av steinoverflaten (Winkler, 1973).

Stein utsatt for forurenset atmosfære kan vise tidlige tegn på begynnende forvitring ved misfarging, tap av glans og nedsatt hardhet hos feltspat- og Fe-Mg-silikater (Winkler, 1973).

### 8.3 Klima i storbyer

Det er store forskjeller på klimaforhold i storbyer og i uberørte områder. En kjemisk analyse gjort for flere år siden viste at regnvann i bymiljø hadde høye konsentrasjoner av sulfat, klorid, kalsium, magnesium, natrium og nitrat. I områder med høyt innhold av karbon- og svovelsyre i luften vil regnvannet bli svært surt og dermed ekstremt korrosivt overfor stein og metaller (Winkler, 1973).

Winkler (1973) har foretatt en sammenligning av et typisk byklima og et typisk landlig klima. Temperaturen var høyest i byen pga. flere ganger lysrefleksjon og tallrike varmekilder, til tross for 15 % reduksjon i solstråling.

Solstrålingen var redusert i byen på grunn av mer skyethet, røyk, smog og industrielt støv. Tørkingen av utendørs steinflater ble redusert som følge av redusert mengde sollys.

Tåke opptrådte langt oftere i bymiljø enn i landlige miljø. Tåke utvikles når atmosfæren rekke duggpunktet på 100 % relativ fuktighet. De ørsmå dråpene av tåke kan forbli suspendert i atmosfæren i mange timer, suge opp forurensninger og avsette dem på steinflater.

Totalt sett faller byområdene dårlig ut siden mer fuktighet er tilført uten at det er mulighet til å tørke den opp.

### 8.4 Beskrivelse av tester

#### 8.4.1 NBI's klimatest

Det er bygget opp et klimatestanlegg hos Norges Byggforskningsinstitutt i Trondheim.

Testen er omtalt under kap. 4.4.

#### 8.4.2 Måling av lysreflektans

Lysreflektans kan måles på polerte flater for å se på eventuell reduksjon i glans etter klimaforvitring.

Testen er omtalt under kap. 4.3.

#### 8.4.3 Stenkontorets klimatest

Stenkontoret (nå: SIL- Stenindustriens Landssammenslutning A/S) har i samarbeid med Sentralinstituttet for Industriell forskning og geologisk og biologisk institutt ved Universitetet i Oslo satt i gang et 25 år langt klimaforsøk. Polerte plater av 6 typer norsk bygningsstein er satt ut i fem ulike klimatyper. Prøvene er undersøkt med jevne mellomrom.

Undersøkellesmetoder:

- binokular på prøven
- lysmikroskop på snitt av prøven
- elektronmikroskopi av prøver med polert overflate

I tillegg er det benyttet fotografier av prøvene og av egenartede strukturer i prøvene.

Prøvene er bedømt ut fra endringer i mineralogi, oppsprekkingsmønster og total mengde angrepet areal.

Det er funnet at kalkspat, nefelin og noe kis forvitrer ved oppløsning i vann og havvann. Glimmer er også til en stor del angrepet, men her kan fysiske krefter som slagregn ha revet bort korn istedenfor at de er blitt løst opp.

Bergartene utplassert i områder med sjøsprøyt og sterk vind var mest angrepet av forvitring. Bergarter utplassert i tørt innlandsklima viste små tegn til forvitring.

#### 8.4.4 Andre tester

Blant DIN-standardene finnes det flere tester som kan brukes til å se på langtidsforvitring av stein.

DIN 50018 tar for seg korrosjonsprøving i forbindelse med kondensvann-vekselklima med svovelholdig atmosfære.

DIN 52104 behandler fryse-tine-forsøk kjørt på naturstein.

DIN 52106 omtaler ulike bedømmelsesgrunnlag for forvittringsbestandighet.

DIN 52111 beskriver krystallisasjonsforsøk med natriumsulfat. Det samme gjør VDI 3797.

Statens Provningsanstalt i Sverige har på samme måte en enkel metode for testing om jernholdige mineraler i en bergart kan gi rustflekking (Borgström, 1957).

## 8.5 Konklusjon

Ut fra de få testene som er omtalt i oppgaven er det vanskelig å fremheve noen spesielt. NBI's klimatest omfatter testing av fire ulike klimatyper. Det kan imidlertid være gunstig å kombinere flere tester ved prøving av naturstein mot forvitring i storbyklima.

Det er ikke tvil om at det finnes mye materiale om klimatesting og annen testing av naturstein. Min vanskelighet i behandlingen av emnet var at jeg ikke fikk tak i metodene tidnok til å gi dem en grundig behandling i oppgaven. Som nevnt under innledningen har dr. ing. Terje Malvik fått alt materialet som er samlet inn i løpet av diplomtiden, og der finnes det mye nytt og interessant.

## 9. KONKLUSJON

Etter at arbeidet er avsluttet, ser jeg at det er mye å ta fatt på for andre som vil arbeide med naturstein. Prøvematerialet som kom tilsendt fra Tyskland og Sveits ankom først mot slutten av diplomperioden, så mye av det er ikke bearbeidet.

En rask gjennomlesing har vist at brevene inneholder flere forslag til klimatester, oppsummering av standarder for testing av bygningsstein, forslag til forbedringer av standarder og en del annet. Materialet er absolutt aktuelt dersom man ønsker å samle informasjon med henblikk på å utvikle et eget klimatest-laboratorium. I tillegg inneholder brevene navn og adresser til personer som arbeider midt i naturstein-miljøet i Europa.

Lødingen-monzonitten har kommet bra ut av alle tester. Etter testeresultatene å domme egner steinen seg svært godt både som bygningsstein og som tilslag til veimateriale.

Marmorforekomstene i distriktet øst for Lødingen er analysert og vurdert. Fjelldal-Nygård (rød marmor) og Fjelldal-Ranheim (hvit marmor) ser begge ut til å kunne tas ut til bygningsstein. Dersom fremtidige testeresultater ser bra ut, er det bare markedet som avgjør "skal - skal ikke".

Testene som er beskrevet i oppgaven er aktuelle ved testing av stein til flere typer formål.

## 10. BIBLIOGRAFI

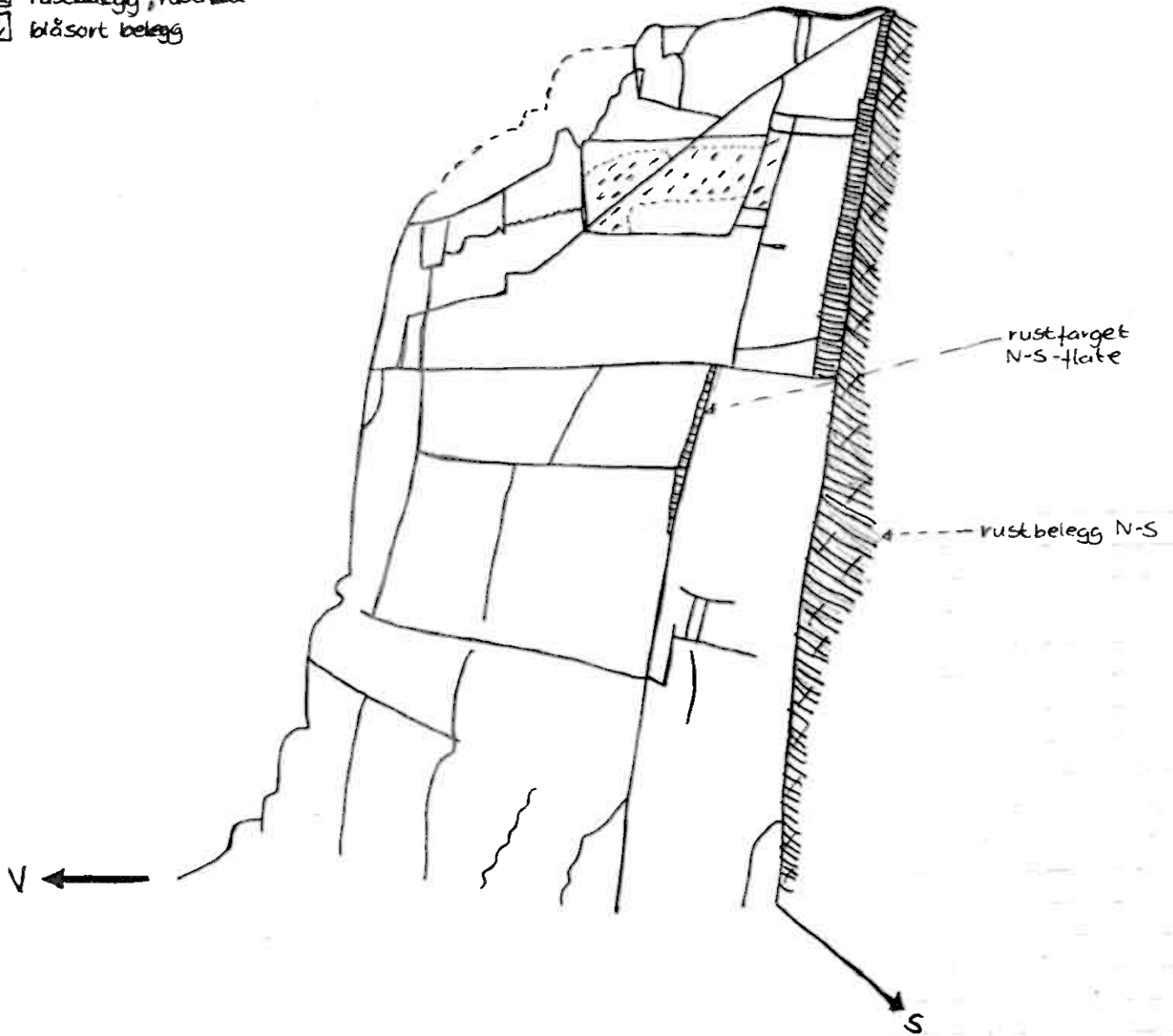
- ASTM C97-83, 1983: Absorption and Bulk Specific Gravity of Natural Building Stone. I: Annual Book of ASTM Standards, vol 04.08, 1987, 3ss
- ASTM C99-85, 1985a: Modulus of Rupture of Natural Building Stone. I: Annual Book of ASTM Standards, vol 04.08, 1987, 3ss
- ASTM C119-86, 1985b: Compressive Strength of Natural Building Stone
- BORGSTRÖM, H., 1957: Stenhandboken - en handbok för arkitekter och byggnadstekniker. Institutionen för Materialbehandling med Formlära vid Kungliga Tekniska Högskolan och Sveriges Stenindustriförbund, 108ss
- BROCH, E., 1983: Fjelllets borbarhet og sprengbarhet. I: Selmer-Olsen, R. og Broch, E.: Foreløbig kompendium for fag nr. 215 15 Ingeniørgeologi - fjell. Geol. Inst., NTH 1983, nr. 2, 28ss
- BROCH, E., 1985: Bergarters og fjellmassers materialtekniske egenskaper. I: Selmer-Olsen, R. og Broch, E.: Foreløbig kompendium for fag nr. 215 15 Ingeniørgeologi - fjell. Geol. Inst., NTH 1983, nr. 1, 64ss
- DIN 52105, 1965a: Druckversuch, 1s
- DIN 52102, 1965b: Bestimmung der Dichte, 3ss
- DIN 52103, 1972a: Bestimmung der Wasseraufnahme, 2ss
- DIN 52106, 1972b: Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit, 6ss
- DIN 52111, 1976: Kristallisationsversuch, 2ss
- DIN 50018, 1978: Beanspruchung im Kondenswasser-Wechselklima mit schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre, 4ss
- DIN 52104, 1982: Frost-Tau-Wechsel-Versuch, Teil 1, 6ss
- DIN 52104, 1982: Frost-Tau-Wechsel-Versuch, Teil 2, 2ss
- DIN 52105, 1985a: Druckversuch, 4ss
- DIN 52112, 1985b: Biegeversuch, 7ss
- GUSTAVSON, M., 1973: Berggrunnskart 1:100 000 Ofoten gradteig M.9. Nor. geol. unders.
- GUSTAVSON, M., 1974: Beskrivelse til geologisk kart over Norge 1:250 000, Narvik. Nor. geol. unders.
- GYLDENDALS STORE KONVERSASJONSLEKSIKON, bd 1, 1965
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1974a: Differentialtermisk analyse. Geol. Inst., NTH, Trondheim, 6ss

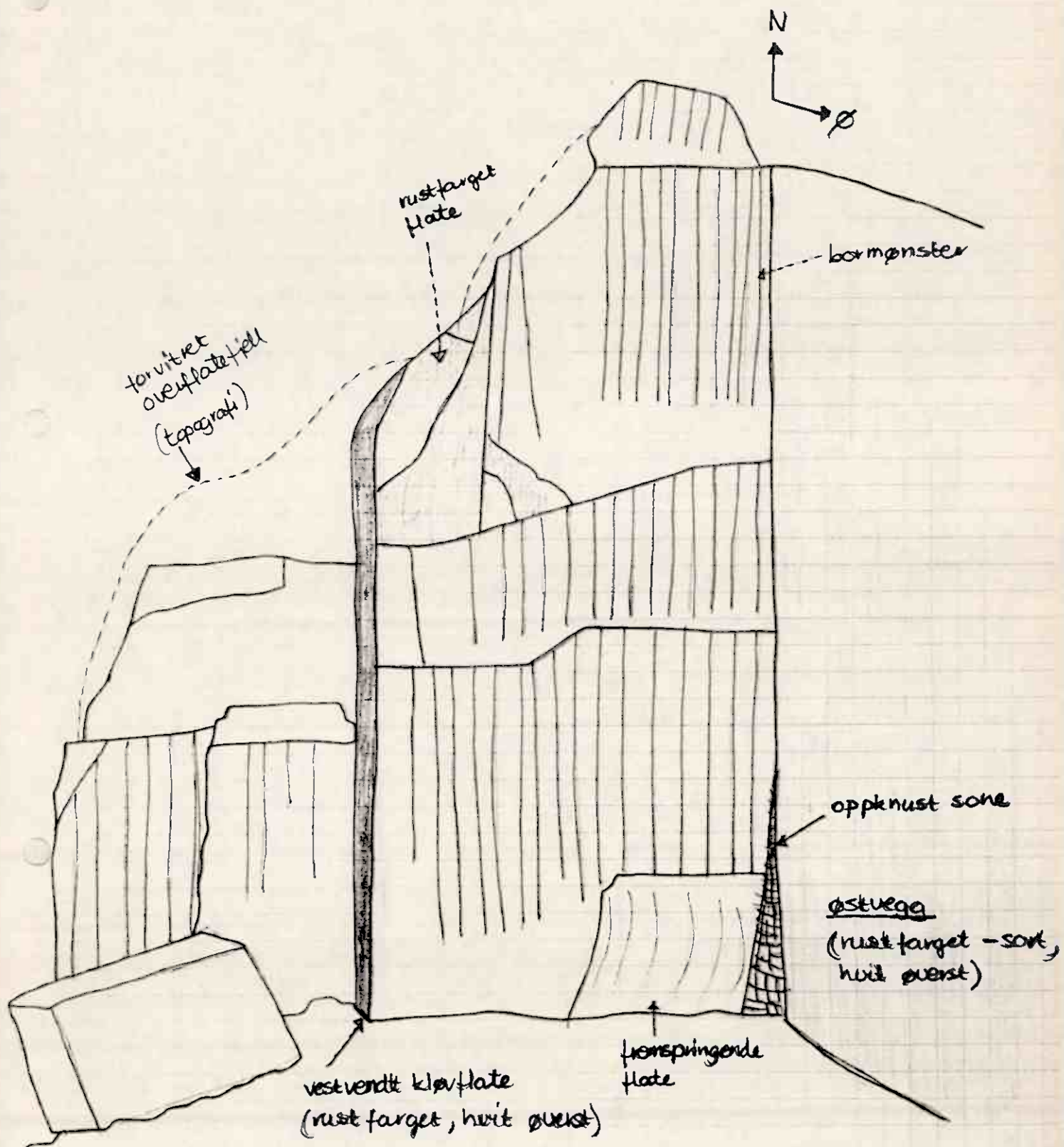
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1974b: Strekkfasthet ved punktlasttest. Geol. Inst., NTH, Trondheim, 8ss
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1978a: Fallprøven (flisighetstall og sprøhetstall). Geol. Inst., NTH, Trondheim, 7ss
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1978b: Lydhastighet. Geol. Inst., NTH, Trondheim, 6ss
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1978c: Sievers J-verdi. Geol. Inst., NTH, Trondheim, 4ss
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1982: Densitet. Geol. Inst., NTH, Trondheim, 2ss
- INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM, 1985: Slitasjeverdierne AV og AVS. Geol. Inst., NTH, Trondheim, 6ss
- INSTITUTT FOR ANLEGGSDRIFT, 1979: Borbarhet. Katalog over borbarhetsindekser. Prosjektrapport 8-79, Inst. for anleggsdrift og Geol. Inst., NTH, Trondheim
- MALM, O.A. & ORMAASEN, D.E., 1978: Mangerite-charnockite Intrusives in the Lofoten-Vesterålen Area, North Norway: Petrography, Chemistry and Petrology. I: Nor. geol. unders. 338, ss83-114
- MÜLLER, F., 1980: Naturstein aus Polen. Folge 1. Gesteinskunde. Naturstein, vol 35, nr 3, ss 213-219
- MÜLLER, F., 19 : Internationale Naturstein Kartei. Ebner Verlag Ulm, Ulm/Donau, bd 1, 275ss
- MYRVANG, A., 1987: Kompendium i Bergmekanikk. Inst. for gruve-drift, NTH, Trondheim, 255ss
- NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT, 1972: Rapport til Stenkontolet om Metodebeskrivelse for prøvning av naturstein. NBI, Oslo, 15ss
- NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT, 1983: Building materials and components for exterior walls etc. Weather resistance, cyclic short time test. NBI-83, NBI, Oslo, 2ss
- NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT, 1985: Rapport om prøving av naturstein (syenitt). Per Skare, NBI, Oslo (privat rapport)
- ORMAASEN, D.E., 1977: Petrology of the Hopen mangerite-charnockite intrusion, Lofoten, North Norway. I: Lithos vol 10, nr 4, ss291-310
- STENHÅNDBOKEN bd 1 og bd 2. 1983 Stavern, Stenkontolet, 134ss
- VDI 3797, 1980: Salzsprengtest, 4ss
- VEILABORATORIET, 1987: Steinmaterialers brukbarhet til vegformål. Statens vegvesen, Oslo, Blankett nr. 412 B, 5/87, 2ss
- WINKLER, E.M., 1973: Stone: Properties, Durability in Man's Environment. Springer-Verlag, Wien, 230ss

Skisse I Skisse over N-vegg nedbrydd

Tegnet fra midtveis avsats, over kompressor/boldelager.  
( $\phi$ -vegg: en eneste stor kløvflate, rustfarget)

-  rustbelegg, rustfarget
-  blåsort belegg



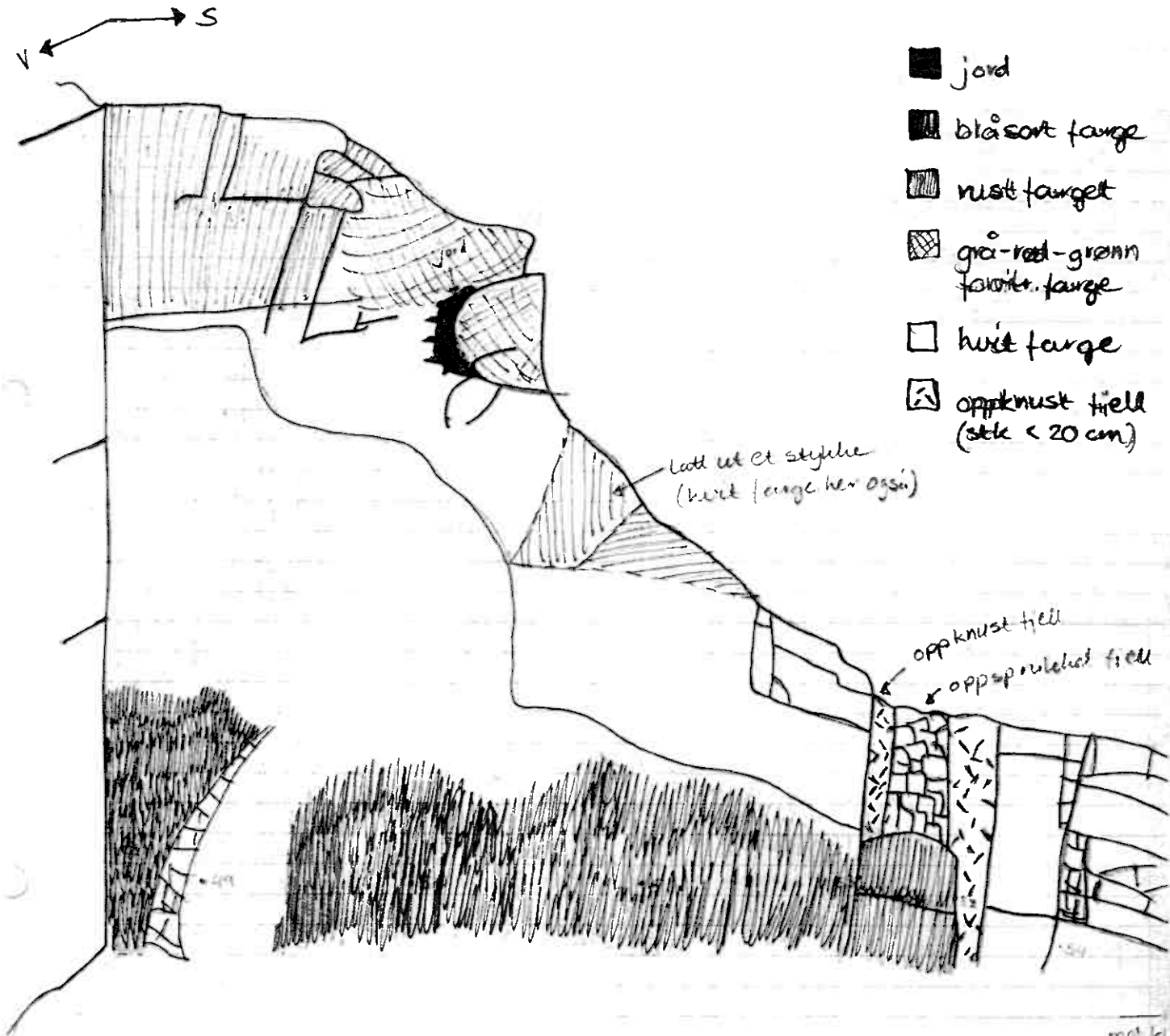
Skisse av overbudd, nordvegg

V

-vedlegg 3-

11/7-87

Skisse av overbudd, østvegg



mot lo

VIII

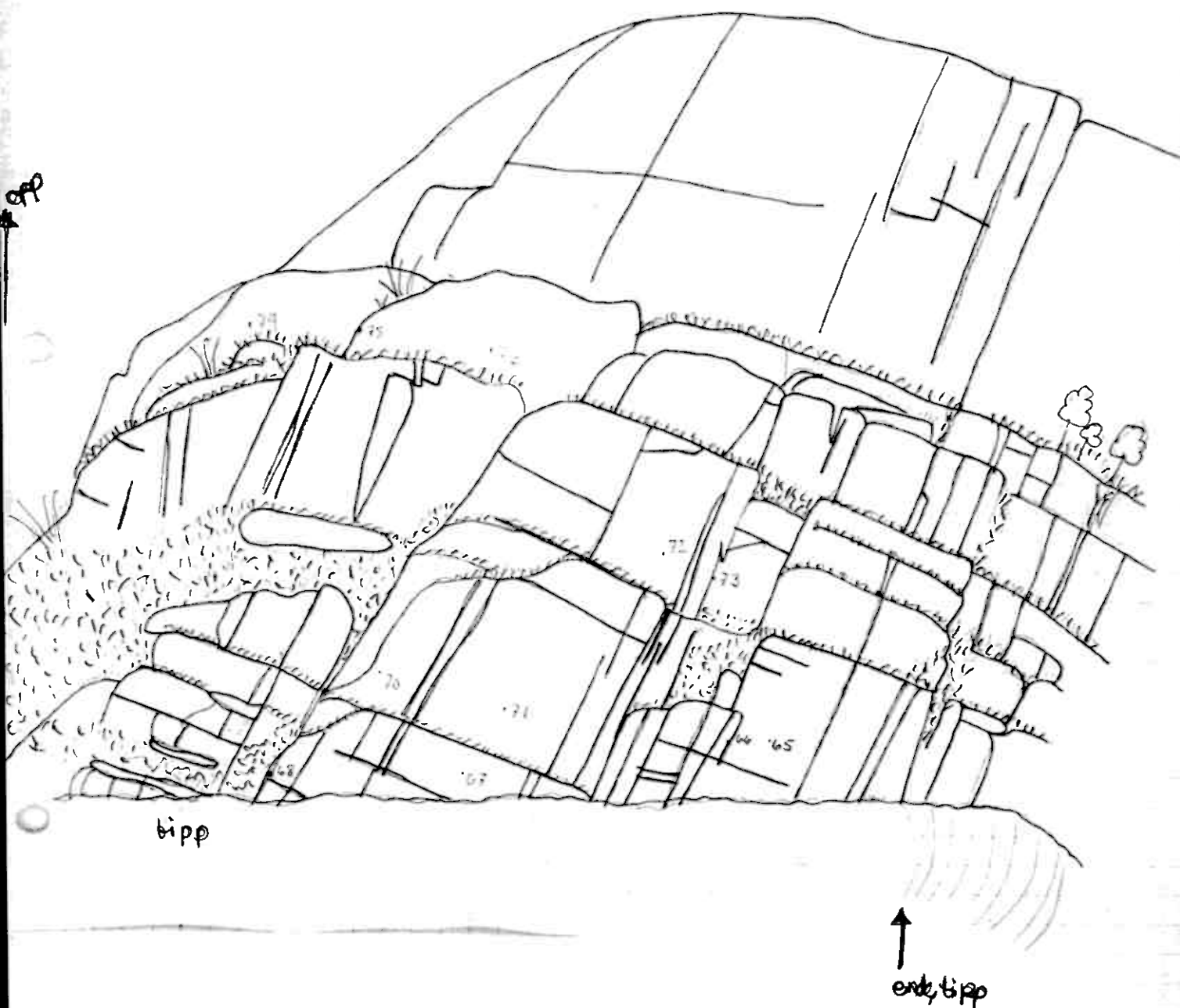
-vædlegg 1-

Skisse av fjellet syd for overbrudd

14/7-87

Tegnet fra bippen

N ← → S



SINTEF  
AVDELING FOR BERGTEKNIKK  
7034 TRONDHEIM, NTH.

87.12.01

MARIT LIV LARSEN

31 MM. BORKJERNE.  
MONZONITT  
VANNINNHOLD: VANNMETTET

L/D=2.5

| PRØVE<br>NR. | TRYKKFASTHET.<br>MPa | BRUDDVINKEL. |
|--------------|----------------------|--------------|
|--------------|----------------------|--------------|

|    |       |      |   |
|----|-------|------|---|
| 1  | 385   | 79.3 | 0 |
| 2  | 381   | 61.3 | 0 |
| 3  | 382   | 53.5 | 0 |
| 4  | 4K2   | 54.8 | 0 |
| 5  | 282   | 68.3 | 0 |
| 6  | 285   | 69.0 | 0 |
| 7  | 383   | 56.1 | 0 |
| 8  | 281   | 69.0 | 0 |
| 9  | 384   | 88.3 | 0 |
| 10 | 1K182 | 76.7 | 0 |
| 11 | 1K181 | 77.4 | 0 |
| 12 | 283   | 74.8 | 0 |
| 13 | 284   | 78.0 | 0 |
| 14 | 4K1   | 83.8 | 0 |

|                            |      |   |
|----------------------------|------|---|
| 14 PRØVER.<br>MIDDELVERDI: | 70.7 | 0 |
|----------------------------|------|---|

|                        |      |  |
|------------------------|------|--|
| STANDARDVARIASJON: 1-% | 15.5 |  |
|------------------------|------|--|

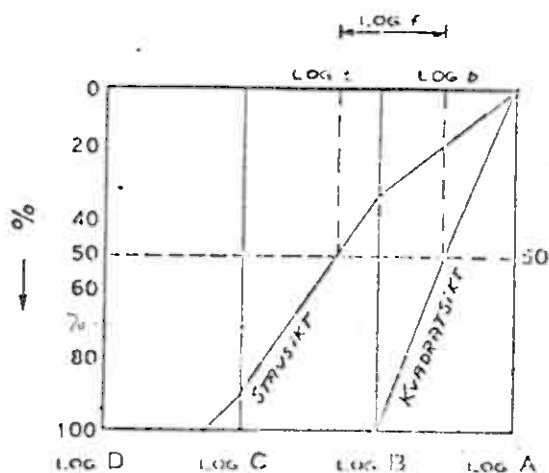
LASTSELLE: 50 t.  
UTSLAG MM. 252

mv/v: 1

# FALLPROVEN

Definisjon av og nomogram for flisighets-tall, i henhold til Statens Vegvesen, Veglaboratoriet, Analyseforskrifter.

## NOMOGRAM



$$C = D \sqrt{2} \quad B = C \sqrt{2} \quad A = B \sqrt{2}$$

$$f = \frac{b_{50\%}}{t_{50\%}} \quad (b = \text{BRØDDE} \quad t = \text{TYKKELSE})$$

$$\text{LOG } f = \text{LOG } b - \text{LOG } t$$

### FASTE PUNKTER PÅ f-SKALAEN:

- 50% MATERIAL PÅ STAVSIKT MED MASKE-VIDDE B MM  
 $\text{LOG } f = 1/2 \text{ LOG } \sqrt{2} = 0.0752$   
 $f = 1.19$

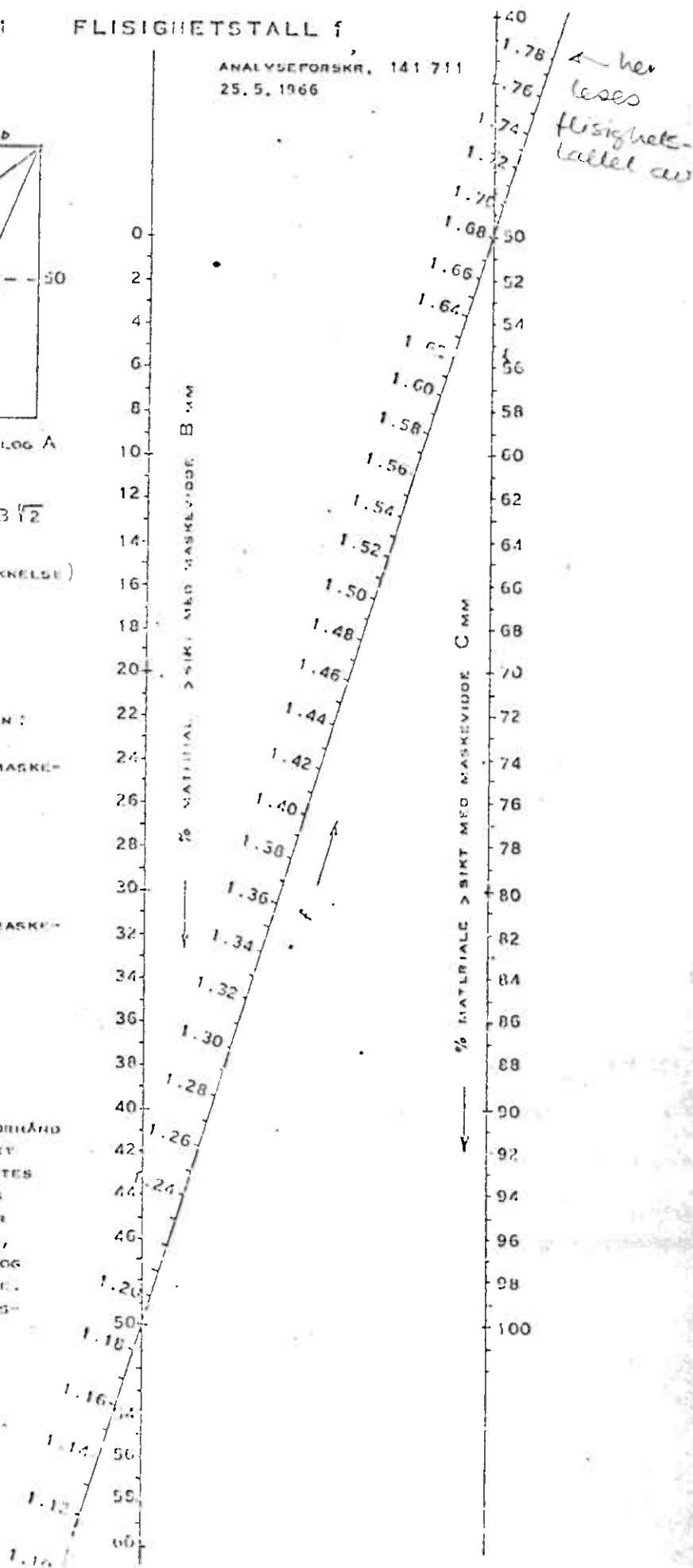
- 50% MATERIAL PÅ STAVSIKT MED MASKE-VIDDE C MM  
 $\text{LOG } f = 1 1/2 \text{ LOG } \sqrt{2} = 0.2256$   
 $f = 1.68$

### BRUK AV NOMOGRAMMET

INNVEID MATERIALFRAKSJON, SOM PÅ FORHÅND ER SIKTET UT ALLIEN KVADRATISKE SIKT MED MASKEÅPNING A MM OG B MM, SIKTES PÅ STAVSIKT MED MASKEVIDDE B MM OG C MM. VERTRODDIGT MATERIAL SOM ER STØRRE ENN STAVSIKTENS MASKEVIDDE, AVSIKTES PÅ DE RESPEKTIVE GRADER, OG PUNKTENE FORBIDES MED EN RETT LINJE. FLISIGHETSTALLET AVLESES I SKJERINGS-PUNKTET FOR DENNE RETTE LINJE OG f-LENGDE.

## FLISIGHETSTALL f

ANALYSEFORSKR. 141 711  
25.5.1966



SINTEF,  
AVDELING FOR BERGTEKNIKK  
7034 TRONDHEIM, NTH.

87.12.01

MARIT LIV LARSEN

SPRØHET OG FLISIGHET,  
DENSITET: 2.73  
FRAKSJON: 8-11

|       | GRAM | %     | DELPROSENT<br>GRAM |
|-------|------|-------|--------------------|
| ØVRE  | 823  | 33.0  | 170.1              |
| NEDRE | 1239 | 49.7  | 256.0              |
| BUNN  | 430  | 17.3  | 88.9               |
| SUM   | 2492 | 100.0 | 515.0              |

PROSENT OVER NEDRE SIKT: 82.7  
FLISIGHET: 1.34  
ANTALL SLAG: 20

REST PÅ RUTESIKT I GRAM OG PAKNINGSSRAD:

| PRØVE<br>NR. | 1   | 2   | 3   | 4   |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| REST         | 271 | 274 | 268 | 277 |
| PAKN         | 1   | 1   | 1   | 1   |

SPRØHETSTALL:

| PRØVE<br>NR. | 1    | 2    | 3    | 4    |
|--------------|------|------|------|------|
| S            | 47.4 | 46.8 | 48.0 | 46.2 |
| S-KOR        | 49.7 | 49.1 | 50.4 | 48.5 |

SNITT FOR UKOR. SPRØHET: 47.1  
SNITT FOR KOR. SPRØHET: 49.4

OPPDRAGSNR.: 87129A  
SAKSBEHANDLER I LAB: A.HOV.

SINTEF,  
AVDELING FOR BERGTEKNIKK  
7034 TRONDHEIM, NTH.

97.12.01

MARIT LIV LARSEN

SPRØHET OG FLISIGHET.  
DENSITET: 2.73  
FRAKSJON: 11-16

|       | GRAM | %     | DELPROSENT<br>GRAM |
|-------|------|-------|--------------------|
| ØVRE  | 1519 | 39.7  | 204.4              |
| NEDRE | 1845 | 48.2  | 248.3              |
| BUNN  | 462  | 12.1  | 62.2               |
| SUM   | 3826 | 100.0 | 515.0              |

PROSENT OVER NEDRE SIKT: 87.9  
FLISIGHET: 1.28  
ANTALL SLAG: 20

REST PÅ RUTESIKT I GRAM OG PAKNINGSGRAD:

| PRØVE<br>NR. | 1   | 2   | 3   | 4   |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| REST         | 262 | 262 | 244 | 269 |
| PAKN         | 1   | 1   | 1   | 1   |

SPRØHETSTALL:

| PRØVE<br>NR. | 1    | 2    | 3    | 4    |
|--------------|------|------|------|------|
| S            | 49.1 | 49.1 | 52.6 | 47.8 |
| S-KOR        | 51.6 | 51.6 | 55.2 | 50.2 |

SNITT FOR UKOR. SPRØHET: 49.7  
SNITT FOR KOR. SPRØHET: 52.1

OPPDRAGSNR.: 87129  
SAKSBEHANDLER I LAB: A.HOV.

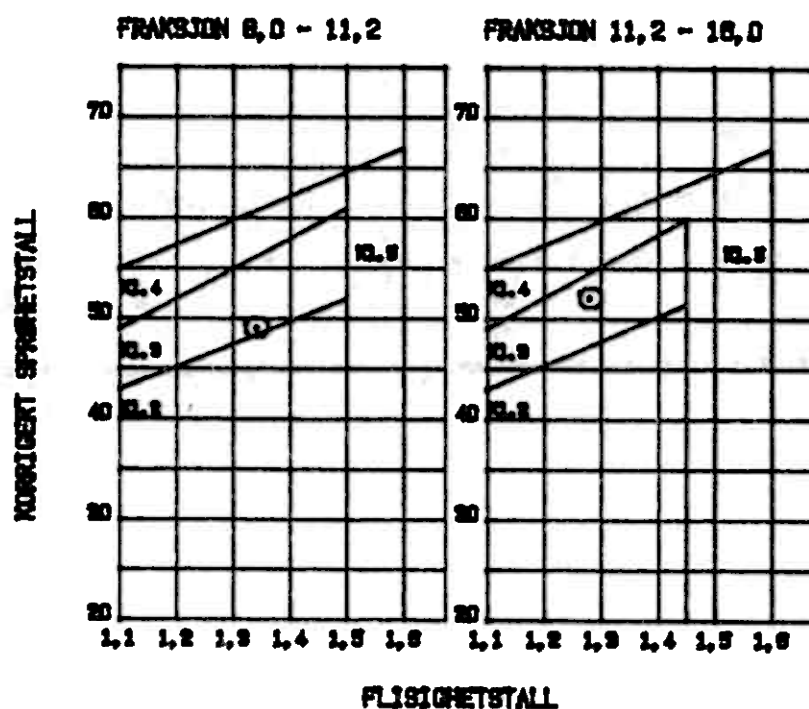
# FLISIGHET - SPRÖHET (fallprøve)

Prøvested / oppdrag: LØDINGEN

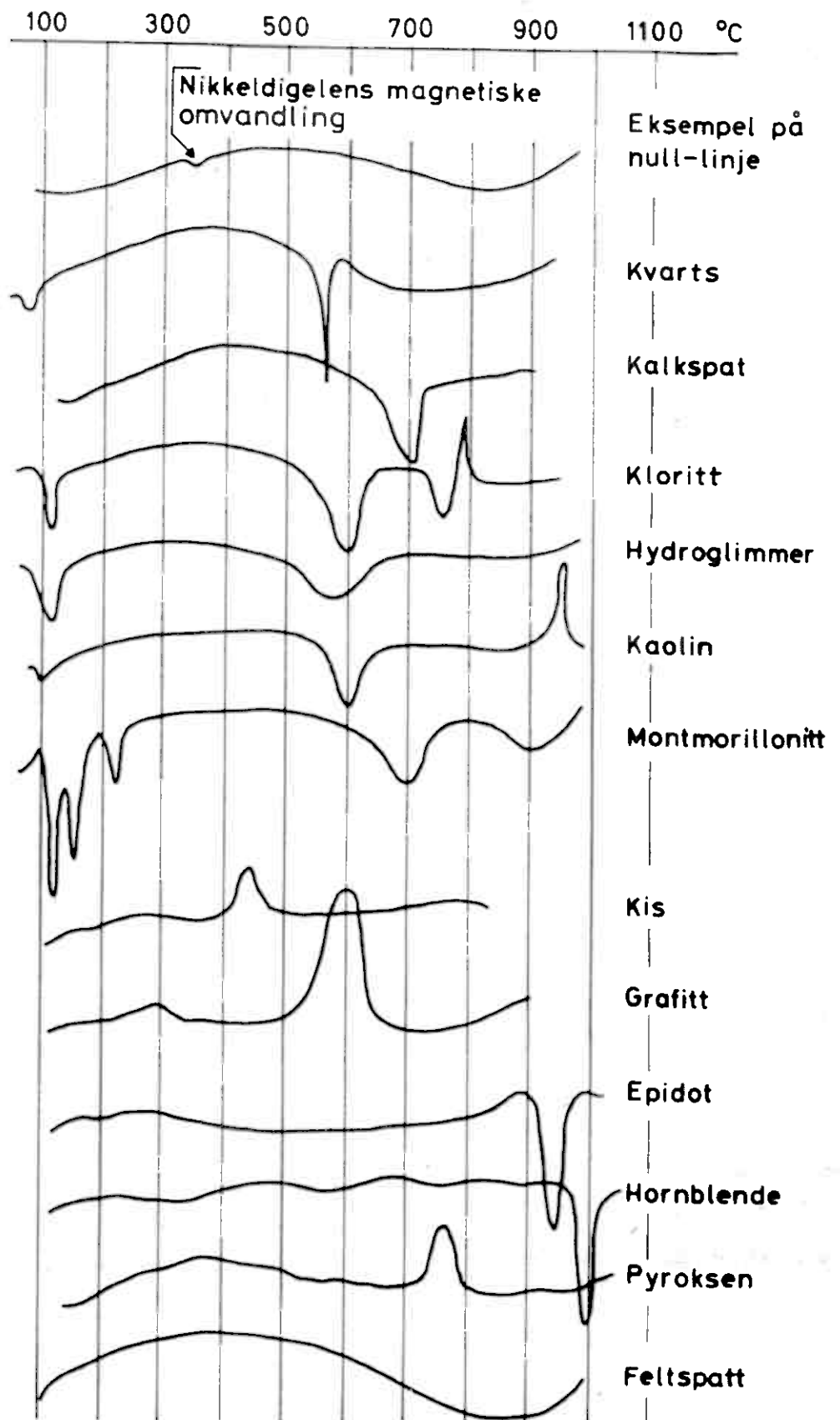
Vårt oppdrag nr.: 87129

Dato: 87.12.01

| Fraksjon                    | 8,0 - 11,2mm |   |   | 11,2 - 16,0mm |   |   |
|-----------------------------|--------------|---|---|---------------|---|---|
| Symbol                      | ○            | △ | □ | ○             | △ | □ |
| Prøvemerkning               |              |   |   |               |   |   |
| Bergart/materialtype        | MONZONIT     |   |   | MONZONIT      |   |   |
| Humusinnhold, NaOH          |              |   |   |               |   |   |
| Belegg                      |              |   |   |               |   |   |
| Densitet, g/cm <sup>3</sup> | 2.73         |   |   | 2.73          |   |   |
| Flisighetstall              | 1.34         |   |   | 1.28          |   |   |
| Sprøhetstall                | 48.8         |   |   | 48.7          |   |   |
| Pakningsgrad                | 1            |   |   | 1             |   |   |
| Korrigert sprøhetstall      | 48.1         |   |   | 52.1          |   |   |

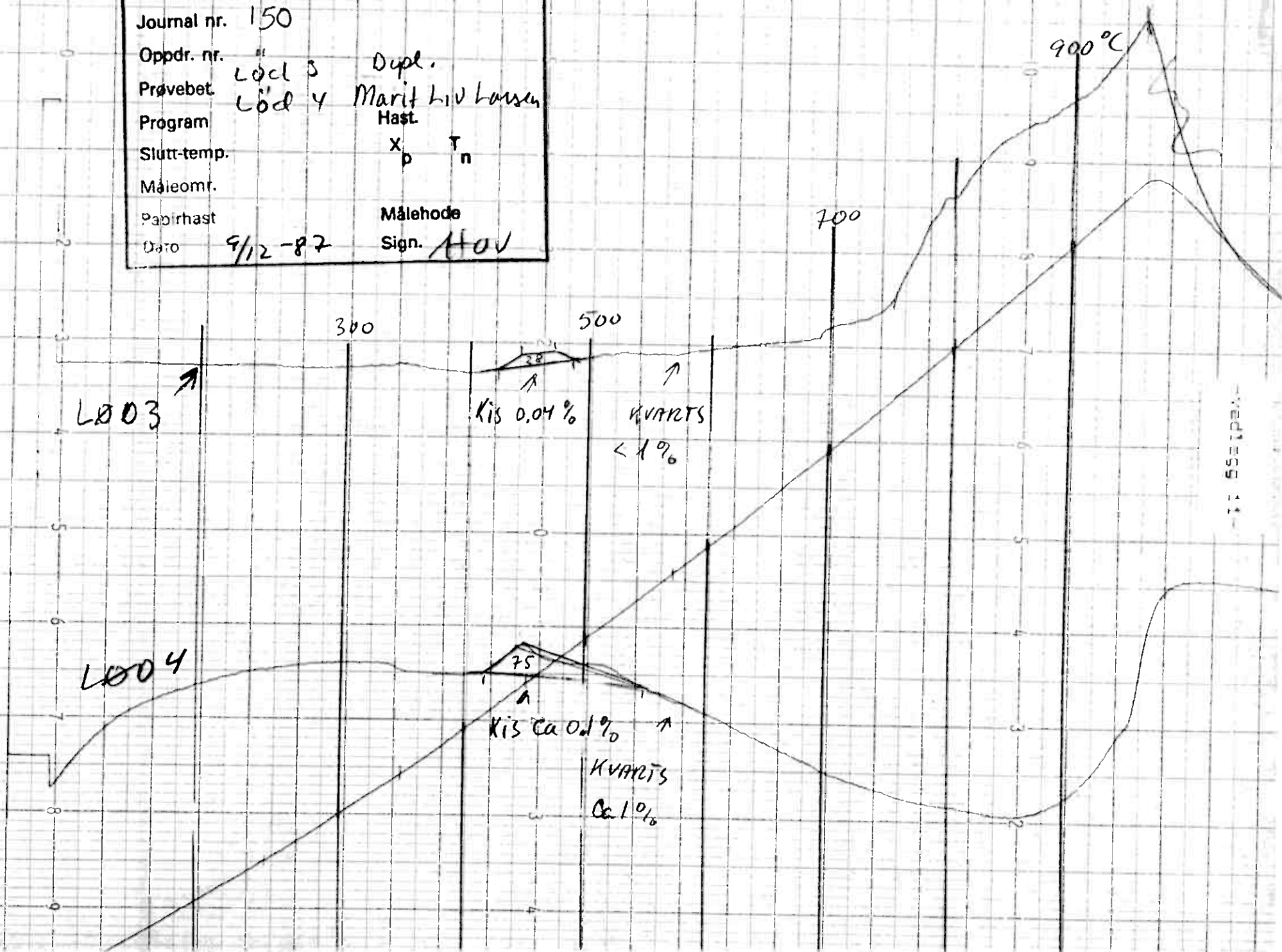


Merknad:



Eksempler på DTA-kurver (Ingeniørgeologisk laboratorium, 1974a)

|             |         |                  |                |
|-------------|---------|------------------|----------------|
| Journal nr. | 150     |                  |                |
| Oppdr. nr.  | "       | Dupl.            |                |
| Prøvebet.   | Løcl 3  | Marit Liv Hansen |                |
| Program     | Løcl 4  | Hast.            |                |
| Slutt-temp. |         | X <sub>p</sub>   | T <sub>n</sub> |
| Måleomt.    |         |                  |                |
| Papirhast   |         | Målehode         |                |
| Dato        | 9/12-87 | Sign.            | Hov            |



10

20

40

11

20

40

12

Au 464 D

vedlegg 12

Journal nr.

Oppdr. nr.

Prøvebet.

Program

Slutt-temp.

Måleomr.

Papirhast

Dato

3733

Løp 1, Dipl. Larsen

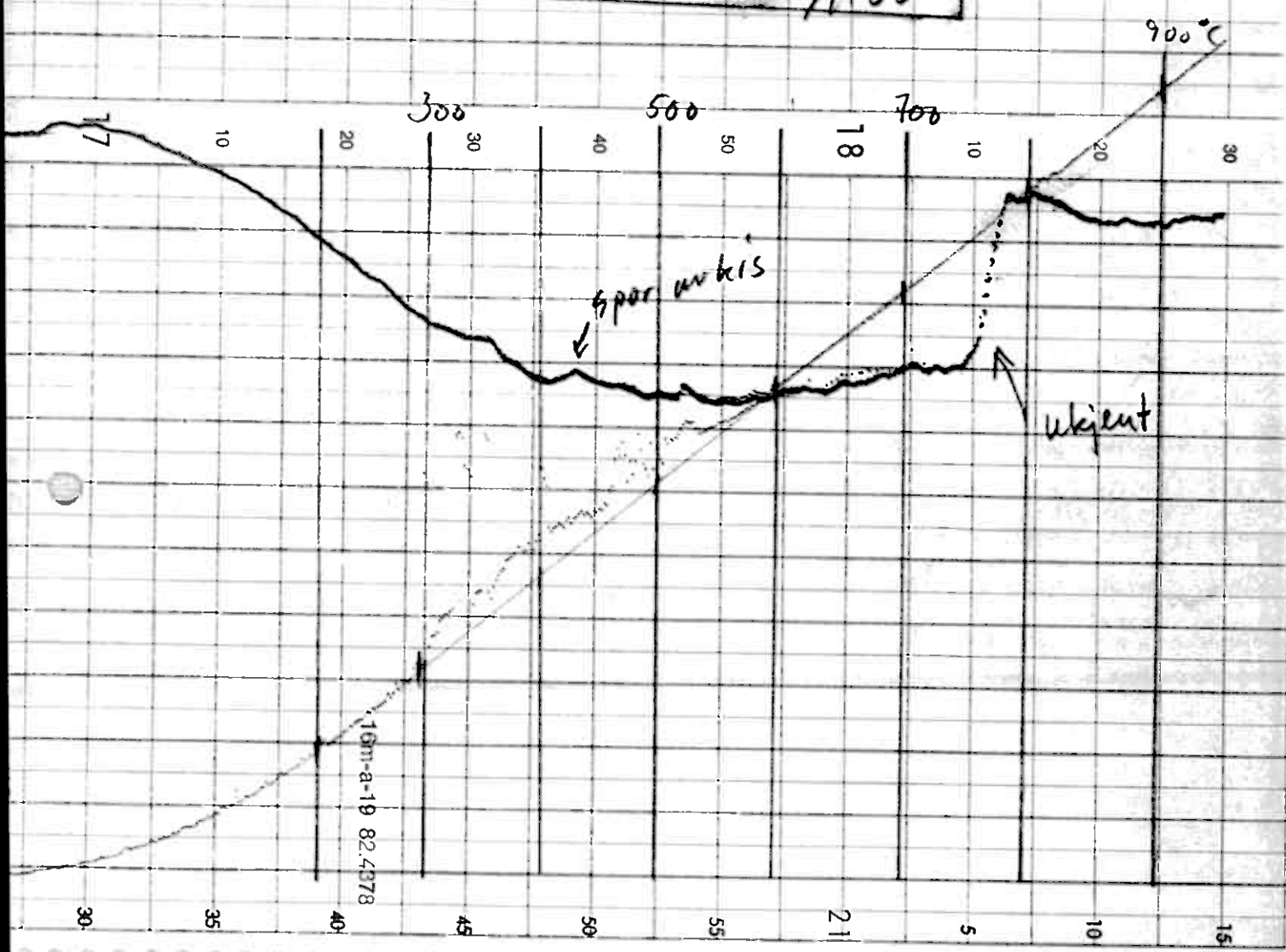
Hast.

 $x_p$  $T_n$ 

Måtehode

S. 1100

8/12-87



17

18

19

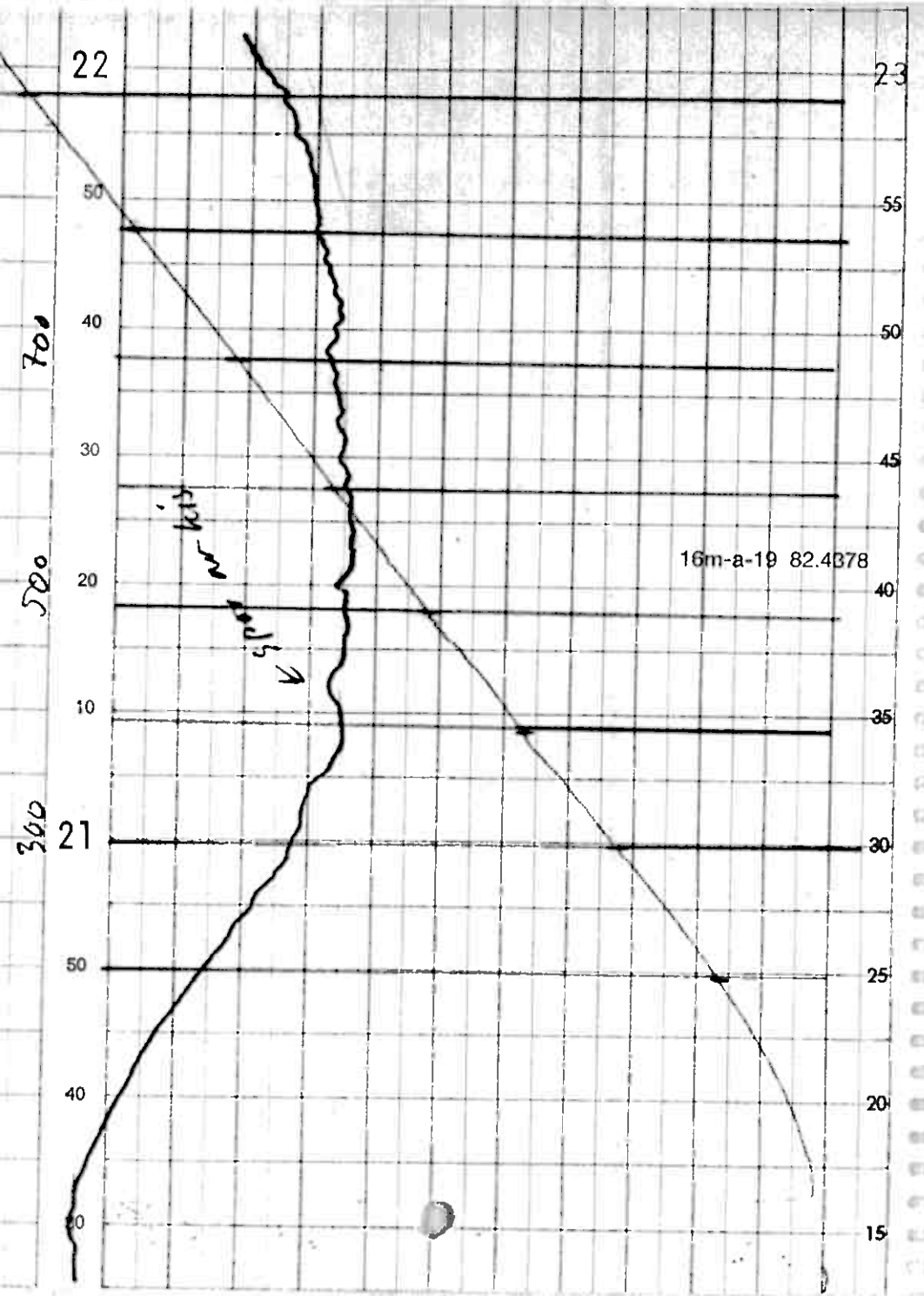
20

Au 464 D

Vedlegg 13

|              |          |
|--------------|----------|
| Journal nr.  | 3734     |
| Oppdr. nr.   |          |
| Prøvet. L    | Dipl. L  |
| Program      | Hast.    |
| Slutt-temp.  | X p T n  |
| Måleomr.     | Målahode |
| Ansvarst     | Sig AHOV |
| Dato 9/12-87 |          |

900 °C



# 1. BORBARHETSINDEKSENE

1.2 DRI

## 1.23 Diagram for beregning av DRI

Fig. 1.3 viser diagrammet som anvendes for beregning av borsynkindeksen DRI ut fra sprøhetstallet S og Sievers J-verdi SJ.

Borsynkindeksen kan oppfattes som et sprøhetstall korrigert for Sievers J-verdi. For Sievers J-verdi lik 10, en verdi som er vanlig for f.eks. granitt eller kvarts-syenitt, er DRI lik S.

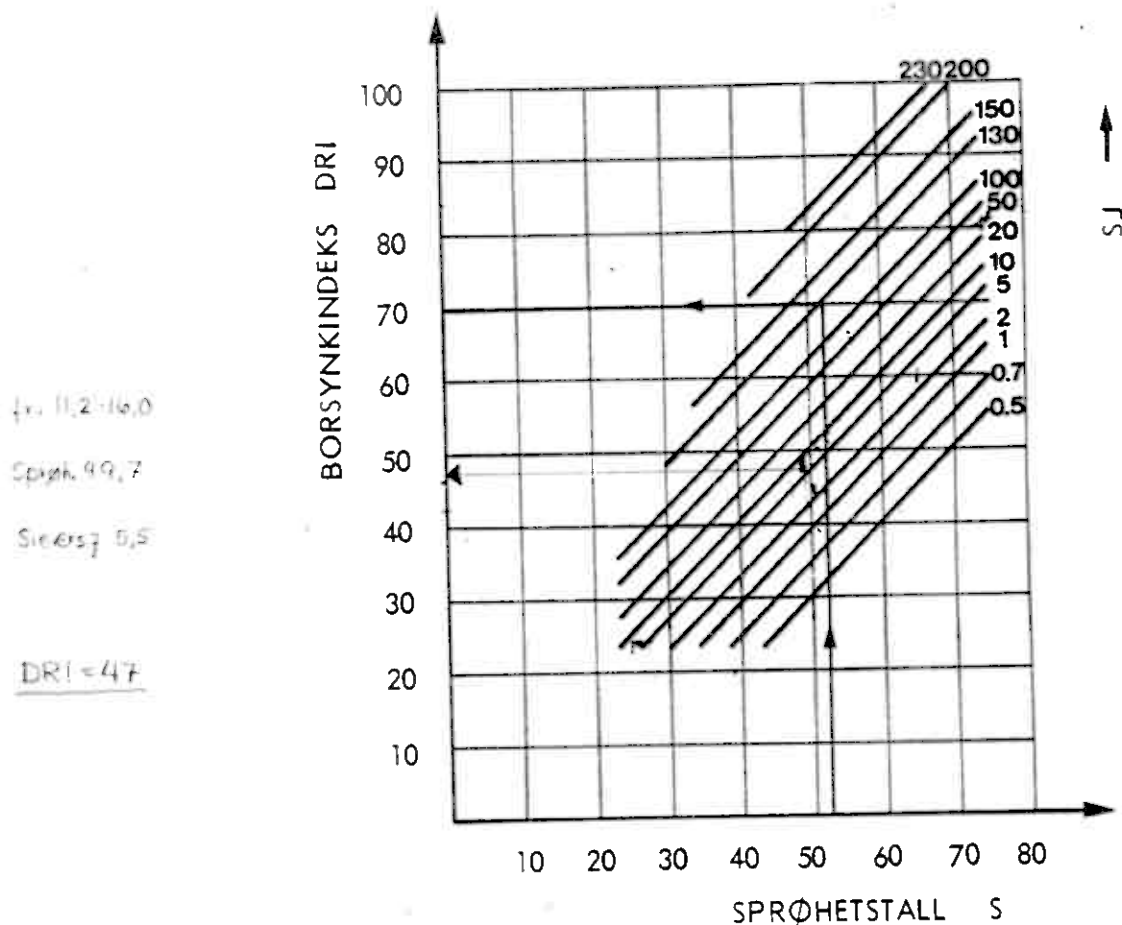


Fig 1.3

Diagram for beregning av DRI

# 1. BORBARHETSINDEKSENE

1.3 BWI

## 1.32 Diagram for beregning av BWI

Fig. 1.5 viser diagrammet som anvendes for beregning av borslitasjeindeksen BWI ut fra borsynkindeksen DRI og slitasjeverdien AV. Borslitasjeindeksen BWI nyttes som grunnlag for å bestemme levetid på borkroner og borruller etc.

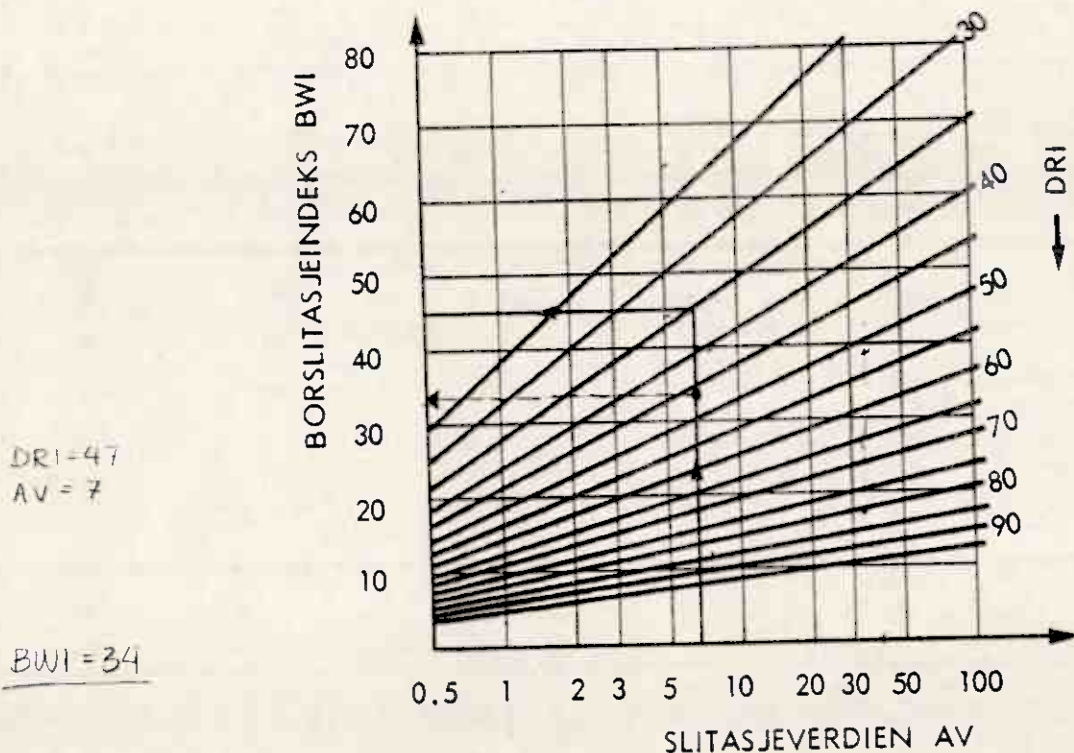


Fig. 1.5

Diagram for beregning av BWI

# 1. BORBARHETSINDEKSENE

## 1.3 Sammenheng mellom DRI og BWI

For de fleste bergarter er det en sammenheng mellom DRI og BWI, slik at en bergart som har lav DRI også har høy BWI og omvendt.

I fig. 1.6 er DRI plottet mot BWI for forskjellig kvartsinnhold i bergarten.

Sammenhengen mellom DRI og BWI som funksjon av kvartsinnhold er vist i fig. 1.7. Kurvene er tegnet på grunnlag av fig. 1.6.

Følgende tilnærming er brukbar for de fleste norske bergarter med 10-40% kvarts.

| DRI          |     | BWI          |    |
|--------------|-----|--------------|----|
| Ekstremt lav | 21  | Ekstremt høy | 63 |
| Meget lav    | 28  | Meget høy    | 53 |
| Lav          | 37  | Høy          | 43 |
| Middels      | 49  | Middels      | 33 |
| Høy          | 65  | Lav          | 23 |
| Meget høy    | 86  | Meget lav    | 13 |
| Ekstremt høy | 114 | Ekstremt lav | 3  |

For andre kvartsinnhold må sammenhengen DRI - BWI vurderes nærmere (fig. 1.7).

DRI = 47 : under middels borbarhet

BWI = 34 : litt over middels borbarhet

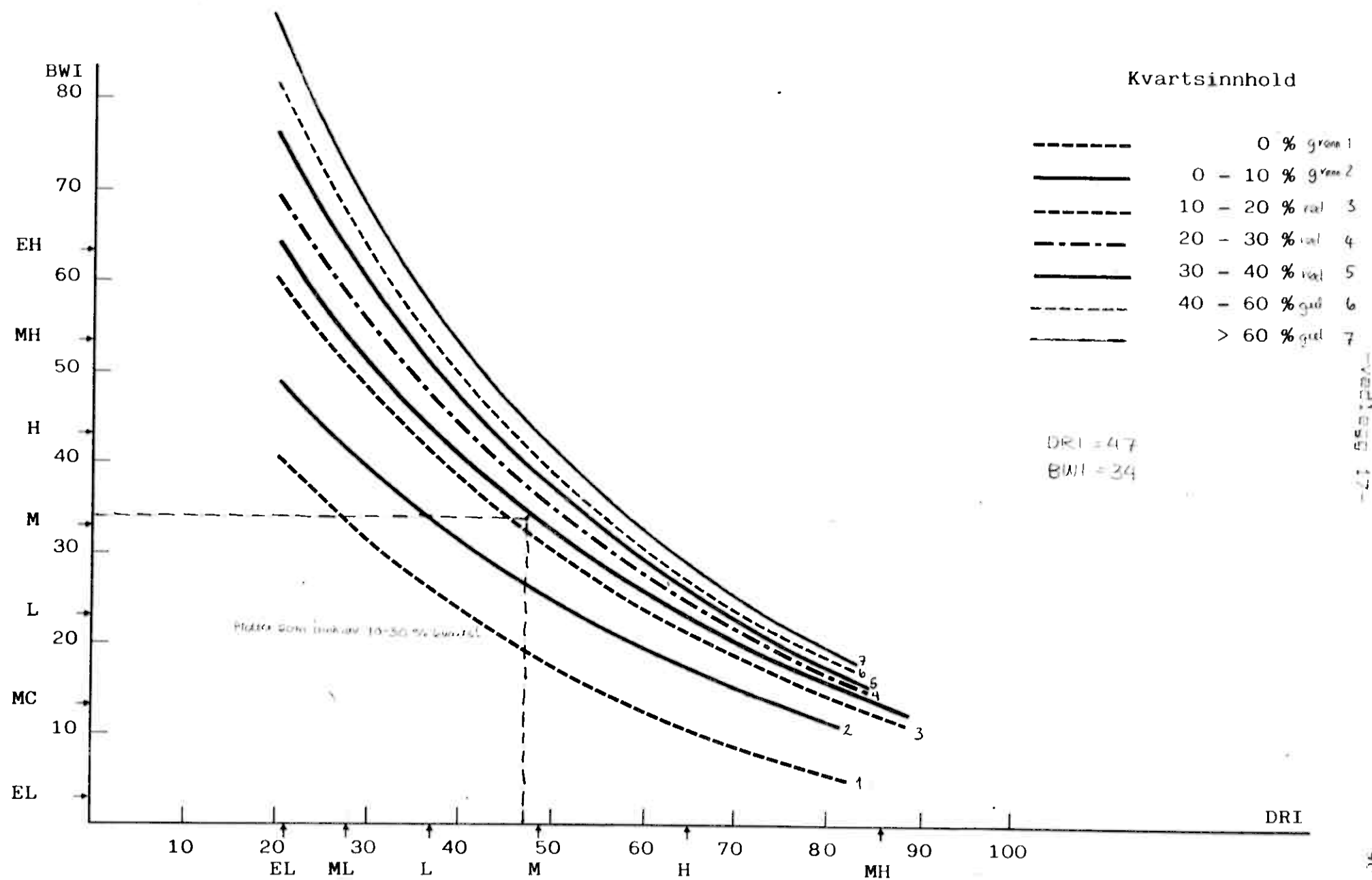


Fig. 1.7 Sammenheng mellom DRI og BWI som funksjon av kvartsinnhold i bergarten.

# STEIN til VEGMATERIALE

GEOLOGISK INSTITUTT, NTH  
INGENIØRGEOLOGISK LABORATORIUM

OPPDRAGSGIVER/PROSJEKT

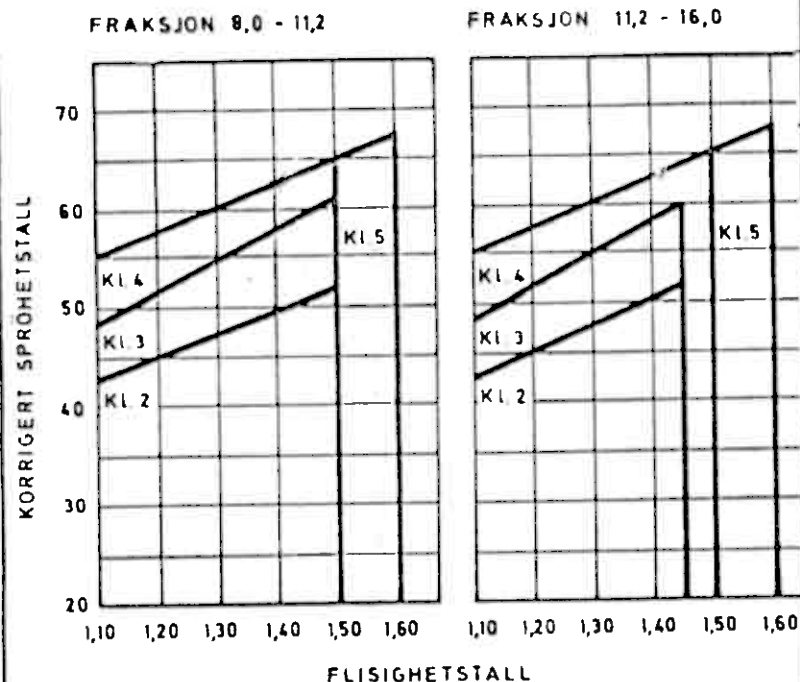
ANLEGG/LOKALITET

SAKSBEHANDLER

Dato: / 19

Rapport av / 19 arkivert under

Prøver arkivert:



| PRØVE | SYMBOL | BERGART | SP. V. | FRAK-<br>SJON | f |  | S <sub>20</sub> | PAKN.<br>GRAD | S-J |
|-------|--------|---------|--------|---------------|---|--|-----------------|---------------|-----|
|       |        |         |        |               |   |  |                 |               |     |

| ASFALTDEKKER                        | Trafikk-<br>gruppe | KLASSE             | BÆRELAG                 | Trafikk-<br>gruppe | KLASSE             |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| Asfaltbetong                        |                    | 3 el. bedre        | Grus og knust stein     |                    | 3 el. bedr         |
| Asfaltgrusbetong                    |                    | 4 — " —            | Asfaltert pukk          | A-B                | 4 — " —<br>3 — " — |
| Sandasfalt og steinfyllt sandasfalt |                    | 3 — " —            | Asfaltstabilisert grus  | A-B                | 5 — " —<br>4 — " — |
|                                     |                    | 4 — " —            | Asfaltert sand/ grus    |                    | 5 — " —            |
|                                     | E                  | 5 — " —            |                         | A-B                | 4 — " —            |
| Overflatebehandlinger               |                    | 3 — " —            | Ottadekke               | A-B                | 4 — " —<br>3 — " — |
| Topeka                              |                    | 2 — " —            | Penetrasjonspukk        |                    | 5 — " —            |
| GRUSDEKKER                          |                    |                    | BETONG (ikke krav)      | f                  | S <sub>20</sub>    |
| Rengrus (ikke krav)                 |                    | 2 — " —<br>3 — " — | B 300                   | <1,50              | <70                |
|                                     | E                  | 2 — " —<br>3 — " — | B 500-600 (spennbetong) | <1,50              | <50                |
| Oljegrus                            | E                  | 3 — " —            |                         |                    |                    |

| Trafikk -<br>gruppe og type | Å D T<br>Sum motorkj. t. | Herav busser<br>og lasteb. > 1,5 t |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| A Meget tung                | >6000                    | >1200                              |
| B Tung                      | 3000-6000                | 300-1200                           |
| E Meget lett                | 500                      | 25                                 |

# Skjema "STEIN TIL VEGMATERIALE"

## 1) Plotting av flisighet mot sprøhetstall:

Fraksjon 8,0-11,2 : rett over linja W.3 - W.2  
 $f=1,34$   $S_{kor}=49,1$

Fraksjon 11,2-16,0 : midt i W.3  
 $f=1,28$   $S_{kor}=52,1$

## 2) Asfaltdekket :

|                                                 | 8,0-11,2 | 11,2-16,0 |
|-------------------------------------------------|----------|-----------|
| Asfaltbetong (kl. 3 el. bedre)                  | +        | +         |
| Asfaltgrusbetong (W. 4 el. bedre)               | +        | +         |
| Sandasfalt og (W. 3 el. bedre)<br>steinfylt do. | +        | +         |
| Overflatebehandl. (W. 3 el. bedre)              | +        | +         |
| Topeka                                          | (+)      | 0         |

## 3) Grusdekket :

|                                       |     |   |
|---------------------------------------|-----|---|
| Ren grus (elike Wov) (W. 2 el. bedre) | (+) | 0 |
| E (W. 3 el. bedre)                    | +   | + |
| Olje grus (W. 2 el. bedre)            | (+) | 0 |
| E (W. 3 el. bedre)                    | +   | + |

## 4) Bærelag:

|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| Grus og knust stein ( $\geq 3$ )    | + | + |
| Asfaltet pulke ( $\geq 4$ )         | + | + |
| A-B ( $\geq 3$ )                    | + | + |
| Asfaltstabilisert grus ( $\geq 5$ ) | + | + |
| A-B ( $\geq 4$ )                    | + | + |
| Asfaltet sand/grus ( $\geq 5$ )     | + | + |
| A-B ( $\geq 4$ )                    | + | + |
| Ofte dekket ( $\geq 4$ )            | + | + |
| A-B ( $\geq 3$ )                    | + | + |
| Penetrasjonspulke ( $\geq 5$ )      | + | + |

## 5) Betong:

|                                                             |   |   |
|-------------------------------------------------------------|---|---|
| B 300 ( $f < 1,50$ , $S_{20} < 70$ )                        | + | + |
| B 500-600 (perforert betong) ( $f < 1,50$ , $S_{20} < 50$ ) | + | 0 |

STATENS VEGVESEN

Blankett nr. 4120

STEINMATERIALERS BRUKBARHET  
TIL VEGFORMÅL

Arkiv nr.

Bilag nr.

Lab.pr.nr.

Fylke: Nordland

Kartblad nr.: 1231 IV, serie: M711

Kommune: Lødingen nr.:

Materialtak:

UTM-koord.:

Veg nr.:

Hp.:

nr.: Eier:

Prøvested i taket:

Km/profil:

Oppdr. nr.:

dybde, m:

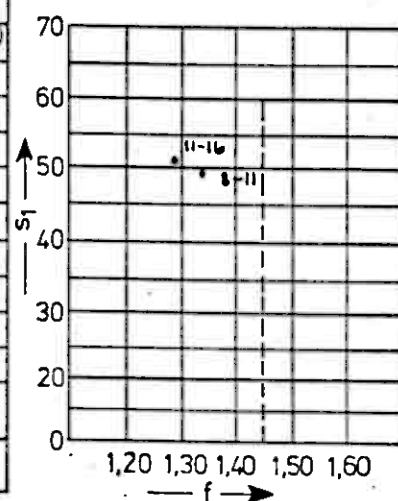
Uttatt dato -/7-87

## VISUELL KVALITETSKLASSIFISERING: \*)

| Antall stk.<br>korn vurdert | Kvalitetsklassifisering - %-vis fordeling av korn vurdert |        |       |             |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|-------|-------------|
|                             | Meget sterke                                              | Sterke | Svake | Meget svake |
| stk.                        | %                                                         | %      | %     | %           |

## MEKANISKE EGENSKAPER:

|                                         |          |   |   |   |              |
|-----------------------------------------|----------|---|---|---|--------------|
| Kornstørrelse mm                        | 8 - 11,2 |   |   |   | 11,2 - 16 *) |
| Tegnforklaring                          | ●        | ● | ● | ● | ▲            |
| Flisighetstall - f                      | 1,34     |   |   |   | 1,28         |
| Sprøhetstall - s                        | 47,1     |   |   |   | 49,7         |
| Pakningsgrad*)                          | I        |   |   |   | I            |
| Korr. sprøhetst. - s <sub>1</sub>       | 49,4     |   |   |   | 52,1         |
| Materiale < 2 mm - %                    |          |   |   |   |              |
| Laboratoriepukket - %                   |          |   |   |   |              |
| Merket ♀: Slått 2 ganger                |          |   |   |   |              |
| Middel f/s <sub>1</sub>                 | 0,027/   |   |   |   | 0,025/       |
| Abrasjonsverdi - a: 1) 2) 3)            |          |   |   |   | Middel:      |
| Slitasjemotstand: a · √s <sub>1</sub> = |          |   |   |   |              |



## ANDRE EGENSKAPER:

Densitet: ρ<sub>s</sub>: 2,73

Humusinnhold:

Lyshet; klasse:

Belegg:

Vedheftning til bitumen:

v/metode:

Tilleggsanalyse:

Merknad:

MLL

sign.

## PETROGRAFISK BESKRIVELSE:

Reaksjon med HCl: \*)

Beskrivelse av materiale &lt; 2 mm:

x) Se baksiden

sign.

STED:

DATO:

UNDERSKRIFT:

5/87

Alt ferring av Polert Stein

Førstet 1 mnd (31 dager) 7.20 ca 1/2 års fullstid. Usporing  
Sugen påvirkelige maktvolden skader. Noe segning på  
ulikke pinner (tiltalt bare planingen?)

Frøing sugen maktvolden Trep av glass etc.

NBI 14/12.87  
Ryfle Dalsland.