

NGU Rapport 99.060

Påvirkning av mekaniske egenskaper ved
prøvetaking i dagfjellsonen.

Rapport nr.: 99.060		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Påvirkninger av mekaniske egenskaper ved prøvetaking i dagfjellsonen.				
Forfatter: Eyolf Erichsen og Maarten Broekmans		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:		Kommune: Osen		
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1623-1 Osen		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 33	Pris: 130,-	
Feltarbeid utført: Aug/sep 1997		Rapportdato: 01. juni 1999	Prosjektnr.: 2749.00	Ansvarlig: <i>Kjølmoen</i>
Sammendrag:				
<p>Ved undersøkelse av mekaniske egenskaper er det for enkelte områder utført prøvetakingen ved utsprengning i dagfjellsonen ned til ca. 0,5 meters dyp. For noen av de prøvetatte områdene har det i ettertid vist seg at prøvene er blitt tatt for grunt. Materialet har vært utsatt for «antatt overflateforvitring» som har hatt negativ innvirkning på de mekaniske styrkeparametrene.</p> <p>Målet med dette prosjektet har vært å få en bedre forståelse av problemstillinger knyttet til prøvetaking i dagfjellsonen og for å utarbeide en ny metodikk for utsprengning av prøvemateriale for mekanisk testing.</p> <p>Punktlasttest utført på borekjerner viser en økende trend på punktlaststyrkeindeksen mot dypet. Økningen synes å flate ut og når en maksimalverdi ved ca. 3 meters dyp. Observasjoner av både makro- og mikrosprekker viser en konsentrasjon i de øverste meterne. Dette sammenfaller godt med de partier med redusert mekanisk styrke i dagfjellsonen. Når sprekketettheten avtar forbedres bergartens mekaniske styrke. Makroskopiske sprekker opptrer i de øverste 2-3 meterne, mens mikroskopiske sprekker avtar mot dypet og når en nedre bakgrunnsverdi ved 1-2 meters dyp. Det har ved tynnslipanalyse ikke vært mulig å påvise noen form for omvandling eller endring i omvandling, hverken mineralogisk eller langs korngrenser, med økende dyp.</p> <p>Prøver tatt i overflaten og som skal analyseres mht. til mekaniske egenskaper må sprenges ut på dyp helst under 3 meter for å være representative for det undersøkte området.</p>				
Emneord: Ingeniørgeologi		Byggeråstoff		Mikroskopering
Mekanisk styrke		Punktlasttest		Fagrapport

INNHold

FORORD.....	4
1. KONKLUSJON.....	5
2. INNLEDNING OG BAKGRUNN.....	6
3. GJENNOMFØRING	7
4. RESULTATER OG VURDERINGER	8
4.1 Borehullslogg.....	8
4.2 Punktlasttest	8
4.2.1 Prøvemethoden.....	8
4.2.2 Punktlasttest utført på borekjerner	11
4.2.3 Punktlasttest utført på mekanisk prøvemateriale.....	15
4.2.4 Sammenstilling av punktlasttesting på borekjerner og mekanisk prøvemateriale	17
4.3 Fluorescenspetrografi av vakuum-impregnerte tynnslip.....	18
4.3.1 Prøveoversikt.....	18
4.3.2 Tynnslippreparering/-analyse.....	19
4.3.3 Sprekkemønster	20
4.4 Sammenstilling av borehullslogg, punktlaststyrkeindeks og sprekkemønster	21
5. STATUS - ARBEIDSHYPOTESE - FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	24
6. REFERANSER.....	26

VEDLEGG

- Vedlegg 1 : Måling av punktlaststyrkeindeks
- Vedlegg 2 : Utvidet petrografisk beskrivelse
- Vedlegg 3 : Sprekkeregistrering
- Vedlegg 4 : Problemer ved sprekkeregistreringer

FORORD

I forbindelse med at NGU siden 1994 har gjennomført kartleggingsprosjekt langs store deler av norskekysten med tanke på etablering av store kystnære pukkverk for eksport, har det vært behov for å ta prøver ved utspregning. Utsprengningen er blitt foretatt ned til ca. 0,5 meters dyp. I ettertid har det vist seg at en god del av prøvene er blitt tatt for nær overflaten. Materialet har vært utsatt for «antatt overflateforvitring» som har hatt negativ innvirkning på de mekaniske egenskapene.

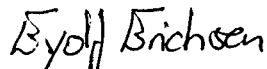
Dette prosjektet er en videreføring av tidligere undersøkelser. Målet har vært å få en bedre forståelse av problemstillinger knyttet til prøvetaking i dagfjellsonen og for å utarbeide en ny metodikk for utspregning av prøver for mekanisk testing.

Trondheim, 01. juni 1999



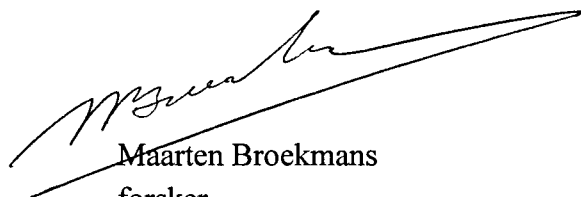
Peer R. Neeb

Hovedprosjektleder byggeråstoffer



Eyolf Erichsen

forsker



Maarten Broekmans

forsker

1. KONKLUSJON

- Bortsett fra en millimeter tykk forvittringshud i overflaten har det ved tynnslipanalyse ikke vært mulig å påvise noen form for omvandling eller endring i omvandling, hverken mineralogisk eller langs korngrenser, med økende dyp.
- Punktlasttest utført på borekjerner viser en økende punktlaststyrkeindeks mot dypet. Økningen synes å flate ut og når en maksimalverdi ved ca. 3 meters dyp.
- Observasjoner av både makro- og mikrosprekker konsentrert i de øverste meterne sammenfaller godt med partier med redusert mekanisk styrke i dagfjellsonen.
- Makroskopiske sprekker opptrer i de øverste 2-3 meterne av borekjernene, mens mikroskopiske sprekker avtar mot dypet og når en nedre bakgrunnsverdi ved 1-2 meters dyp.
- Prøver tatt i overflaten og som skal analyseres mht. til mekaniske egenskaper må sprenges ut på dyp helst under 3 meter, for å være representative for bergarten i det undersøkte området.
- Flere typer bergarter bør undersøkes for å få vurdert hvordan bergarter med ulikt mineralinnhold påvirkes mekanisk i dagfjellsonen.

2. INNLEDNING OG BAKGRUNN

NGU har i forbindelse med prøvetaking for mekanisk testing tatt prøver hovedsakelig fra friske vegskjæringer ved at materialet enten har blitt slått løst med hammer eller oppsamlet av allerede frigjorte løsblokker med minimum størrelse ca. 10x10x10cm (prøvestykker på størrelse med en knyttneve). Unntaksvis er steinmaterialet blitt sprengt ut i selve fjelloverflaten i det som kan betegnes dagfjellsonen. Sprengningen er foretatt ved at det har blitt boret hull ned til ca. 0,5 meters dyp med lett boreutstyr (Pico bensindrevet boremaskin, vekt ca. 10kg). Det utsprengte materialet blir som oftest sprengt i store blokker (lett sprengning med liten ladning) som igjen knuses ned med hammer til egnet størrelse.

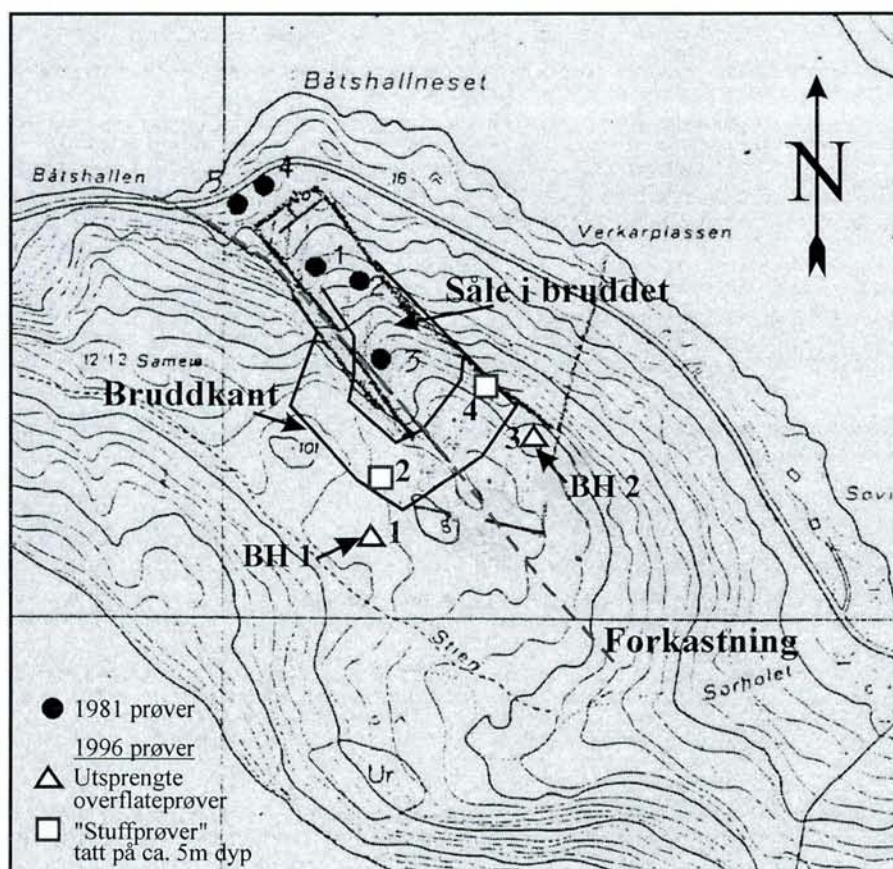
I forbindelse med et forprosjektet for kartlegging av potensielle kystnære pukkeforekomster, ble det gjort en undersøkelse for å se på effekten ved å ta prøver i dagfjellsonen (Erichsen 1997). Undersøkelsen ble utført ved Nord-Fosen pukkeverk i Osen kommune, Sør-Trøndelag. Det konkluderes med at overflateprøver viser en betydelig svekkelse i de mekaniske egenskapene, inntil 30% for de fleste mekaniske parametrene, i forhold til prøver tatt på dyp ned til ca. 5 meter under overflaten. Det viste seg samtidig at prøvene tatt i de nordlige delene av bruddområdet gav bedre resultat for samtlige mekaniske styrkeparametre. Det ble ikke påvist noen direkte årsakssammenheng til den mekaniske svekkelsen eller hvor dypt ned i undergrunnen svekkelsen hadde innvirkning. Det ble derimot registrert sprekker/riss ved vanlig tynnslipanalyse, uten at noen omfattende forvitring kunne påvises. Det ble antatt at «svak forvitring» med liten utbredelse mot dypet var årsak til fenomenet.

Det har i dette prosjektet vært et mål å opparbeide erfaring med bruk av nye teknikker ved tynnslipanalyse (impregnerte slip) som et verktøy for å registrere eventuell overflateforvitring. Det har videre vært behov for å få vurdert hvor dypt en eventuell negativ påvirkning av de mekaniske egenskapene har innvirkning. I forbindelse med dette ble det boret ut kjerner ved hjelp av packsack boring. Hensikten med prosjektet har ved siden av å få en bedre forståelse av problemstillinger knyttet til prøvetaking i dagfjellsonen, å få utarbeidet en ny metodikk for mekanisk prøvetaking.

Feltarbeidet ble utført i juni 1997 av Maarten Broekmans, Eyolf Erichsen og Norodd Meisfjord, alle NGU.

3. GJENNOMFØRING

Undersøkelsene er utført ved Nord-Fosen pukkverk i Osen kommune, Sør-Trøndelag (figur 1) som driver på en gneisgranitt. De tidligere prøvetatt lokalitetene, angitt som 1996 prøver, ble sprengt ut etter vanlig prosedyre ved overflateprøvetaking (prøve 1 og 3) og tatt fra tidligere utsprengt stein på øverste pall i bruddet (prøve 2 og 4) som går ned til ca. 5 meters dyp under overflaten. To og to av prøvene (1 og 2, 3 og 4) ble tatt i nærheten av hverandre for å spore eventuelle lokale variasjoner innenfor bruddet.



Figur 1. Nord-Fosen pukkverk.

Det ble boret totalt fire kjerneprøver (diameter 22mm) ved to lokaliteter (BH1 og BH2 i figur 1) ned til ca. 5 meters dyp. Det ble boret ut to kjerner, betegnet A og B, for hver av de to lokalitetene for eventuelt å spore lokale forskjeller. De to kjernene innenfor hver lokalitet ble tatt ut med ca. 20 cm avstand i dagen.

Kjernene ble logget før de ble undersøkt med punktlasttester. Det ble i tillegg utført punktlasttesting på det gjenværende knuste prøvematerialet fra 1996 som var blitt undersøkt mht. mekaniske egenskaper. Etter knekking av kjernene ble det tatt ut prøver for impregnering av tynnslip for analyse med UV-fluorescens. Selve impregneringen ble utført ved Dansk Beton Teknik A/S i Hellerup, Danmark.

4. RESULTATER OG VURDERINGER

4.1 Borchullslogg

Resultatene av borehullsloggen er vist i figurene 2 og 3. Det er stor forskjell i opptreden av sprekker, pegmatittiske eller grov krystalline partier og amfibolittbånd selv for kjerner boret med ca. 20 cm avstand. Dette viser at bergartens sammensetning i området varierer stort innenfor korte avstander. Synlige sprekker er kun observert i de øverste 2-3 m av kjernene. Mange av sprekkeene er karakterisert ved utfelling av brunlig jernoksyd.

4.2 Punktlasttest

4.2.1 Prøvemethoden

Metoden er beskrevet av Broch (1971). Det er blitt brukt to ulike instrument; en egen produsert punktlasttester som er blitt benyttet på kjerner materialet og ett nyinnkjøpt instrument (ELE 77-0110) på det mekaniske prøvematerialet. Måleenheten for de to instrumentene er forskjellige ved at det egenproduserte instrumentet registrerer trykk, målt i bar, mens det nye ELE instrumentet måler kraft, målt i kilo Newton (kN). Registreringene målt i trykk er omregnet til kraft ved at trykksylinderens diameter er kjent.

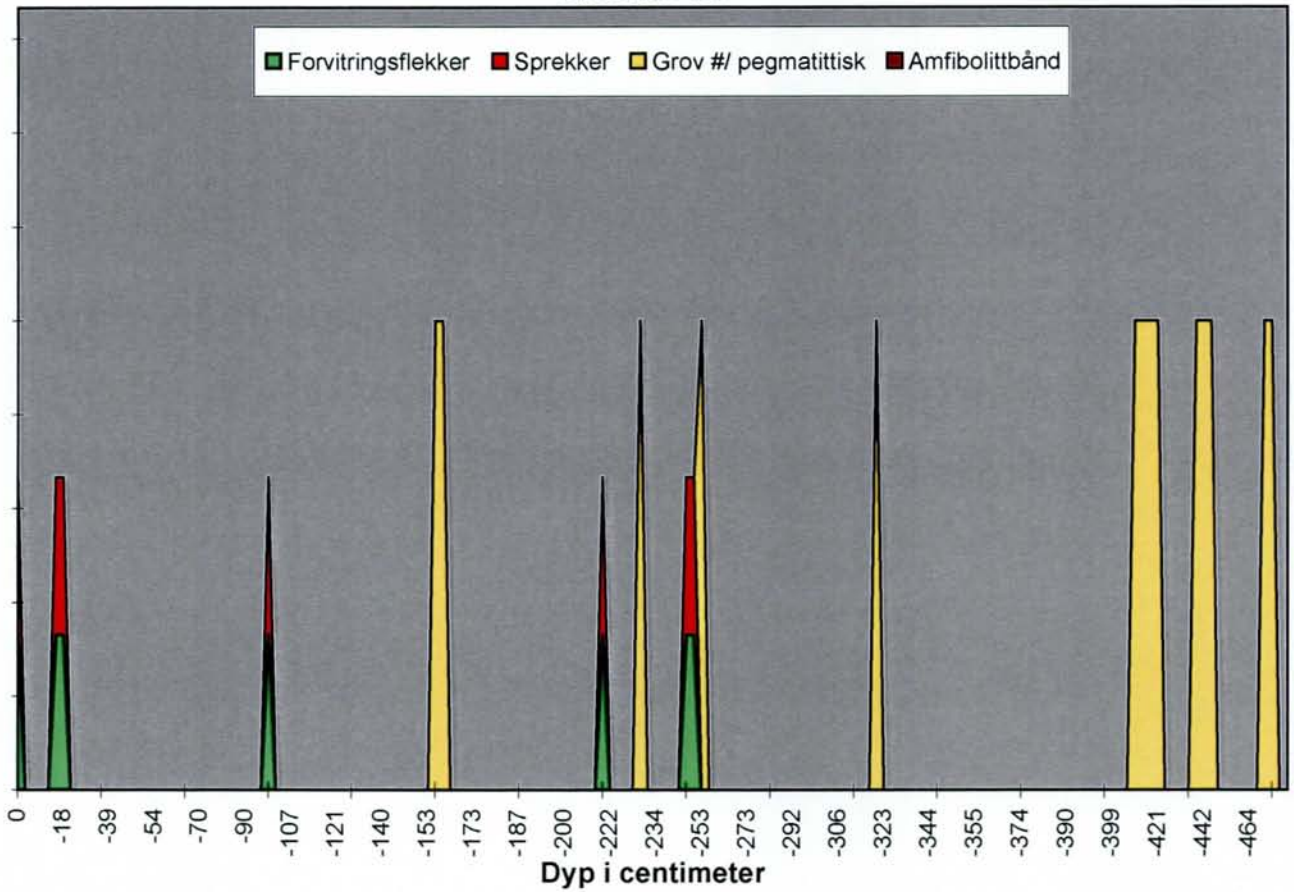
For kjerneprøvene ble testingen utført diametralt. Foliasjonen i bergarten danner ca. 25° med retningen på kjernene. Ideelt bør kjernene bores på tvers av foliasjonen. Det tilrådes ikke å utføre punktlasttest på kjerner som har mindre diameter enn 25 mm. Det betyr at våre målinger, som er utført på kjerner med diameter på 22 mm, vil være noe usikre. I tillegg gir kjerner tatt ved packsack boring en noe uregelmessig overflate i kjerne retningen som også er uheldig for testmetoden. På tross av dette er kjernediameteren stort sett konstant på 22 mm.

For å unngå endeeffekter ble det kun testet på kjernebiter over en viss lengde (Lengde > 2 x 0.7 x 22 mm > 30.8 mm). På grunn av at kjernebitlengden i enkelte partier (spesiell i kjerne 2B) ikke tilfredstilte kravet til minimum kjernelengde er målingene diskontinuerlige mot dypet. Dette framkommer som brudd i linjen som framstiller punktlaststyrkeindeksen (Is) i figurene 4, 5 og 6. Trendlinjene for endringen av punktlaststyrkeindeksen mot dypet er konstruert statistiske ved minste kvadraters metode gjennom to punkt (polynomberegning).

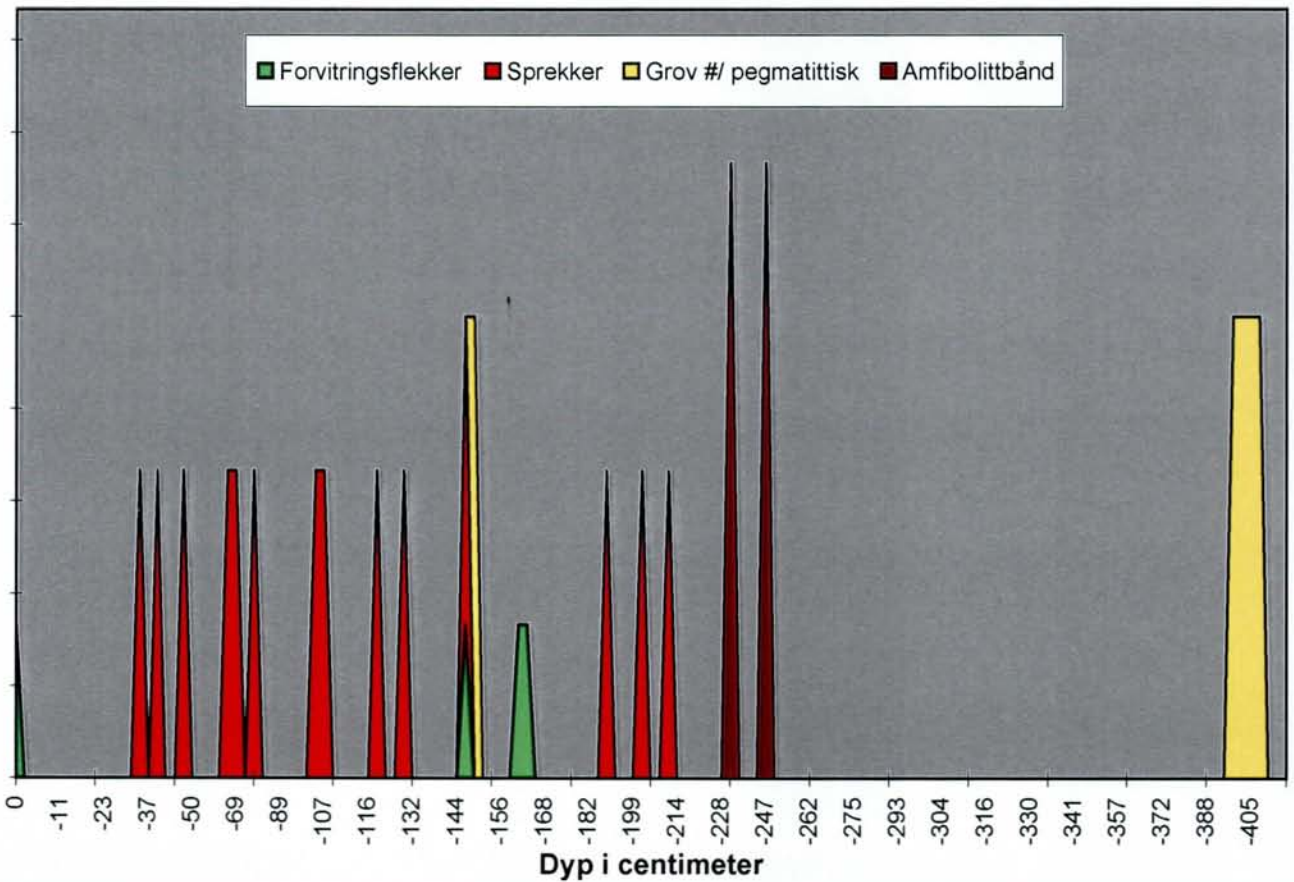
For det mekaniske prøvematerialet ble punktlasttestingen utført på materiale innefor kornfraksjonen 11,2-8,0 mm. Det ble utført 100 målinger for hver prøve. Medianverdien for målingene ble benyttet ved bestemmelse punktlaststyrkeindeksen.

I denne undersøkelsen er det kun av interesse å undersøke den relative forskjellen mellom prøvene. Punktlaststyrkeindeksen er derfor ikke korrigert for formfaktor hverken for kjerneprøvene eller det mekaniske prøvematerialet.

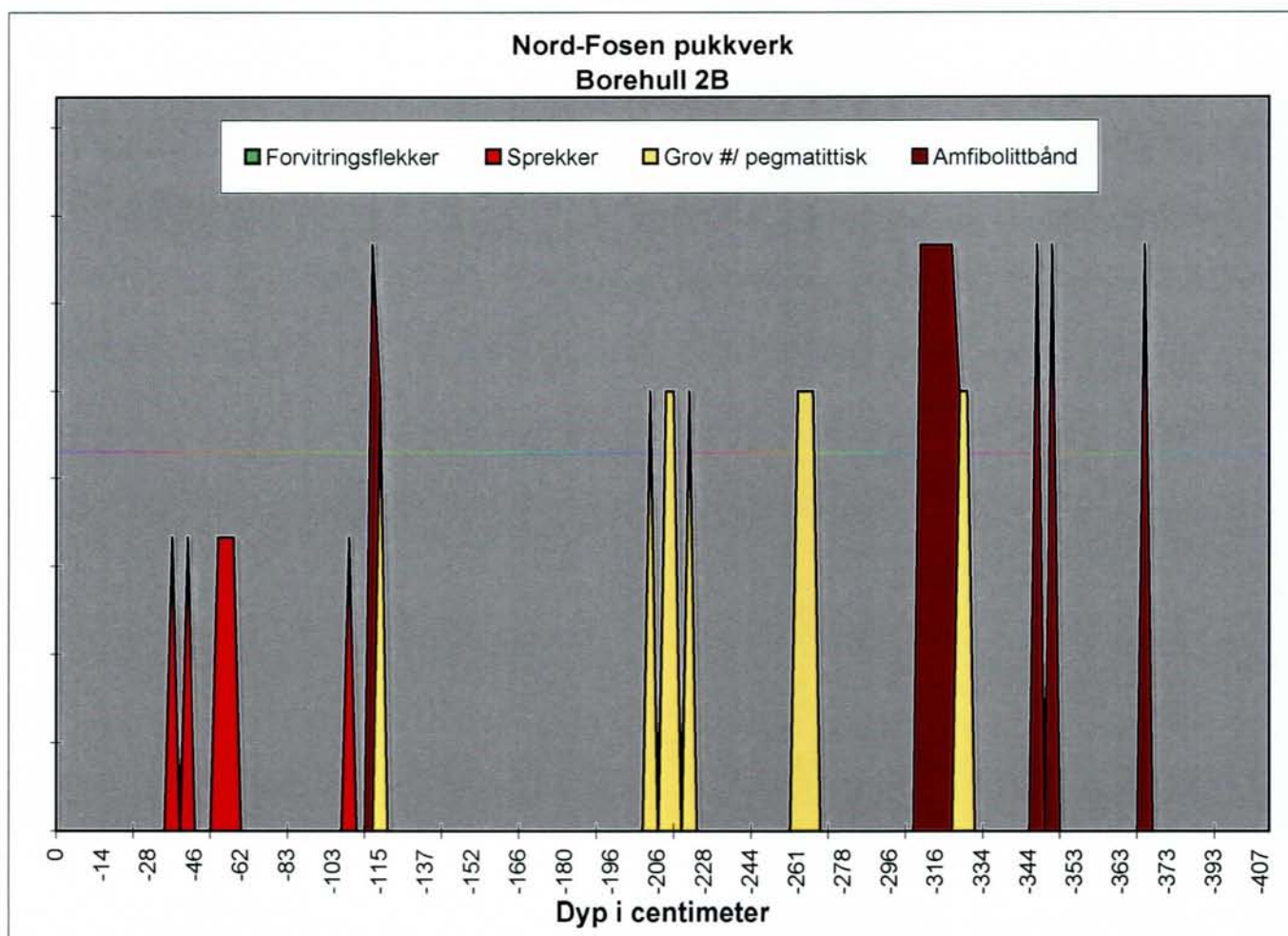
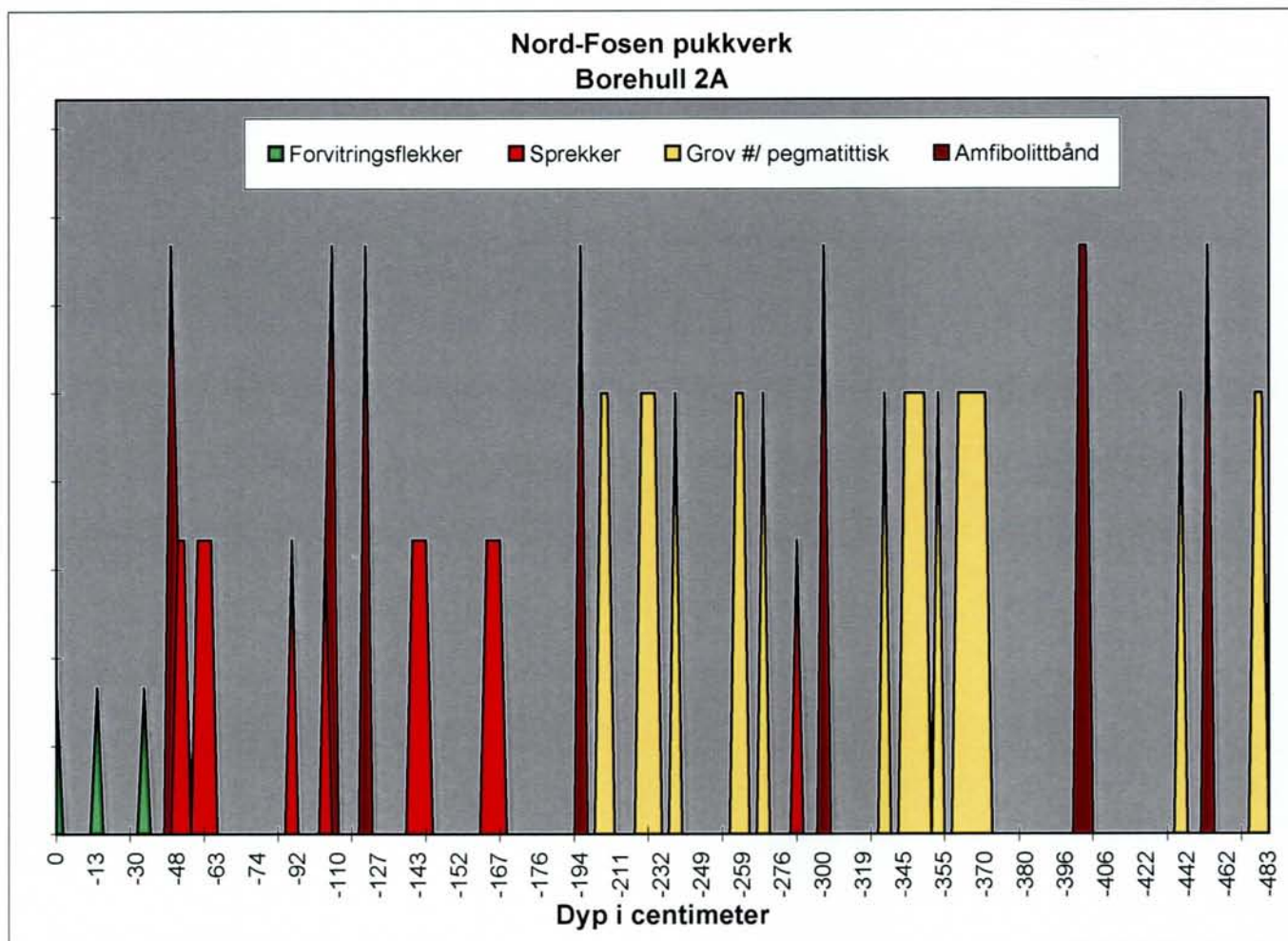
Nord-Fosen pukkverk
Borehull 1A



Nord-Fosen pukkverk
Borehull 1B



Figur 2. Borehullslogg for borehull 1A og 1B.



Figur 3. Borehullslogg for borehull 2A og 2B.

4.2.2 Punktlasttest utført på borekjerner

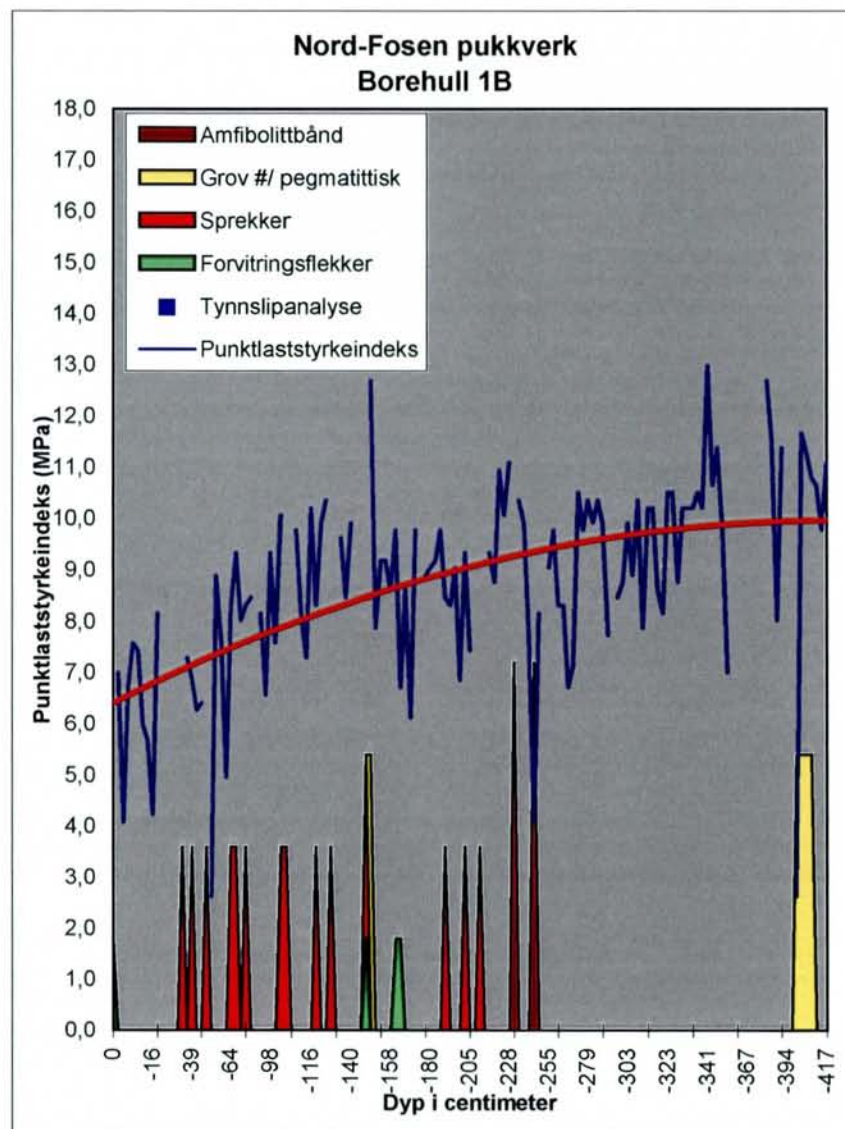
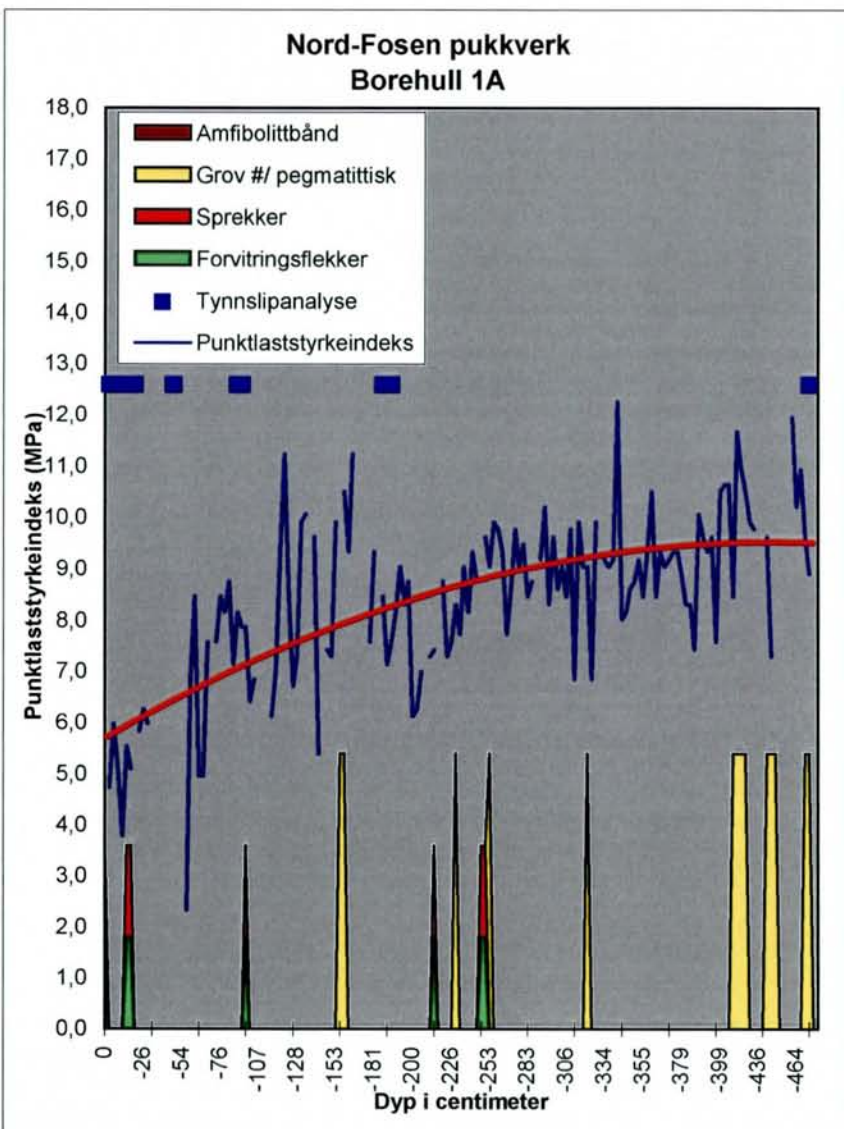
Punktlaststyrkeindeksen er framstilt i figurene 4 og 5 der forløpet er sammenholdt med borehullsloggen (kapittel 4.1).

For borehull 1A og 1B er det ingen åpenbar sammenheng mellom den intense variasjonen i punktlaststyrkeindeksen og observerte litologiske variasjoner i loggen. Unntaket er i to punkt langs borehull 1B med en markert topp (ca. 1,5 m dyp) sammenfallende med et parti med grov krystallin eller pegmatittisk karakter og en bunn (ca. 2,5 m dyp) sammenfallende med et amfibolittbånd. Ellers viser trendlinjene for disse to kjerneprøvene en jevn økning mot dypet med en begynnende utflating under ca. 3 meter.

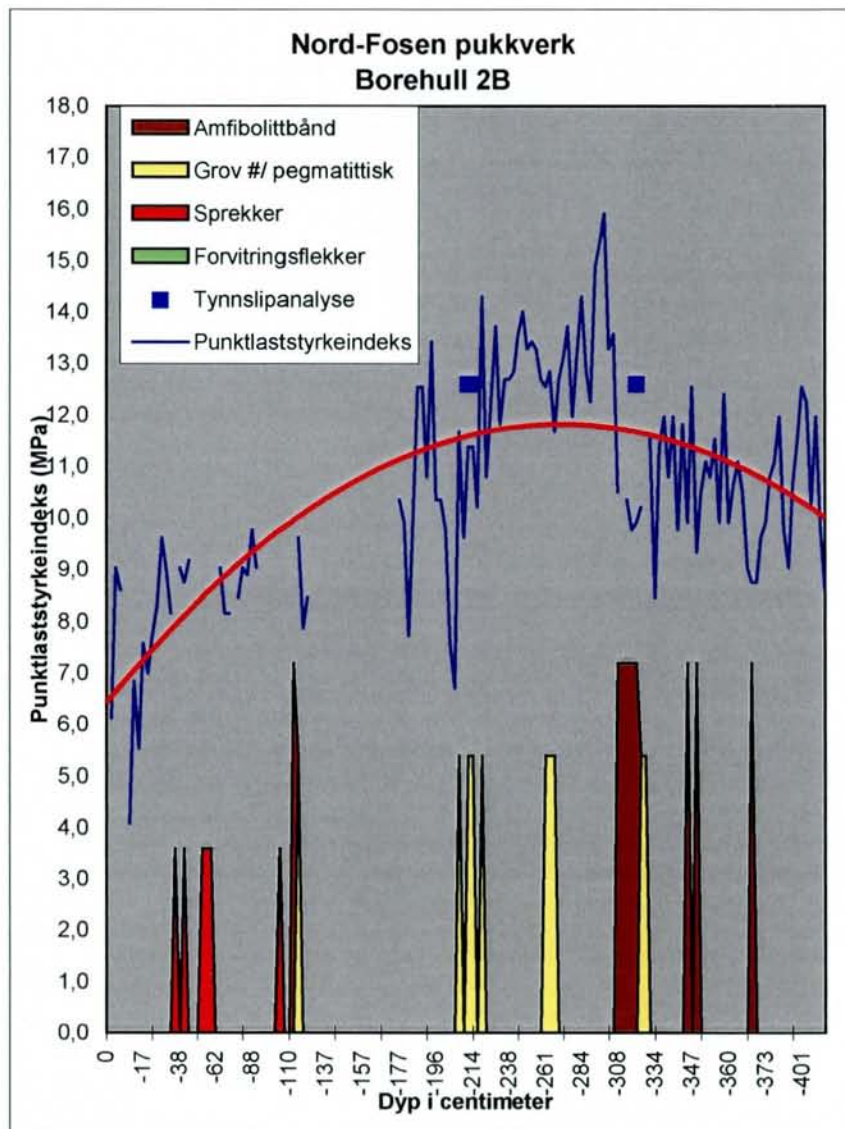
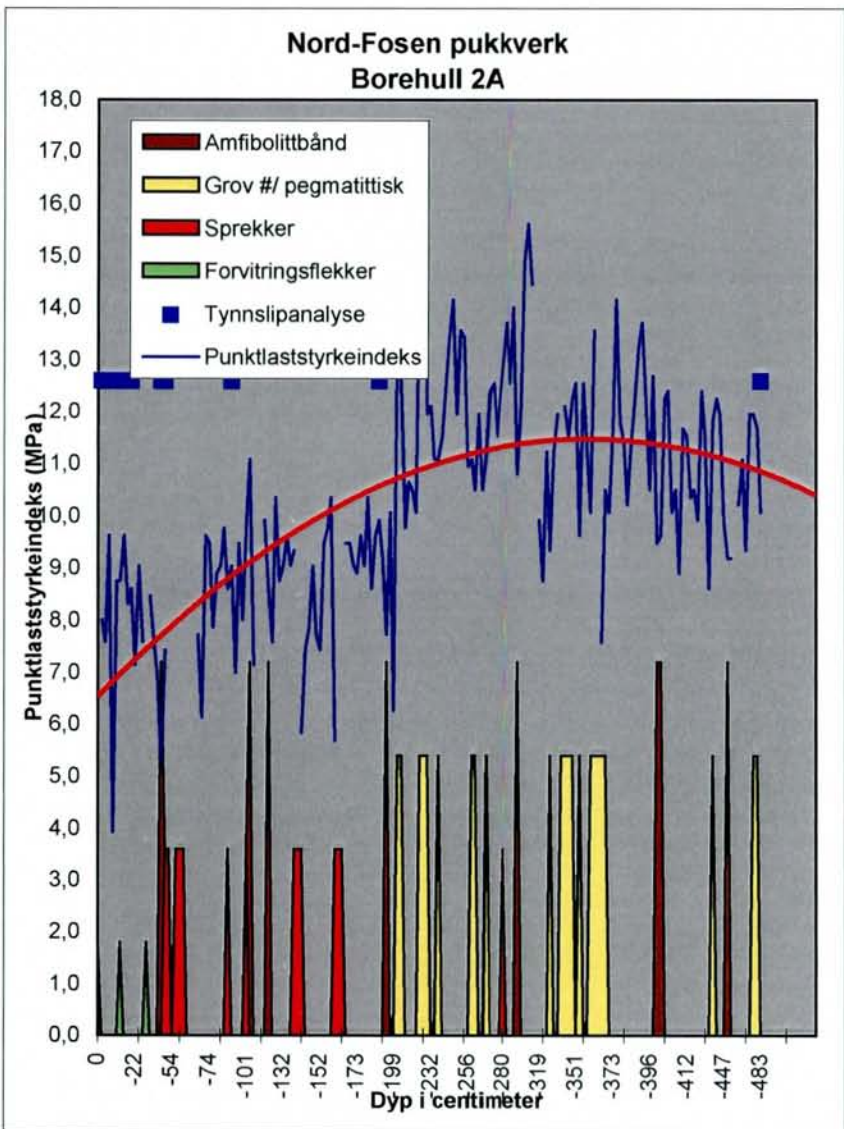
For borehull 2A og 2B er det mer innslag med amfibolitt som med enkelte unntak, viser gjennomgående lavere punktlaststyrkeindeks i forhold til omgivende registreringer langs kjernene. Ellers har et område mellom ca. 2 til 4 meter forhøyet punktlaststyrkeindeks som er sammenfallende med et parti preget av bergart med grov krystallin eller pegmatittisk karakter. Dette partiet medfører at trendlinjen for de to kjernene får en markert forhøyning før linjen faller mot lavere verdier. Dette området ansees som lite representativt for den dominerende bergartstypen i området og markerer sannynligvis en lokal sone. I figur 6 er data fra denne sonen fjernet og en får et mer “normalt forløp” for trendlinjene.

Ved å studere trendlinjene samlet i figur 7 (forhøyete område for borehull 2A og 2B er fjernet) framkommer at kjerne 2A og 2B har noe høyere verdier i forhold til kjerne 1A og 1B. Dette stemmer godt overens med tidligere resultater der det er vist at de mekaniske styrkeparametrene er bedre innenfor denne delen av bruddområdet. Trendlinjene for kjernene som er boret inntil hverandre, viser et noe avvikende forløp mot dypet for kjerne 2A og 2B. For borehull 2A viser trendlinjen et fortsatt stigende forløp mot dypet. For borehull 1 viser trendlinjene nærmest en parallellforskyvning mellom de to kjernene. Trendlinjene gir totalt sett en god kontrast mellom borehullslokalt 1 og 2 slik at metoden ansees å gi et godt bilde over styrkeendringer lokalt mot dypet.

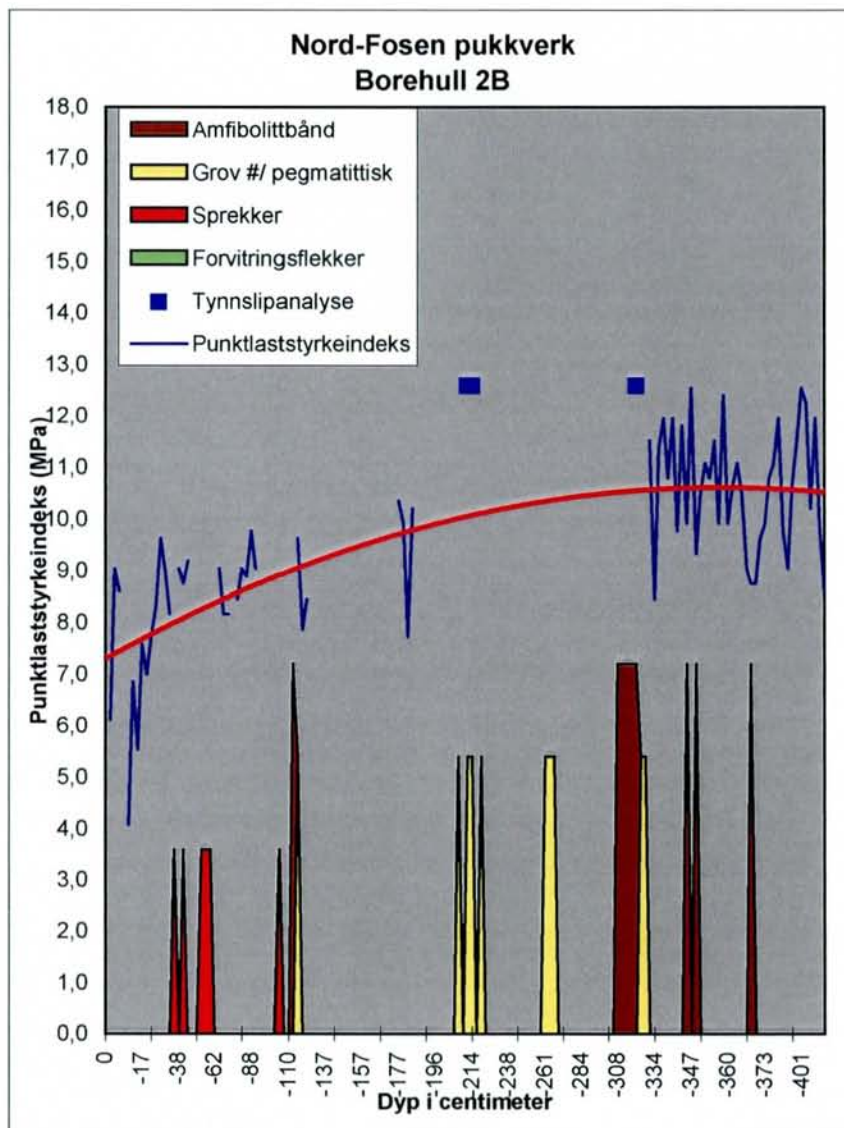
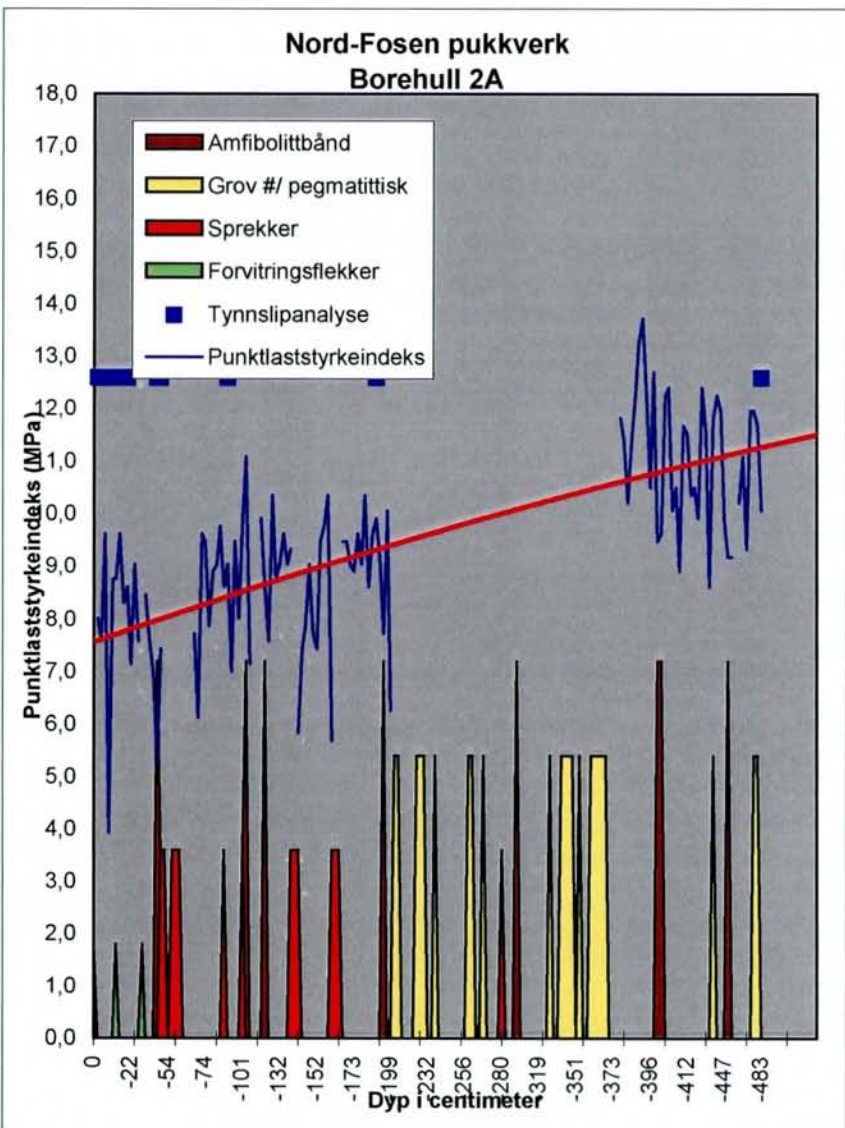
Sammenholdt med observerte sprekker (makroskopiske) og “forvitningsflekker” som kun er observert ned til 2 til 3 meters dyp (figur 4 og 5), virker det som om trendlinjene for borehull 1A, 1B og 2B (figur 7) viser en fallende trend, ved dyp under dette nivået d.v.s. lavere enn ca. 3 meter. Ideelt sett burde alle hullene, spesielt 2A, vært boret noe dypere for å få en bedre avslutning av trendlinjene for punktlaststyrkeindeksen. På tross av dette synes det som om linjene nærmer seg et maksimalnivå mot dypet. P.g.a. kompleksiteten med innslaget av grov krystallint eller pegmatittisk materiale vil dataene for borehull 2A og 2B være noe usikre.



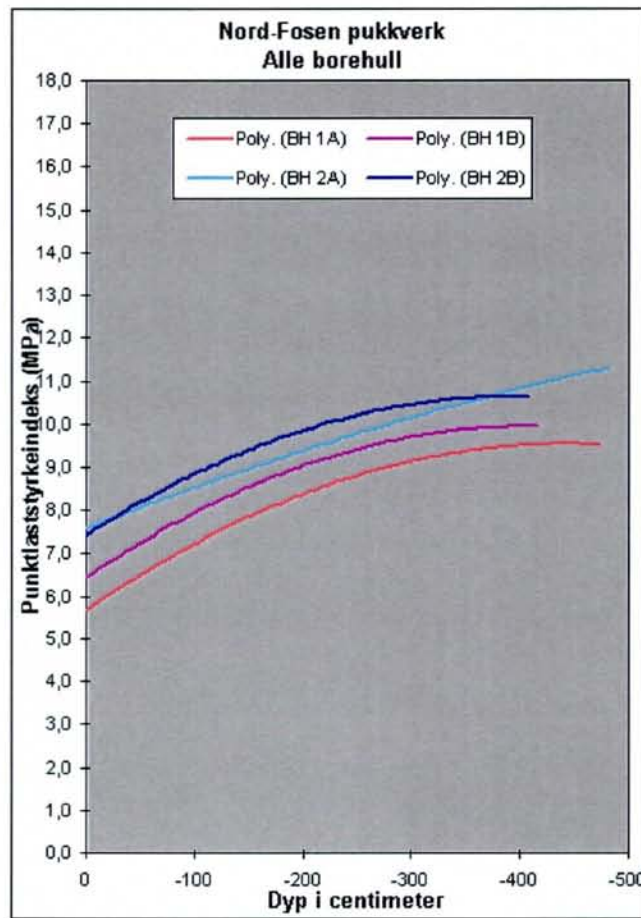
Figur 4. Punktlaststyrkeindeksen sammenholdt med borehullstloggen for borehull 1A og 1B.



Figur 5. Punktlaststyrkeindeksen sammenholdt med borehullstloggen for borehull 2A og 2B.



Figur 6. Punktlaststyrkeindeksen sammenholdt med borehullsloggen for borehull 2A og 2B etter fjerning av data.



Figur 7. Trendlinjer over punktlaststyrkeindeksen endring mot dypet

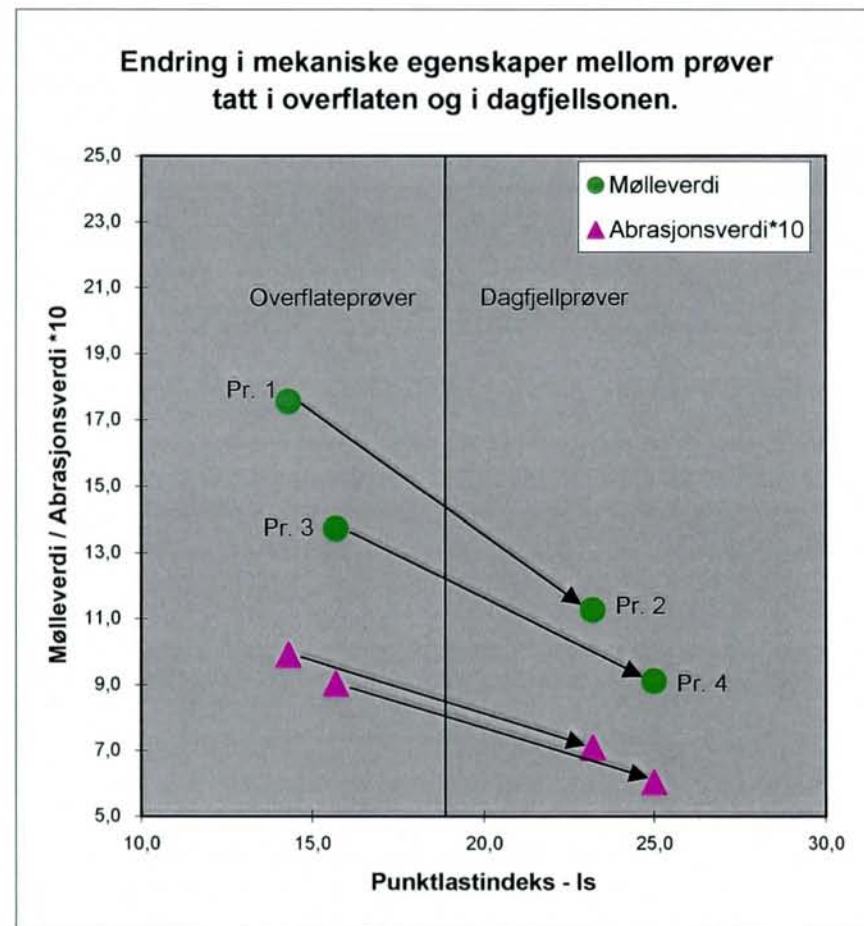
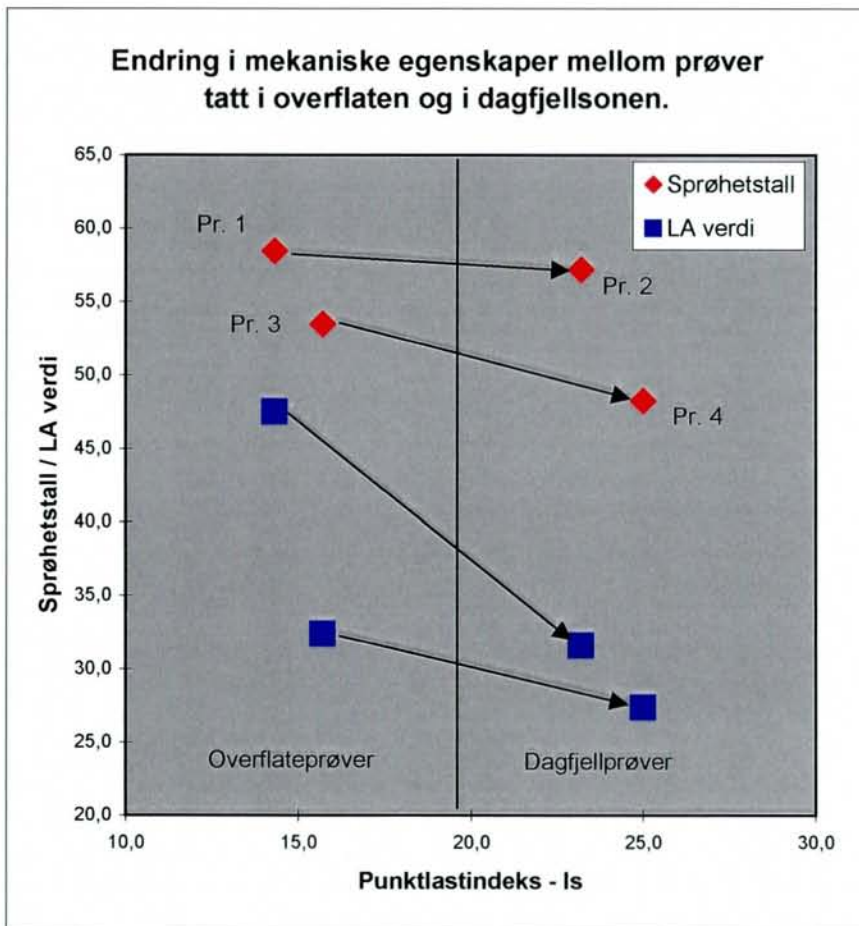
4.2.3 Punktlasttest utført på mekanisk prøvemateriale

Resultatene av punktlasttestingen utført på det mekaniske prøvematerialet er sammenstilt med de viktigste mekaniske testresultatene i tabell 1 og grafisk framstilt i figur 8. Den tidligere påpekte forbedringen i mekaniske egenskaper som oppnås ved å ta prøver dypere ned i dagfjellsonen (Erichsen 1997) framkommer også ved punktlasttesten. (Punktlasttestindeksen er bedre ved høyere tallverdier i motsetning til det som er tilfelle for de andre mekaniske testmetodene i tabell 1). Tilsvarende viser resultatene for punktlasttesten at styrken av prøvene nord i bruddet, prøve 3 og 4, er noe bedre enn prøvene tatt i sør, prøve 1 og 2.

Tabell 1. Mekaniske testresultater.

Prøve	Prøvemedium-S-sør / N-nord	Punktlaststyrke-indeks	Sprøhet	Abrasjon	Kule-mølle	LA-verdi
1	Overflate-S	14,3	58,4	0,99	17,6	47,5
2	Dagfjellsonen-S	23,2	57,2	0,71	11,3	31,6
3	Overflate-N	15,7	53,5	0,90	13,7	32,4
4	Dagfjellsonen-N	25,0	48,2	0,60	9,1	27,4

Figur 8. Endring i mekaniske egenskaper mellom prøver tatt i overflaten og lengre ned i dagjellsonen. Merk at abrasjonsverdiene er multiplisert med en faktor på 10.



Ut fra beregning som angir prosentvis endring ved å ta prøvene dypere ned i dagfjellsonen framfor i overflaten (tabell 2) framkommer at punktlasttesten er den metoden som skiller best den forbedringen som oppnås. Fallprøven uttrykt ved sprøhetstallet gir lavest prosentvis endring, mens abrasjonsmetoden, kule-møllemetoden og Los Angeles metoden gir omtrent samme prosentvis forbedring.

Tabell 2. Prosentvis endring i mekaniske egenskaper mellom overflateutsprengte prøver (1 og 3) og prøver tatt dypere ned i dagfjellsonen (2 og 4).

Prøve	Punktlaststyrke- indeks	Sprøhet	Abrasjon	Kule- mølle	LA- verdi
1 / 2	62,2	2,1	28,3	35,8	33,5
3 / 4	59,2	9,9	33,3	33,6	15,4
Gj.snitt	60,7	6,0	30,8	34,7	24,5
Std.avvik	2,1	5,5	3,5	1,6	12,8

Av de benyttede testmetodene er punktlasttesten den mest følsomme, og i så måte best egnet til å fange opp de påviste svekkelser i de mekaniske egenskapene for prøver tatt i overflaten.

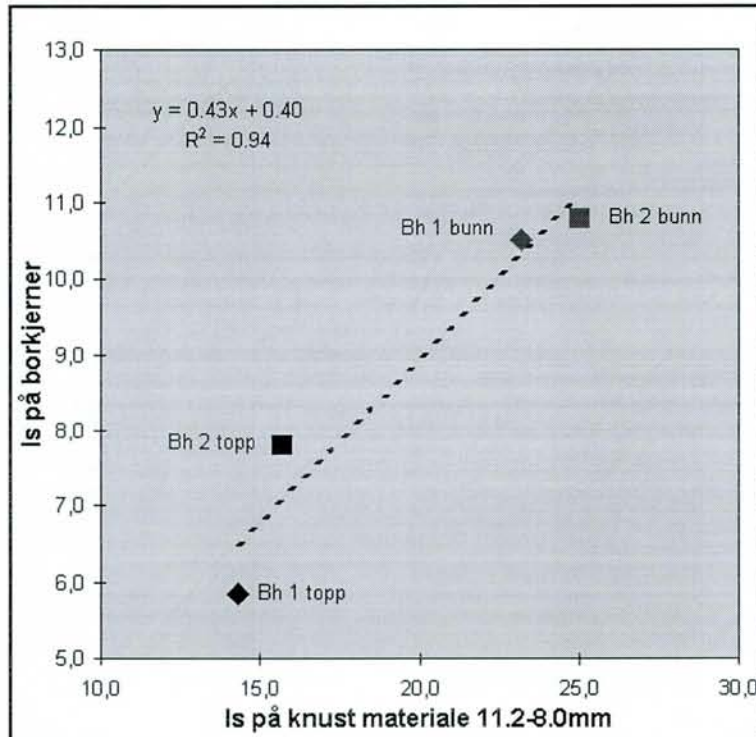
4.2.4 Sammenstilling av punktlasttesting på borekjerne og mekanisk prøvemateriale

I tabell 3 og figur 9 er resultatene av punktlasttestingen i topp og bunn av kjerneprøvene sammenstilt med punktlasttestingen for det mekaniske prøvematerialet. Tallverdiene for punktlaststyrkeindeksen for kjerneprøvene er bestemt i toppen ved å ta gjennomsnittet av registreringene for den første 0,5 meteren for alle kjernene (vedlegg 1). I bunn er indeksen beregnet ved å ta gjennomsnittet av registreringer fra 4 meter og ned til bunn for hver enkelt kjerne.

Tabell 3. Resultat av punktlasttestingen.

Prøve kjerne	Mekanisk prøvemateriale	Is kjerne- prøver (MPa)	Is mekanisk materiale (MPa)
Bh 1 topp	1	5,8	14,3
Bh 1 bunn	2	10,5	23,2
Bh 2 topp	3	7,8	15,7
Bh 2 bunn	4	10,8	25,0

Det er en god korrelasjon mellom punktlaststyrkeindeksen målt på henholdsvis kjerneprøver og mekanisk prøvemateriale. Resultatene viser at punktlasttesten er en velegnet metode for å registrere mekanisk styrkeendring mot dypet på kjerneprøver.



Figur 9. Punktlaststyrkeindeks på borekjerne og knust materiale.

4.3 Fluorescenspetrografi av vakuumpregnerede tynnslip

4.3.1 Prøveoversikt

Tabell 4 og figurene 4 og 5 viser prøvenummerering og hvor prøvene er tatt for tynnslip-analyse. Prøvene er tatt med omtrent logaritmisk avstand mot dypet. I praksis danner prøvene 1 til og med 5 en kontinuerlig rekke som dekker hele borekjernen ned til ca. 20 cm dyp. Prøvene 6, 7, 8 og 9 representerer "frittstående" enkelt slip. Prøvene 2B1 og 2B2 er tatt fra henholdsvis amfibolitt og pegmatitt som opptrer som årer i hovedbergarten.

Tabell 4: Prøvenummer og dyp i meter under dagen.

Kjerne	Dyp i mm								
	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
1A-	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
2A-	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
2 B-							-1*	-2*	

* Slip 2B-1 (amfibolitt) er tatt på ca. 1,4m dyp.
 Slip 2B-2 (pegmatitt) er tatt på ca. 2,6m dyp.

4.3.2 Tynnslippreparering/-analyse

Vanlige tynnslip blir produsert etter metoden som beskrevet av Humphries (1992), som er vanlig for standard petrografiske undersøkelser. Når man ønsker å få frem opplysninger om bergartens porøsitet og permeabilitet, eventuelle sprekker og sprekkemønsteret trengs andre metoder, som for eksempel vakuum-impregnering av tynnslip.

Et fargestoff som lyser grønt under UV-lys, kjent som 'Hudson Yellow' eller 'Bright Yellow' blandes med epoxyharpiks i et nøyaktig kjent forhold. Epoxyharpiksen er ikke spesielt tyntflytende, men har en høy kapillær virkning. Tørkede prøvebiter blir impregnert under vakuum flere ganger slik at harpiksen trenger seg inn så dypt som mulig. Etter fullstendig utharding lages tynnslip av de impregnerte bitene etter en nøyaktig prosedyre som garanterer fullstendig impregnering .

Framgangsmåten ved preparering gjør at til og med de fineste detaljer blir impregnert. Dette inkluderer alle hullrom ned til 0,2µm, dvs. langt mindre enn den maksimale oppløsning til optiske mikroskop for tynnslipanalyse (StJohn et al. 1998).

Den nevnte prosessen er standardisert, slik at det er mulig å bruke fluorescens-mikroskopi som en semikvantitativ metode for betongskadeundersøkelser (StJohn et al., 1998; Broekmans & Jansen 1997). Kvantifisering av mikroskopiske fluorescensfenomener i de undersøkte tynnslipene er utført etter Prøvningsmetode TI-B 5 (1987) fra det Danske Teknologiske Institutet. Selv om metoden opprinnelig er utviklet for undersøkelser av betongskader er den brukbar for registrering av alle slags sprekkemønstre.

Bergartenes mineralogiske sammensetning er vist i tabell 5. Utvidet petrografisk beskrivelse er gitt i vedlegg 2.

Tabell 5: Mineralinnhold av undersøkte bergarter fra Nord-Fosen pukkverk.

Bergart	Kornstørrelse i mm	Kornfordeling	Kalifeltspat	Plagioklas	Kvarts	Myrmekitt	Klinoamfibol	Biotitt	Muskovitt	Kloritt	Epidott	Titanitt	Opake	Øvrige
Gneis	1-3	j	30	30	15	6	7	8	sp	2	sp	sp	1	aln, ap, zr
Amfibolitt	1-3	j	10	20	8	sp	40	12		4	2	3	1	aln, ap, prh, zr
Pegmatitt	2-5	u	65	6	20	4		4	sp	sp	sp	1	sp	ap, zr

Kornfordeling : jevn (j) eller ujevn (u).
aln - allanitt, ap - apatitt, zr - zirkon, prh - prehnitt, sp - spor

Det har ved tynnslipanalyse ikke vært mulig å påvise noen form for omvandling eller endring i omvandling, hverken mineralogisk eller langs korngrenser, med økende dyp.

4.3.3 Sprekkemønster

Antall sprekker pr. kvadrat millimeter er kvantifisert ved å telle antall sprekker i ti arealer pr. slip spredt jevnt over hele slipet (vedlegg 3). Arealene for telling ble valgt langt fra endeflater på kjernene der sprekker kunne være blitt initiert som følge av punktlasttestingen. I tillegg til sprekker impregneres også inneslutninger (som er blitt åpnet ved preparering av tynnslip), spalteflater i mineral (biotitt og kloritt - ett sett, amfibol - to sett, feltspat og plagioklas - kan vise opp til 3 sett), tvillingplan (plagioklas) og korngrenser. Med unntak av korngrensene ble alle disse registrert som "ekte sprekker" ved sprekkeregistreringen. Det ble ikke skilt mellom sprekker med forskjellig bredde.

En sprekke kan defineres som en grense mellom to deler i tynnslipet, som ikke nødvendigvis trenger å skjære gjennom hele slipet/kjernen. Sprekkeene har en viss orientering, er mer eller mindre planær utformet og deler gjennom individuelle korn i stedet for bare å følge korngrenser. Sprekkeene må være "betydelig" bredere/tykkere enn korngrensene. Problemer ved sprekketelling er beskrevet nærmere i vedlegg 4.

Tellearealet er på $5,89\text{mm}^2$ ved en forstørrelse på $63\times$ (Leitz Orthoplan Pol). Tabell 6 viser resultatene oppgitt som gjennomsnittsverdi pr. kvadratmillimeter for hvert tynnslip. Måleusikkerheten er satt til to ganger standardavvik (2δ), som tilsvarer 95% konfidensintervall.

Tabell 6: Sprekketetthet i antall sprekker per kvadrat mm.

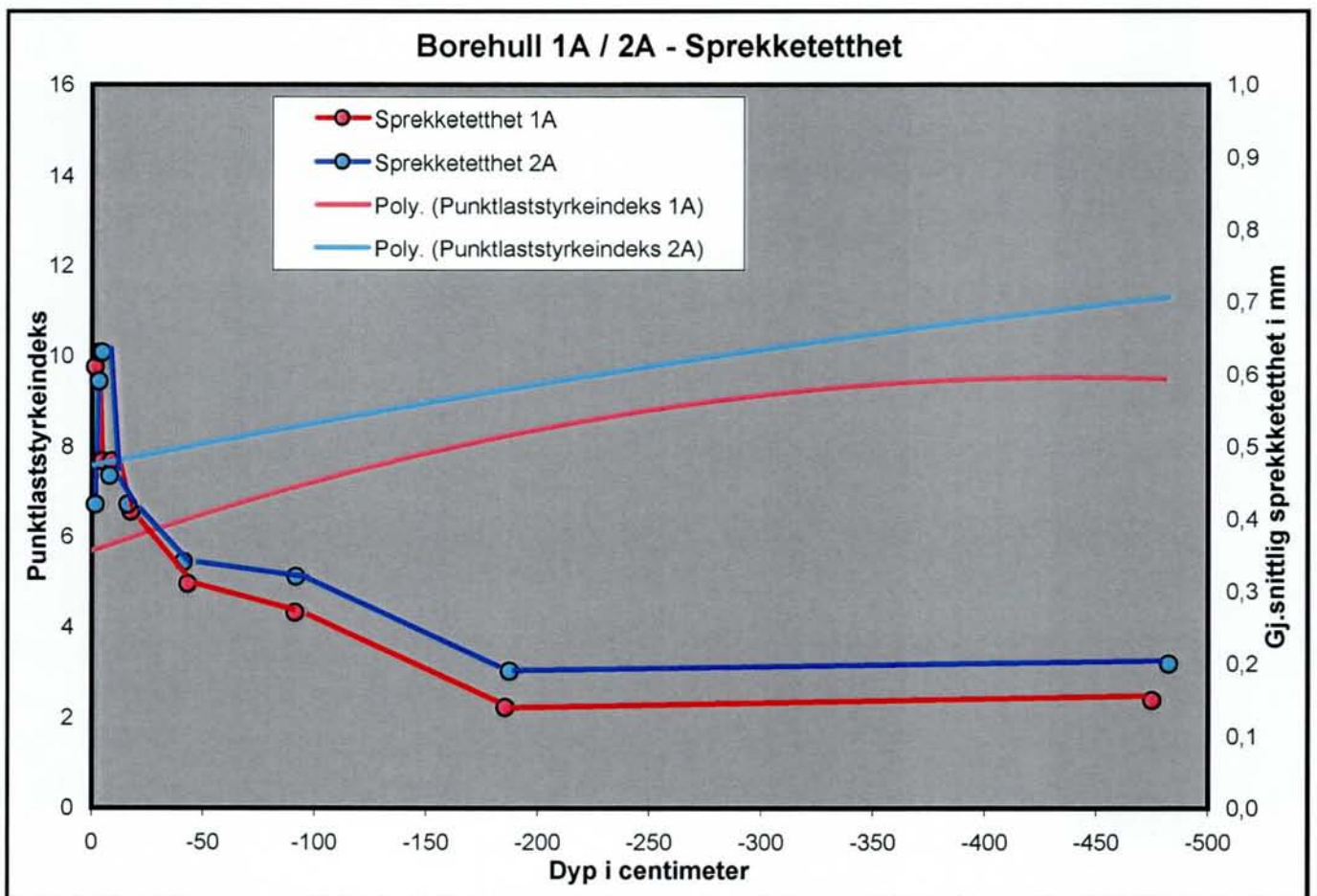
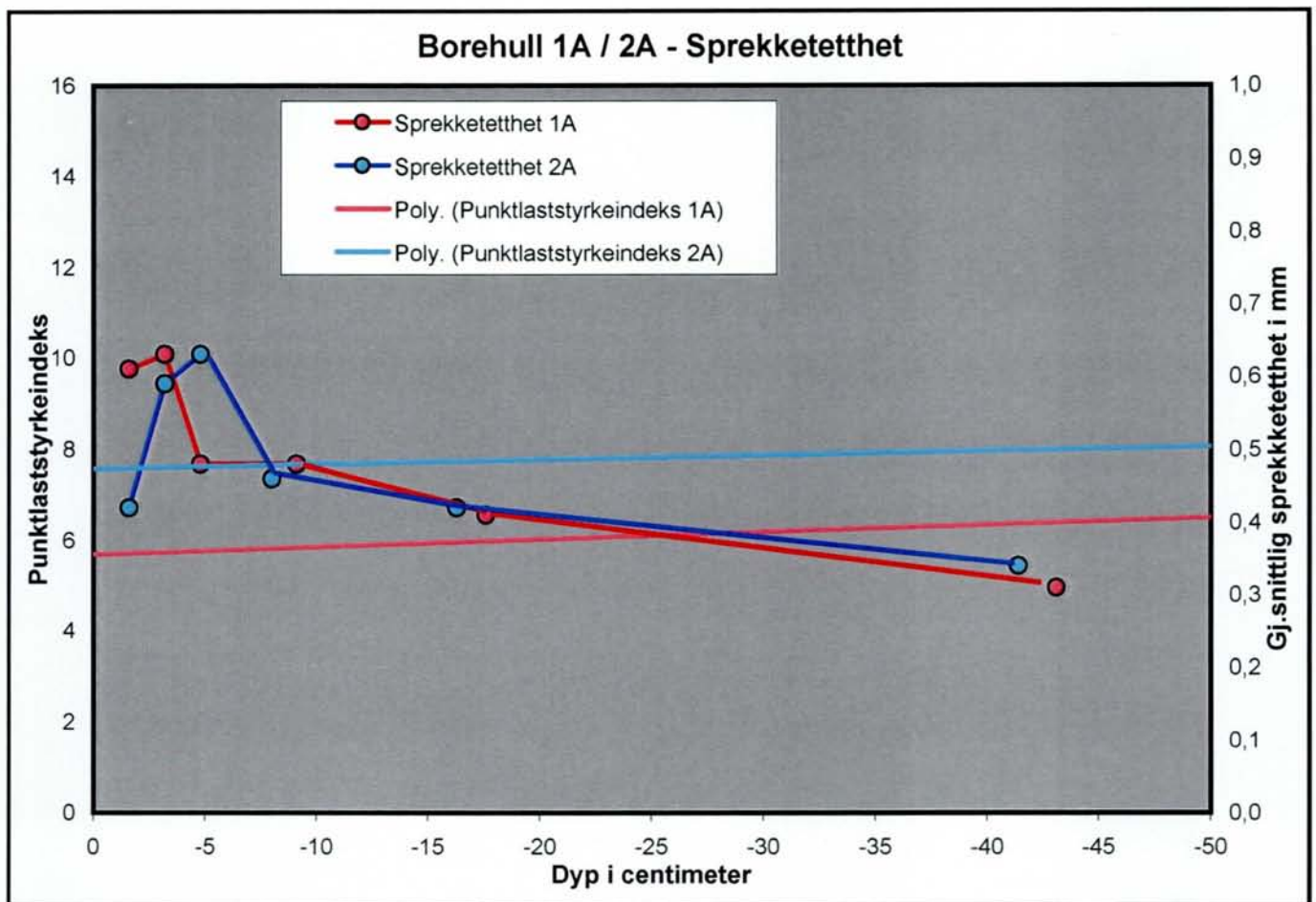
Dyp i m.	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
Prøve 1A-	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
Gj.snitt	0,61	0,63	0,48	0,48	0,41	0,31	0,27	0,14	0,15
2δ	0,37	0,42	0,27	0,36	0,29	0,22	0,29	0,22	0,34
Prøve 2A-	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
Gj.snitt	0,42	0,59	0,63	0,46	0,42	0,34	0,32	0,19	0,20
2δ	0,29	0,32	0,29	0,42	0,42	0,51	0,41	0,31	0,27
Prøve 2B-							-1	-2	
Gj.snitt							0,20	0,34	
2δ							0,36	0,39	

4.4 Sammenstilling av borhullslogg, punktlaststyrkeindeks og sprekkemønster

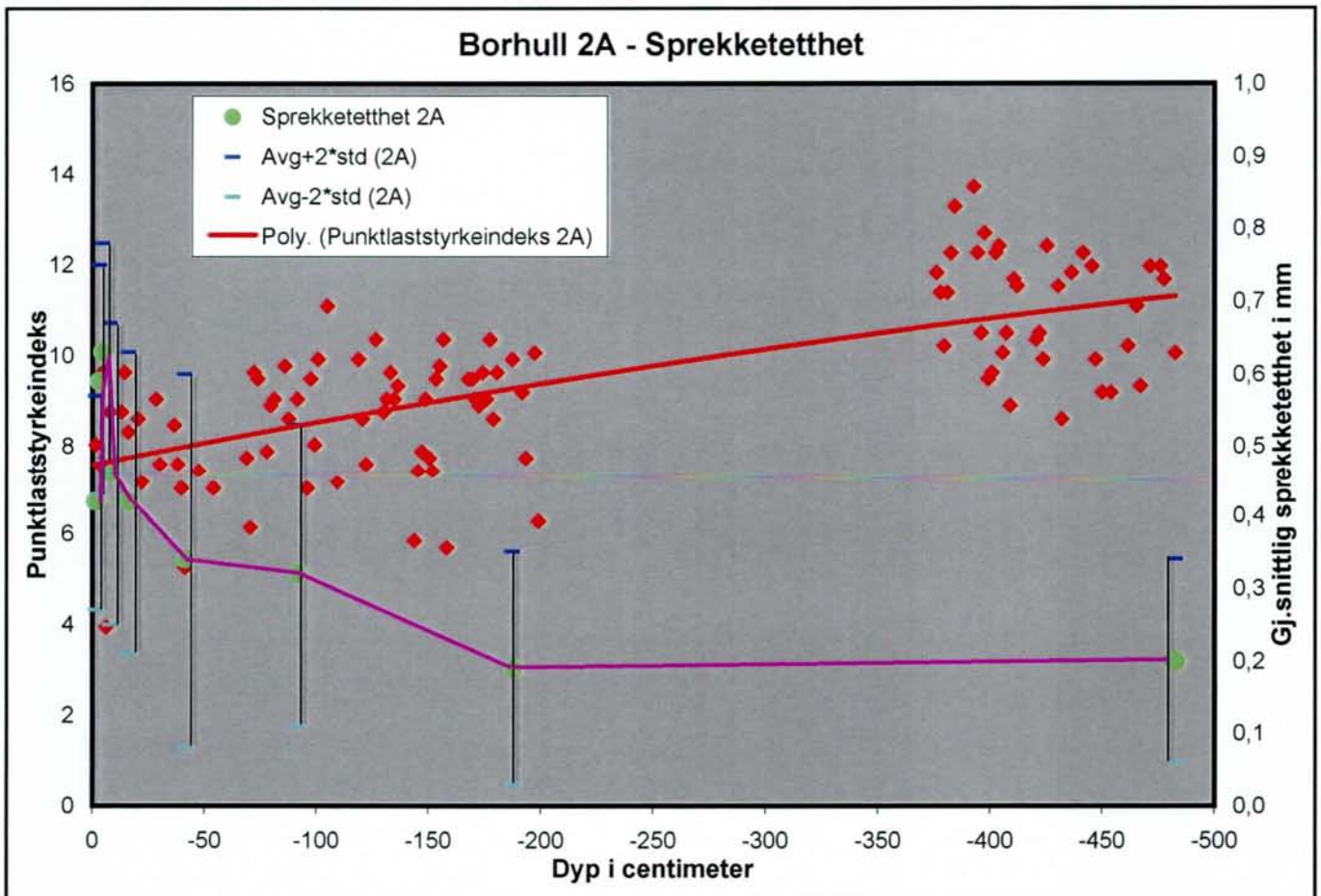
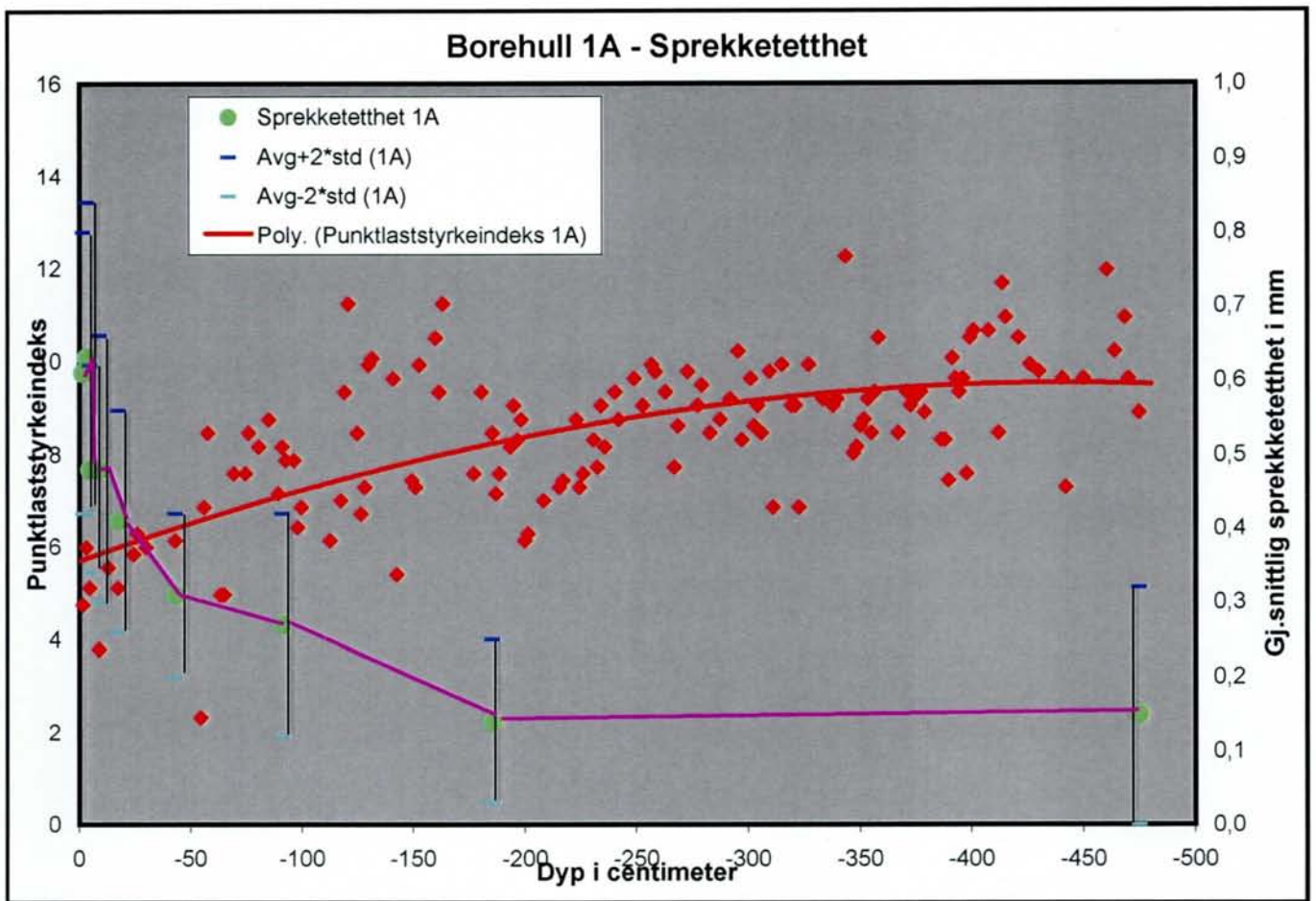
I figur 10 er forløpet av sprekketettheten sammenholdt med punktlaststyrkeindeksen. I toppen av begge borekjernene øker den gjennomsnittlige sprekketettheten (figur 10 øverst), og synker etterhvert til en lavere bakgrunnsverdi (figur 10 nederst). Bakgrunnsverdien oppnås mellom 1-2 meters dyp. Dette avviker noe med borehullsloggen (kapittel 4.1, figur 2 og 3) der det ble observert makroskopiske sprekker ned til 2-3 meters dyp.

Maksimal sprekketetthet ligger noe dypere i kjerne 2A enn i 1A (figur 10 øverst). Generelt for de to borekjernene avtar sprekketettheten med økende punktlaststyrkeindeksen mot dypet. Dette stemmer godt overens med hva en skulle forvente i forhold til observerte endringer i mekanisk styrke. Kjerne 2A viser noe høyere punktlaststyrkeindeks enn kjerne 1A. En skulle dermed anta at sprekketettheten for kjerne 2A var lavere i forhold til kjerne 1A. Dette er ikke tilfelle og det motsatte forholdet opptrer. Sprekketettheten på dyp under 0,5 meter er høyere i kjerne 2A enn i 1A. Stor variasjon i registreringene både for punktlasttesten og måling av antall sprekker (figur 11) tilsier at det er vanskelig å skille slike små nyanser mellom de to datasettene.

Amfibolitt har noe færre sprekker enn gjennomsnittsverdien for hovedbergarten på tilsvarende dyp (prøve 2B-1 i tabell 6), mens pegmatitten har flere sprekker (prøve 2B-2 i tabell 6). Dette er som forventet ved at kvartsrike bergarter antas å være ”mer sprø” og dermed mer utsatt for oppsprekking i forhold til ”seige bergarter” med lavere kvartsinnhold.



Figur 10. Endring i punktlaststyrkeindeks og sprekketthet med dypet. Øverste figur dekker de første 50 centimeter.



Figur 11. Endring i punktlaststyrkeindeks og sprekketetthet med dypet for borehull 1A og 2A.

5. STATUS - ARBEIDSHYPOTESE - FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Status for undersøkelsene så langt er som følger;

- Makroskopiske sprekker opptrer i de øverste 2-3 meterne av borekjernene.
- Punktlasttest utført på borekjerner viser en økende punktlaststyrkeindeks mot dypet. Økningen synes å flate ut og når en maksimalverdi ved ca. 3 meters dyp for den undersøkte bergarten.
- Punktlasttesten viser varierende, men rimelig god samvariasjon med andre mekaniske styrkeparametre som sprøhetstall, Los Angeles verdi, abrasjonsverdi og kulemølleverdi.
- Av de mekaniske testmetodene gir punktlasttesten størst utslag ved endringer i mekaniske egenskaper mellom prøver tatt i overflaten i forhold til prøver tatt på større dyp.
- Punktlasttest utført på borekjerner og mekanisk prøvemateriale tatt henholdsvis i toppen og i bunn langs borekjernen viser meget god samvariasjon.
- Det har ved tynnslipanalyse ikke vært mulig å påvise noen form for omvandling eller endring i omvandling, hverken mineralogisk eller langs korngrenser, med økende dyp.
- Antall mikroskopiske sprekker avtar mot dypet og når en nedre bakgrunnsverdi ved 1-2 meters dyp.

Av dette foreslås følgende metodikk for mekanisk prøvetaking ved utsprengning:

- Prøver som skal analyseres mht. til mekaniske egenskaper og som må sprenges ut bør tas på dyp helst under 3 meter for å være representative for det undersøkte området.

Undersøkelsene har hatt som arbeidshypotese at svekkelsen i de mekaniske egenskapene skyldes en eller annen form for forvittringsfenomen i dagfjellsonen. Så langt har det ikke vært mulig å påvise noen form for omvandling. Observasjoner av både makro- og mikrosprekker konsentrert i de øverste meterne sammenfaller godt med de registrerte endringer i mekanisk styrke i dagfjellsonen. Det er lite sannsynlig at oppsprekking alene kan forklare den drastiske reduksjonen i de mekaniske styrkeparametrene, som er registrert ved Nord-Fosen pukkerk. Det antas fortsatt at svak omvandling eller overflateforvitring, muligens kun langs sprekker og korngrenser opptrer. Tilstedeværelse av sprekker tilsier at større vannsirkulasjon (saltvann i kystklima) kan forekomme og at dette, sannsynligvis kun for enkelte bergartstyper, vil påvirke de mekaniske egenskapene i de øverste 2-3 meterne.

Som forslag til videre arbeid for å finne årsakssammenhengen til problemet foreslås følgende utført;

- Bruk av mikrosonde/elektronmikroskop for nærmere undersøke av mineralogi/kjemi langs sprekker og korngrenser i tynnslip.
- DTA/TGA-analyse (finnes ved NTNU) for identifisering av små mengder av intergranulært vann og/eller andre flyktige bestanddeler langs korngrensene.
- FT-IR-analyse (finnes ved lab. i Nederland). Sammenstilt med DTA/TGA dataene er det mulig å identifisere mikromengder med leirmineraler og tilsvarende forvitningsprodukt i bergarten. Begge de to sistnevnte analysene må utføres ved samme laboratorie for at dataene skal kunne sammenstilles.
- Flere typer bergarter bør undersøkes for å få vurdert hvordan bergarter med ulikt mineralinnhold påvirkes mekanisk i dagfjellsonen.

Bruk av mikrosonde/elektronmikroskop for nærmere undersøke av mineralogi/kjemi langs sprekker og korngrenser i tynnslip

6. REFERANSER

- Barla, G (1974): Rock anisotropy. Courses and Lectures of the International Centre for Mechanical Sciences. Springer verlag, Wien: 131-169.
- Bohlooli, B (1997): Anisotropy and mechanical behaviour of rocks. Sammendrag fra det 6. Nordiske Forskerseminar om Råstoffer til Bygge- og Anlægsområdet, 25. og 26. november, København: 23.
- Broch, E (1971): Point load testing of rocks. Institutt for Bergteknikk og Geologi, NTH Trondheim. Ingeniørgeologi rapport (4): pp 87.
- Broekmans, MATM, og Erichsen, E (1997): The assessment of rock alteration with UV-fluorescent impregnated thin sections. Sammendrag til det 6. Nordiske Forskerseminar Råstoffer til Bygge- og Anlægsområdet, Lyngby, Danmark: 30-31.
- Broekmans, MATM, og Jansen, JBH (1997): ASR in impure sandstone: mineralogy and chemistry. In: Sveinsdóttir, EL (editor): Proceedings of the 6th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Reykjavik: 161-176.
- Erichsen, E (1997): Delrapport kystnære store pukkverk i Norge. Nord-Fosen pukkverk. NGU rapport 96.153.
- Humphries, DW (1992): The preparation of thin sections of rocks, minerals and ceramics. Royal Microscopical Society, Oxford Science Publications, Microscopy Handbooks (24): pp 83.
- Neeb, PR (1992; redaktør): Byggeråstoffer: kartlegging, undersøkelse og bruk. Tapir Forlag, Trondheim: pp 373.
- Prøvningsmetode TI-B 5 (1987): Strukturanalyse af beton i forbindelse med kvalitetskontrol. Byggeteknik, Teknologisk Institut, København: pp ??.
- Selmer Olsen, R, og Broch, E (1981): Ingeniørgeologi fjell. Foreløpig kompendium for fag (215/15). Geologisk institutt, NTH.
- StJohn, DA, Poole, AB, og Sims, I (1998): Concrete petrography. Arnold Publishers, London: pp 474.

Vedlegg 1 : Måling av punktlaststyrkeindeks

Dyp, cm	BH 1A	BH 1B	BH 2A	BH 2B	Dyp, cm	BH 1A	BH 1B	BH 2A	BH 2B
0					-400			9.5	
-2	4.7	7.0	8.0	6.1	-401	10.7		9.6	12.6
-3	6.0	4.1	7.6	9.1	-402		11.7		12.3
-5	5.1	6.7	9.6	8.6	-403			12.3	
-6		7.6	3.9		-404			12.4	10.2
-8			8.8		-405		11.2		12.0
-9	3.8				-406			10.1	
-11		7.4			-407				9.9
-12				4.1	-408	10.7		10.5	
-13	5.5	6.0	8.8		-409		10.8	8.9	8.6
-14		5.7		6.9	-411			11.7	
-15			9.6	5.5	-412	8.5		11.5	
-16		4.2	8.3		-414	11.7	10.7		
-17				7.6	-415	11.0	9.8		
-18	5.1	8.2			-417		11.1		
-21			8.6		-421	10.5		10.4	
-22			7.2		-422			10.5	
-23				7.0	-424			9.9	
-24		6.7			-425			12.4	
-25	5.8			7.7	-426	9.9			
-26	6.3			8.3	-430	9.8			
-28				9.6	-431			11.5	
-29			9.1		-432			8.6	
-30	6.0		7.6	9.1	-437			11.8	
-31		6.4		8.2	-441	9.6			
-37		7.3	8.5		-442	7.3		12.3	
-38			7.6	9.1	-446			12.0	
-39		6.9			-447			9.9	
-40			7.0		-450	9.6		9.2	
-41			5.3		-454			9.2	
-42				8.8	-461	12.0			
-43	6.1	6.3			-462			10.2	
-44		6.4			-464	10.2			
-46				9.2	-466			11.1	
-48			7.4		-467			9.3	
-50		2.6			-469	11.0			
					-470	9.6			
					-472			12.0	
					-475	8.9			
					-476			12.0	
					-478			11.7	
					-483			10.1	

Dyp, cm	BH 1A	BH 1B	BH 2A	BH 2B	Dyp, cm	BH 1A	BH 1B	BH 2A	BH 2B
Max	6.3	8.2	9.6	9.6	Max	12.0	11.7	12.4	12.6
Min	3.8	2.6	3.9	4.1	Min	7.3	9.8	8.6	8.6
Ant	10.0	16.0	17.0	16.0	Ant	16.0	6.0	28.0	6.0
Gj.snitt	5.5	6.2	7.8	7.8	Gj.snitt	10.1	10.9	10.7	10.9
Std	0.8	1.5	1.5	1.5	Std	1.2	0.6	1.2	1.6
Median	5.7	6.6	8.0	8.3	Median	10.1	11.0	10.5	11.1
Topp					Bunn				
Gj.snitt 1A+1B:		5.8			Gj.snitt 1A+1B:	10.5			
Gj.snitt 2A+2B:		7.8			Gj.snitt 2A+2B:	10.8			

Vedlegg 2. Utvidet petrografisk beskrivelse.

Gneis

Mineralogi og tekstur

Gneis er hovedbergarten i området. Den virker noe ujevnkornet og har en utpreget retningsorientering, men mangler bånding eller lagdeling. Bortsett fra noen pegmatittganger eller/og noen amfibolrike partier virker bergarten homogen. Alle fire borekjernene danner en vinkel på ca. 25° i forhold til foliasjonen på.

Hovedmineralene er kvarts, feltspat, plagioklas (~An30 med albittrikere render), hornblenderik amfibol, biotitt og noen aksessoriske mineraler som allanitt, epidot, apatitt, zirkon eller xenotim, og noen opake mineralkorn som ofte er omkranset av titanitt. Store allanitter har en lysfarget kjerne med en gullbrunfarget rand. Kjernen viser flere fargesjatteringer, sannsynligvis på grunn av noe varierende kjemisk sammensetning. Alle mindre allanitter mangler en slik kjerne og er bare gullbrun. Finkornet muskovitt eller serisitt opptrer meget sjeldent.

Langs grenseflaten mellom plagioklas og kalifeltspat opptrer det myrmekitt som en tett sammenvoksning av kvarts og plagioklas. Myrmekitt forekommer i flere varianter fra meget finkornet og håraktig til isolerte kvartsdråper i grupper i plagioklas. På enkelte steder har myrmekitt et grafisk eller runittisk mønster som minner noe om skriftgranitt.

Både amfibol og biotitt viser ingen fargesonering som følge omdannelse, retrogradering eller forvitring. Rundt inneslutninger av zirkon og allanitt vises det mørke haloer både i amfibol og biotitt. Haloene rundt allanit er tydelig mørkere enn de andre haloene, som viser at allanit har et høyere innhold av radioaktive elementer, hvis begge mineraler er like gamle. Apatitt danner små, lyse, fargeløse og runde korn, oftest nær amfibol eller biotitt.

Bortsett fra de aksessoriske mineralene samt myrmekitt er de andre mineralene stort sett jevnkornet og har en mer eller mindre jevn fordeling over slipet. Kornstørrelsen varierer noe mellom 1-2 mm. Biotitt og amfibol er parallellorientert og definerer hovedretningen i bergarten.

Omvandling

Omvandling er best synlig i mørke mineraler. Biotitt er delvis omvandlet til kloritt. Parallelt til spalteflatene opptrer opake avsetninger i tynne flak, muligens hematitt eller ilmenitt. Pleokroittiske farger varierer fra lysgult til mørkbrunt. Nærmest dagflaten er spalteflatene i amfibol markert tydelig, samt at det er tynne røde hematittflak synlig i tynne ender av amfibolkorn. Begge to fenomener blir gradvis mindre med økende dyp.

Langs overflaten i slipene 1 til 6 er allanitt fullstendig eller tilnærmest fullstendig borte. På grunn av allanittens radioaktivitet opptrer svelling. Ved metamiktisering har det blitt dannet et radiaalt sprekkemønster. I hulrommene som gjenstår etter allanitter opptrer bare rødbrun

fargete rester. I radialsprekker til hulrommene er det avsatt limonitt. I slipene 7, 8 og 9 lenger ned i borekjernene, viser allanitten det samme sprekkemønsteret i de omkring liggende mineraler, men ikke i så omfattende grad som i toppen av kjernene.

Plagioklas og feltspat viser noe omvandling til saussuritt eller kaolinitt. I dette tilfellet virker de grumsete i kjernen og klarere langs randen. Saussuritt og kaolinitt er oftest avsatt langs tidligere korngrenser eller langs tvillinglameller. Omvandlingen er ikke betydelig og er aldri mer enn 10-15 volumprosent av kornene. Det er ukjent hvor stor påvirkning en slik omvandling har på de mekaniske egenskapene av bergarten i sin helhet.

Amfibolitt

Amfibolitt har et mye høyere innhold av både amfibol og biotitt enn gneis. Begge mineralene har samme optiske egenskaper som i gneis når det gjelder pleokroisme. Biotitt viser markerte spalteflater, og inneholder av og til tynne linser av prehnitt som et tegn av lavgrad omvandling. Dessuten er biotitt ofte parallelt sammenvokst med kloritt eller noe sjeldnere med muskovitt. Amfibol viser av og til sprekker som er fylt av kvarts. Begge mineralene er retningsorientert og utgjør bergartens 'fabric'.

Titanitt fins i to ulike varianter: den ene er lyst farget som i gneis, den andre er noe mørkere og viser tydelig pleokroisme. I kontakt med biotitt eller amfibol viser mørk titanitt tynne og lyse pleokroittiske haloer; den noe lysere gjør det ikke. Haloene til zirkon og særlig til allanitt er mye mer utpreget som tyder på at radioaktivt innhold av den mørke titanitten må være lavere, eller mineralet er mye yngre. Apatitt og zirkon danner klare og lyse korn, mens allanitt ofte er gullbrun og etterlater hull hvor den er blitt løst opp. Omgivelsen er da oppsprukket av allanittens egen metamiktisering.

Plagioklas og feltspat virker betydelig mer omvandlet i amfibolitten enn i gneisen; de fleste korn er grumsete. I mikroklin er det ofte bare et sett av tvillinger som viser kaolinitisering; det andre settet er friskt. Myrmekitt opptrer bare i spor og er alltid meget finkornet.

Pegmatitt

Denne bergarten inneholder hovedsakelig kvarts, feltspat og plagioklas (se tabell 5). Amfibol og biotitt opptrer forholdsvis sjeldent bare på overgangen mot gneis. Myrmekitt er meget finkornet eller håraktig, men kan av og til være noe mer grovkornet og virker da som isolerte kvartsdråper i plagioklas. Aksessoriske mineraler er noe sjeldnere enn i de to andre bergartene og er jevnlig spredt. Mineralene og bergarten er ikke orientert, har verken synlig foliasjon eller bånding.

Feltspaten er blitt deformert i flere faser, og er som regel pertittisk eller mikropertittisk utløst. Både langs sprekker og spalteplan er feltspaten betydelig omdannet til kaolinitt, henholdsvis plagioklas til saussuritt. Noen av sprekkene i plagioklas er fylt med epidot. Sprekker i kvarts er ofte rehabilitert eller tettet med nydannet kvarts med væske-inneslutninger. Disse inneslutningene lyser opp ved UV belysning. Både feltspat og plagioklas virker betydelig mer omvandlet enn i gneis.

Vedlegg 3: Sprekkeregistrering.

Antall registrerte sprekker pr. areal for kjerne 1A.

Dyp i m.	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
Prøve 1A-	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
1	5	3	3	5	4	1	1	1	1
2	4	2	4	2	2	2	2	1	2
3	3	6	4	2	3	2	3	2	3
4	3	3	2	3	3	2	2	1	1
5	2	4	2	3	2	3	2	1	1
6	5	3	3	3	3	2	2	1	0
7	4	5	3	2	2	1	2	1	1
8	4	5	2	4	2	1	1	0	0
9	2	3	2	2	1	2	0	0	0
10	4	3	3	2	2	2	1	0	0

Antall registrerte sprekker pr. areal for kjerne 2A.

Dyp i m.	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
Prøve 2A-	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
1	3	4	5	5	4	3	2	2	1
2	3	2	4	4	2	4	4	1	0
3	4	5	3	2	3	3	2	2	1
4	2	4	4	3	5	4	1	1	1
5	1	4	3	3	1	2	2	0	2
6	2	2	3	3	2	0	1	1	1
7	2	3	3	3	3	1	1	2	3
8	2	4	3	2	1	0	0	0	1
9	3	4	4	1	2	2	3	2	1
10	3	3	5	1	2	1	3	0	1

Antall registrerte sprekker pr. areal for kjerne 2B.

Dyp i m.	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
Prøve 2B-							-1	-2	
1							0	3	
2							0	0	
3							2	2	
4							1	2	
5							1	3	
6							0	2	
7							1	4	
8							2	2	
9							2	1	
10							3	1	

Vedlegg 4. Problemer ved sprekkeregistreringer.

TI-B 5 (1987) gir kriterier for vurdering av sprekker i betong og skiller mellom sprekker i sementpastaen ('paste cracks') og sprekker mellom tilslag og sementpastaen ('debonding cracks'). Sprekkene blir klassifisert etter sprekkvidde som mikrosprekker, fine sprekker eller grove sprekker. En utvidelse av prøvingsmetoden vier dessuten spesiell oppmerksomhet til sprekkenes lengde, orientering og fordeling (altså sprekkemønster), deres forbindelse, og eventuelle plastiske fenomener i betongen (pers. medl. P. Laugesen 1998).

Ved impregnering av tynnslip fra fastfjell blir både korngrenser, sprekker og riss impregnert. Det finnes ingen klare kriterier for å skille mellom disse ulike typer av impregnerte partier. Man er helt avhengig av operatørens erfaring med metoden, noe som er uheldig pga. muligheten for subjektivt skjønn. Problemer oppstår for eksempel med ujevn sprekkedfordeling innenfor bergarten som gjør det vanskelig å fastslå sprekkenes bakkgrunnsnivå, noe som er viktig ved kvantifisering av forvitningsgrad. Sprekkenes fordeling og mønster er blant annet avhengig av kornstørrelsen og kornfordeling, bergartens 'fabric' i henhold til tynnslipets orientering, mineralogisk sammensetning, tidligere geologisk deformasjon, opprinnelig porøsitet, eksponering i klima, svelling eller krymping av visse mineraler, osv.

Bearbeiding av måledataene er heller ikke optimale med den metoden som er blitt benyttet ved denne undersøkelsen. Måleverdier som har betydelig avvik påvirker gjennomsnittsverdien uheldig. Standardavviket som brukes for å beregne måleusikkerheten blir enda sterkere påvirket. Det kan derfor være aktuelt å bruke medianverdi isteden for gjennomsnittsverdi, eller kanskje en annen metode som er bedre tilegnet analyser med telledata.

Et bedre resultat oppnås også ved bruk av digital billedbehandling. Kvantifisering av sprekkemønster og -orientering er lettere å utføre ved denne type utstyr.